

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию 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)

Интенсификация горнодобывающих работ сопровождается кратным ростом применения аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ, что одновременно влечет за собой повышение антропогенной нагрузки на водные объекты за счёт диссоциации на нитрат- и аммоний-ионы аммиачной селитры из зарядов взрывчатых веществ при контакте с внутрискважинными водами. В нормативных документах «Водоустойчивость» выступает обязательным контролируемым параметром и является критерием безопасности для получения возможности применять промышленные взрывчатые вещества в производственных условиях. Для эмульсионных составов – как для частного случая аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ, – проблема сохраняется, поскольку они изначально являются метастабильными. Поэтому разработка рецептурных и технологических решений, обеспечивающих повышенную водоустойчивость эмульсионных взрывчатых веществ при сохранении их взрывчатых характеристик, является актуальной научно-практической задачей.

Проблематика заряжания в обводнённых условиях и экологические последствия применения аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ широко обсуждаются в российской и зарубежной литературе. Вместе с тем отсутствует единый подход к количественной оценке водоустойчивости эмульсий и системное представление о комплексе факторов, влияющих на неё. Ограниченно рассмотрены альтернативные безопасные для персонала аналитические методики вместо классического титриметрического определения с применением формалина. Эти пробелы и определили направление выполненного исследования.

Цель исследования работы сформулирована грамотно, проистекающие из неё задачи исследования и их решение полностью отражены в тексте проведённого исследования.

Научные положения, выносимые автором на защиту, в целом хорошо согласованы между собой и логично вытекают из поставленной цели и сформулированных задач исследования. Они опираются на достаточно развитый теоретический анализ проблемы водоустойчивости аммиачно-селитренных промышленных взрывчатых веществ и эмульсионных составов, включающий обзор нормативной базы и современных представлений о миграции нитрат-иона в окружающей среде. Рабочая гипотеза о том, что водоустойчивость ЭВВ в технологической схеме «пункт производства ЭНА – СЗМ – скважина» фактически определяется свойствами матрицы, корректно обоснована и подтверждена выбором модельных объектов исследования.

Степень обоснованности выводов и рекомендаций следует оценивать как высокую. Автор применяет комплекс современных и стандартизованных методов: наряду с обязательными по ГОСТ определениями плотности, электроёмкостью и водоустойчивостью использованы реологические измерения, оптико-цифровая микроскопия для анализа дисперсности, термоциклирование образцов, а для количественной оценки вымывания нитрат-иона – ВЭЖХ. Важным элементом, повышающим доверие к разработанному хроматографическому алгоритму, является его сопоставление с регламентированным титриметрическим методом: показатели водоустойчивости, полученные двумя независимыми способами, согласуются в пределах экспериментальной погрешности, что демонстрируется на численных данных, что позволяет считать предложенный метод не только корректно реализованным, но и верифицированным относительно действующего стандарта.

Экспериментальная база работы представляется достаточно репрезентативной: исследованы серии образцов с варьированием типа и содержания топливной фазы, природы и концентрации эмульгаторов, состава окислительной фазы, а также смесевые системы «ЭНА + гранулированная аммиачная селитра». Водоустойчивость оценивалась по времени контакта, показана зависимость от площади контакта. Существенным аргументом в пользу достоверности результатов служит также то, что ключевые закономерности согласуются с литературными данными по влиянию дисперсности, вязкости и состава дисперсионной среды на стабильность эмульсий типа «Вода-в-Масле».

Достоверность и прикладная значимость выводов дополнительно подтверждаются апробацией результатов при подготовке НИОКР в АО «НИТРО СИБИРЬ», завершившейся актом о внедрении, а также их многократным обсуждением на профильных российских и международных

конференциях и на заседании Научного совета РАН по проблеме «Народнохозяйственного использования взрыва». Это указывает на то, что полученные автором рекомендации по рецептурным и технологическим приёмам повышения водоустойчивости не носят сугубо лабораторный характер, а уже прошли первичную проверку в условиях реального производства.

Что касается новизны научных положений, то она представляется обоснованной и ясно сформулированной как во введении, так и в заключении диссертации. Автором выделены и количественно описаны основные закономерности, определяющие и регулирующие водоустойчивость высокоэнергетических ЭВВ, прежде всего через рецептурную компоновку топливной фазы и режимы диспергирования, с опорой на структурно-реологические характеристики эмульсий. Впервые предложены оценочные критерии «повышенной водоустойчивости» в виде конкретных диапазонов показателя водоустойчивости, позволяющие классифицировать эмульсионные составы. В совокупности с разработкой оригинального ионно-хроматографического алгоритма определения водоустойчивости и его экспериментальным обоснованием это образует целостный блок новых знаний в области химической технологии ЭВВ.

Научные положения, выводы и практические рекомендации диссертации опираются на современную методическую базу, подтверждены большим объёмом экспериментального материала, согласуются с практикой промышленного применения ЭВВ и потому могут считаться обоснованными и достоверными. Их новизна не сводится к частным рецептурным решениям, а затрагивает подходы к количественной оценке и нормативной интерпретации водоустойчивости эмульсионных промышленных взрывчатых веществ.

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 обоснована актуальность проблемы повышения водоустойчивости высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых веществ в связи с ростом масштабов буровзрывных работ и экологическими последствиями миграции соединений азота. Сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведён обзор мирового и отечественного опыта применения промышленных взрывчатых веществ, показана необходимость перехода к водоустойчивым рецептурам. Рассмотрены причины утраты водоустойчивости и влияние загрязнения на природные воды и переработку минерального сырья. По итогам обзора сформулированы задачи исследования.

Во второй главе разработан и обоснован методический алгоритм количественного определения водоустойчивости с применением высокоэффективной ионной хроматографии, нормированы условия контакта и показано влияние времени и площади контакта на переход нитрат-ионов в воду.

В третьей главе описаны рецептурные принципы компоновки высокоэнергетической эмульсии на основе нитрата аммония, требования к компонентам и функциональные роли топливной фазы и поверхностно-активных веществ; приведены типовые составы и обозначены инструменты рецептурной оптимизации для повышения водоустойчивости.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты: показано существование слабовыраженного минимума зависимости «Водоустойчивость – Содержание топливной фазы» при $\sim 7\%$ масс.; обоснована решающая роль типа и доли эмульгатора (полимерные поверхностно-активные вещества на основе полиизобутилен алкенилэтантарного ангидрида при содержании $\geq 18 - 25\%$ в топливной фазе обеспечивают водоустойчивость на уровне $0,01 \text{ кг/м}^2$); проанализировано влияние вязкости и состава топливной фазы, а также композиции раствора окислителя; показано значительное увеличение вымывания нитрат-ионов при введении АСДТ в смесевые ЭВВ.

В пятой главе систематизированы полученные численные значения водоустойчивости и предложена критериальная шкала, устанавливающая границу между водонеустойчивыми и водоустойчивыми составами; выявлена корреляция водоустойчивости с параметрами диспергирования.

В заключении суммированы результаты и обозначены перспективы. Дальнейшая оптимизация комбинаций поверхностно-активных веществ и режимов диспергирования, а также разработка нормативов, учитывающих

допустимое время нахождения заряда в скважине при различных условиях водопритока.

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 завершенных 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. Измерять концентрацию нитрат ионов на масс-сорбционном хроматографе – и до этого было известно, что это возможно. Только аппарат дорогой и в условиях полевых лабораторий недоступен; может применяться как высокоточный арбитражный метод проверки адекватности результатов полевых исследований (проводимых традиционным, титриметрическим методом).

2. Рассматриваете эмульсии с содержанием топливной фазы до 15 масс. %. А это практической ценности не имеет: потому что уже при 9 масс. % топливной фазы в эмульсии, она не взрывается. А при 6,3 масс. % топливной фазы в составе эмульсии – она нестабильна и разрушается. То есть нормальная, технологически приемлемая эмульсия – существует в довольно узком диапазоне соотношений топливной фазы и горячего раствора окислителя.

3. Опытные образцы эмульсий пронумерованы (в таблицах, приведенных в диссертации), но нет расшифровок о составе этих образцов.

4. При определении водостойкости, опять же не рассматривается в комплексе содержание аммонийного и нитратного ионов. Почему аммонийный азот не рассматриваете в паре с нитратным азотом? Как они коррелируют между собой: нитратный и аммонийный азот? В случае горячего раствора окислителя на монорастворе аммиачной селитры и в случаях полирастворов (аммиачная селитра с добавками натриевой и кальциевой селитр).

5. В представленных результатах исследований, нет связи дисперсности эмульсии с водостойкостью. При прочих равных, соотношение топливной фазы и горячего раствора окислителя, но с разной дисперсностью эмульсии – утоньшаются масляные пленки между мицеллами горячего раствора окислителя – как это влияет на водоустойчивость эмульсии?

6. В работе рассматриваются зависимости: водоустойчивости – от вязкости применяемого эмульгатора, от вязкости нефтепродукта... Но не рассматривается водоустойчивость от вязкости топливной фазы (смеси эмульгатора и нефтепродукта) на водоустойчивость (диффузию нитратов в водную среду на контакте). Имеющиеся зависимости, надо свести в главную: водоустойчивость эмульсии – в зависимости от вязкости топливной фазы, что лишний раз подтверждает правоту теории Фика (зависимость скорости диффузии от вязкости среды описывается законом Фика – основным феноменологическим законом диффузии, сформулированным немецким учёным Адольфом Фиком в 1855 г.).

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 по обеспечению повышенной водоустойчивости эмульсионных взрывчатых веществ и минимизации загрязнения от их применения в обводнённых условиях; 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;

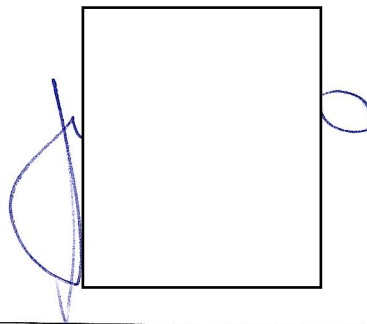
п. 13. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив, товарных нефтепродуктов и высокоэнергетических веществ.

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.

Официальный оппонент :

кандидат технических наук по
специальности 25.00.20 –
Геомеханика, разрушение горных
пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная
теплофизика, Директор
АННО «НИИ ТБ ВР»



МАСЛОВ
Илья
Юрьевич

«19» ноября 2025 г.

Личную подпись Директора АННО НИИ ТБ ВР к.т.н. Маслова Ильи Юрьевича, заверяю.

Инспектор Отдела кадров АННО НИИ ТБ ВР Фролова Юлия Александровна

«19» ноября 2025 г.



Контактные данные:

Рабочий e-mail: anno_nii_tbvrr@bk.ru

Телефон (моб.): + [] 9

Место работы: Автономной некоммерческой научной организации «Научно-исследовательский институт технологий и безопасности взрывных работ»

Индекс, почтовый адрес места работы: 143345, Московская обл., г. Наро-Фоминск, деревня Свитино, д. 52