

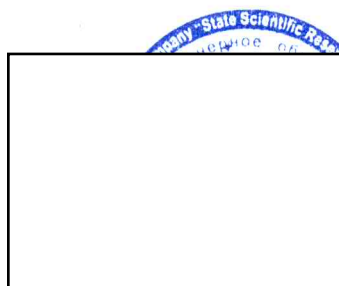
УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора по науке

АО «ГосНИИ «Кристалл», д.т.н.

Ю.Г. Печенев

« 20 » 11 2025 г.



**ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «КРИСТАЛЛ»**

на диссертационную работу Булушева Даниила Андреевича
на тему «Высокоэнергетические эмульсионные промышленные взрывчатые
вещества с повышенной водоустойчивостью»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и
высокоэнергетических веществ (технические науки)

При масштабировании буровзрывных работ в условиях обводнённости возникает проблема взаимодействия зарядов ПВВ с водой. Диссоциация нитрата аммония – основного водорастворимого компонента современных ПВВ, – приводит к росту техногенной нагрузки на водные объекты и может быть причиной снижения качества добываемого сырья. В случае наиболее водоустойчивых ЭВВ проблема частично решается, но с учетом их ограниченной физико-химической стабильности исследование, связанное с поиском рецептур и режимов производства без потери высокоэнергетических свойств, имеет особую актуальность.

Как организация-разработчик стандартов ГОСТ 14839.13-2013 для определения водоустойчивости непатронированных ПВВ и ГОСТ 32411-2013, разработанного специально для определения водоустойчивости эмульсий, подчеркиваем, что параметр «Водоустойчивость» является одним из обязательных критериев безопасности, обеспечивающих возможность промышленного применения ВВ в соответствии с ТР ТС 028/2012.

Вопросы заряжания в обводнённых условиях и экологические последствия применения ПВВ широко освещены в российской и зарубежной литературе. Вместе с тем отсутствует единый общепринятый подход к количественной оценке водоустойчивости эмульсий, устанавливающий норму для понятия «водоустойчивое», а также влияющие на этот параметр факторы.

Альтернативные аналитические методики, безопасные для персонала и предлагаемые взамен классического титриметрического определения с использованием формалина, представлены ограниченно. Указанные методологические и инструментальные пробелы и обусловили выбранное направление исследования.

Диссертационная работа направлена на научно обоснованное повышение водоустойчивости высокоэнергетических ЭВВ на стадии их производства и применения. Целевой ориентир – снижение вымывания водорастворимых компонентов, прежде всего нитрат-иона, в окружающую среду и в добываемое минеральное сырьё при ведении взрывных работ в обводнённых условиях.

Фактически речь идёт о создании научной и технологической базы для управления водоустойчивостью ЭВВ за счёт подбора рецептуры и параметров получения эмульсионной основы.

Из содержания работы видно, что для достижения указанной цели автор решает комплекс взаимосвязанных задач, среди которых можно выделить следующие:

1. Анализ проблемы ограниченной водоустойчивости ЭВВ. Обобщение литературных и производственных данных по современным ЭВВ и другим АС-ПВВ, роли соединений азота в загрязнении горных и дренажных вод, а также анализ существующих подходов к оценке водоустойчивости.
2. Исследование факторов, определяющих водоустойчивость эмульсионных систем. Определение влияния типа и содержания горючего компонента (топливной фазы), природы и концентрации эмульгаторов, параметров диспергирования на устойчивость ЭНА/ЭВВ к вымыванию нитратов.
3. Обоснование рецептурных приёмов повышения водоустойчивости. Выработка принципов построения рецептуры топливной фазы и подбора ПАВ-эмульгаторов и стабилизирующих добавок, обеспечивающих высокую физико-химическую стабильность обратной эмульсии «вода-в-масле» и минимизацию миграции растворимых компонентов.
4. Разработка методического алгоритма количественного определения водоустойчивости. Создание и экспериментальное обоснование алгоритма определения показателя водоустойчивости на основе ионной ВЭЖХ-методики определения нитрат-иона в водных пробах, контактировавших с эмульсией, как альтернативы классическому титриметрическому подходу.
5. Введение и обоснование количественных критериев «повышенной водоустойчивости». Предложение шкалы и пороговых значений показателя водоустойчивости, позволяющих выделить класс водоустойчивых и,

отдельно, ЭВВ с повышенной водоустойчивостью, применимых в инженерной и нормативной практике.

Цель работы сформулирована корректно. Вытекающие из неё задачи и их исполнение полно и последовательно отражены в тексте исследования.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в том, что в нём впервые в систематизированном виде установлены и количественно охарактеризованы закономерности, связывающие рецептурный состав и условия получения высокоэнергетических ЭВВ с их водоустойчивостью. Показано, что изменением параметров топливной фазы, типа и концентрации эмульгаторов, а также режимов диспергирования можно управлять величиной показателя водоустойчивости. Введено и обосновано количественно определённое понятие «повышенной водоустойчивости» ЭНА/ЭВВ в виде пороговых значений показателя водоустойчивости, позволяющих выделять отдельный класс составов, предназначенных для работы в особо сложных гидрогеологических условиях. Разработан оригинальный методический алгоритм количественной оценки водоустойчивости на основе ионной ВЭЖХ-методики определения нитрат-иона, который по чувствительности, информативности и безопасности превосходит традиционные титриметрические подходы и адаптирован к задачам оптимизации рецептур ЭВВ. Существенным для новизны является установление связи между показателем водоустойчивости и структурно-реологическими характеристиками эмульсии, что позволяет по-новому интерпретировать роль дисперсной структуры и реологических свойств в устойчивости эмульсионных систем к вымыванию растворимых компонентов.

С теоретической точки зрения работа развивает представления о механизмах взаимодействия ЭВВ с водной средой и процессах миграции соединений азота в зоне ведения взрывных работ. Показано, какую роль играют состав топливной фазы, природа и концентрация ПАВ, степень и режим диспергирования в формировании структуры эмульсии и её устойчивости к длительному воздействию воды. Предложенная количественная шкала и критерии отнесения составов к классу водоустойчивых и повышенно водоустойчивых систем формируют базу для дальнейшего теоретического анализа, расчётного моделирования процессов массопереноса и развития экологически ориентированных подходов к разработке ПВВ. Тем самым водоустойчивость из частного технологического показателя переводится в разряд фундаментально обоснованного критерия, связывающего рецептуру, структуру, свойства и экологические последствия применения ВВ.

Практическая значимость полученных результатов определяется тем, что на основе установленных закономерностей обоснованы конкретные

рецептурные и технологические решения, обеспечивающие повышение водоустойчивости высокоэнергетических ЭВВ без ухудшения их технологических характеристик. Предложены рекомендации по выбору состава топливной фазы, типов и концентраций эмульгаторов и оптимальных режимов диспергирования, позволяющие существенно снизить вымывание нитрат-иона и обеспечить длительную стабильность безоболочных зарядов в обводнённых скважинах. Разработанный хроматографический алгоритм контроля водоустойчивости может быть внедрён в практику исследовательских лабораторий как инструмент для оптимизации рецептур, оперативного технологического контроля качества эмульсионной основы и оценки экологических рисков. Результаты исследования прошли апробацию в рамках НИОКР и производственных испытаний, подтверждены актами внедрения и могут быть использованы при совершенствовании нормативно-методической базы по оценке водоустойчивости ЭВВ и управлению их воздействием на окружающую среду.

Общая характеристика диссертационной работы

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов и списка литературы. Общий объем работы 154 страницы, включая 30 рисунков, 18 таблиц, библиографию из 279 наименований и 3 приложения.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus, Chemical Abstracts. Результаты научного исследования были представлены на научных мероприятиях всероссийского и международного уровня: опубликовано 7 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Во введении раскрыты детали исследования, показаны экологическая и технологическая сторона контакта зарядов ПВВ с водой, сформулированы цель и задачи, обозначены научная новизна и значимость.

В первой главе выполнен обзор применения АС-ПВВ и ЭВВ, приведены причины потери водоустойчивости, показаны последствия для окружающей среды и обогащения рудного сырья. Приведены теоретические предпосылки по управлению водоустойчивостью за счет рецептурного подбора компонентов. По итогу сформулированы гипотезы и требования к экспериментальной части исследования.

Во второй главе обоснована методика количественной оценки на базе ионной хроматографии, описаны условия контакта образца с водой, показано

влияние времени и площади контакта на процесс миграции нитрат-ионов. Приведены проверка воспроизводимости результатов.

В третьей главе рассмотрены принципы построения высокоэнергетической эмульсии, роли компонентов топливной фазы и ПАВ, условия диспергирования. Даны практические ориентиры по подбору рецептур, нацеленных на повышение водоустойчивости.

В четвертой главе представлены экспериментальные данные. Продемонстрирована высокая чувствительность параметра к типу и содержанию эмульгатора. Показано, что для полимерных ПАВ на основе ПИБСА в сочетании с подобранным режимом диспергирования могут быть достигнуты значения водоустойчивости порядка сотых долей кг/м^2 . Отмечено влияние вязкости и состава топливной фазы. Для смесевых систем с добавлением гранулированной аммиачной селитры отмечен кратный рост потери нитрат-иона.

В пятой главе предложена шкала оценок водоустойчивости. Показана корреляция водоустойчивости со структурными характеристиками эмульсии, что позволяет использовать её для технологического контроля качества.

В заключении сформулированы основные выводы и направления дальнейших исследований. Перспективны комбинированные системы ПАВ, оптимизация режимов диспергирования и уточнение нормативных требований для разных условий обводнённости.

Исполнение и оформление диссертации и автореферата

Основные результаты и выводы диссертации полностью соответствуют поставленным задачам и подтверждены экспериментальными данными.

Диссертация написана в простом и понятном для читателя стиле с корректным использованием научных и технических терминов химической технологии, взрывного дела и горных работ. Все составляющие работы – текст, таблицы, рисунки, – выполнены в виде самостоятельных завершённых объектов, которые могут быть прочтены независимо друг от друга.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации; оформление автореферата соответствует требованиям и стандартам.

Несмотря на несомненные достоинства работы существует ряд **замечаний и вопросов:**

1. В работе экспериментальными объектами выбраны образцы эмульсии на основе раствора нитрата аммония (ЭНА), водоустойчивость которых принимается идентичной водоустойчивости собственно ЭВВ, получаемых уже на смесительно-зарядочной машине при добавлении сенсibiliзирующих

добавок. Чем количественно обосновано это допущение? Проводилось ли сравнение водоустойчивости «чистой» ЭНА и ЭВВ в одинаковых условиях контакта с водой, чтобы показать, что сенсбилизация не вносит заметного вклада в водоустойчивость?

2. В работе заявлено установление количественных критериев, определяющих понятие повышенной водоустойчивости высокоэнергетических эмульсий «Вода-в-Масле» на основе раствора нитрата аммония и обоснование этих критериев через экологические и технологические эффекты. Было бы полезно более явно связать предлагаемые пороговые значения водоустойчивости с реальным снижением массового выноса азота в карьерные/шахтные воды и действующими нормативами, чтобы показать, что «повышенная» водоустойчивость не только технологический, но и нормативно значимый критерий.

3. Разработанный методический алгоритм определения водоустойчивости с использованием ионной ВЭЖХ выглядит точным и информативным, но по сравнению с регламентированным титриметрическим методом он сложнее по аппаратуре и, вероятно, дороже в эксплуатации. Рассматривалась ли возможность адаптации предложенного алгоритма для условий рутинного заводского контроля (ограниченный штат, высокая производительность, необходимость быстрого ответа)? Какие требования по длительности анализа, устойчивости к матричным эффектам (наличие сульфатов, хлоридов, других анионов) и метрологическим характеристикам (погрешность, воспроизводимость) Вы считаете минимально приемлемыми для того, чтобы рекомендовать этот метод как альтернативу или дополнение к ГОСТ-методам?

Приведённые замечания носят рекомендательный характер и на значимость диссертационной работы в целом влияния не оказывают.

Представленная к защите диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи повышения водоустойчивости ЭВВ; работа соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в части:

п. 11. Научные основы и закономерности физико-химической технологии и синтеза специальных продуктов. Новые технологии производства специальных продуктов;

п. 13. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив, товарных нефтепродуктов и высокоэнергетических веществ.

Рассмотренная диссертационная работа Булушева Даниила Андреевича на тему: «Высокоэнергетические эмульсионные промышленные взрывчатые вещества с повышенной водоустойчивостью» по актуальности, объёму исследований, научной новизне, теоретической и практической значимости удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д. И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД, а её автор, Булушев Даниил Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета отдела 140 АО «ГосНИИ «Кристалл» (протокол заседания НТСО №2 от 18.11.2025 г.)

д-р техн. наук по специальности
05.17.07 – Химия и технология топлив
и специальных продуктов,
главный конструктор по направлению
ПВВ-начальник отдела 140
АО «ГосНИИ «Кристалл»



Соснин В.А.

Личную подпись д-ра техн. наук Соснина В.А. удостоверяю:

Ученый секретарь
АО «ГосНИИ «Кристалл»



А.И. Краснов

Контактные данные:

Рабочий e-mail: kristall@niikristall.ru

Телефон (раб./моб.): 8 (8313) 39-80-04

Место работы: Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский институт «Кристалл»

Индекс, почтовый адрес места работы: 606040, Нижегородская область, г. Дзержинск, ул. Зеленая, д. 6