

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального

директора по науке

АО «ГосНИИ «Кристалл», д.т.н.



*Ю.Г. Печенев*

«20» 04 2026 г.

### ОТЗЫВ

#### ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

#### АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «КРИСТАЛЛ»

на диссертацию Султанова Егора Витальевича  
на тему «Методология разработки экологичных высокоэнергетических  
эмульсионных взрывчатых составов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и  
высокоэнергетических веществ (технические науки)

Промышленные эмульсионные взрывчатые вещества (ПЭВВ) широко производятся и применяются в российской горнодобывающей отрасли, что обусловлено их явными преимуществами в стоимости и безопасности по сравнению с ранее применявшимися классами взрывчатых веществ. Увеличение объемов применения ПЭВВ поднимает вопрос о выбросах вредных газов в атмосферу от их применения. Что особенно актуально в условиях расширения географии добычи горной массы в арктическую зону и в подземных выработках, где от этого зависят условия работы персонала.

Таким образом, формируется фундаментальная научная задача изучения закономерностей газовой вредности ПЭВВ.

Исследования свойств ПЭВВ проводятся с момента их появления, в том числе АО «ГосНИИ «Кристалл», и описаны в большом массиве работ, включая зарубежные. Однако исследований газовой вредности не так сильно распространены по причине сложностей проведения анализа, большого количества влияющих на результаты факторов и необходимости крайне специфического оборудования.

Рассматриваемая диссертационная работа как раз направлена на решение указанной выше задачи, а именно предлагает метод определения газовой вредности, который в отличие от остальных подразумевает проведение лабораторных испытаний в малом масштабе и предлагает снижать образование вредных продуктов взрыва в источнике путем применения сформулированных методических рекомендаций для оптимизации и создания новых составов ПЭВВ.

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

#### **Научная новизна**

Автором впервые экспериментально получены составы продуктов детонации ПЭВВ в среде азота, исключаяющей их вторичные преобразования при контакте с атмосферой.

Впервые в результате экспериментальной работы показано смещение фактического минимума газовой вредности от расчетного брутто стехиометрического соотношения, которое обуславливается особенностями прохождения химических реакций в гетерогенной структуре эмульсионной матрицы ПЭВВ.

На основе оценки площади контакта эмульсионной матрицы с сенсibilизатором, а также результатов измерений параметров детонации и состава продуктов взрыва для высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов с различными способами сенсibilизации автор

предлагает свое обоснование наблюдаемых особенностей протекания детонационных процессов с учетом влияние состава эмульсионной матрицы и вида сенсibilизатора.

Впервые сформированы критерии оптимизации рецептур эмульсионных взрывчатых составов, одновременно учитывающие параметр газовой вредности и детонационные характеристики конечного состава.

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

– автором предложен новый подход к экспериментальному лабораторному определению газовой вредности ПЭВВ основанный на испытании зарядов малого диаметра и массы в бомбе Бихеля;

– установлены технические закономерности, позволяющие управлять образованием вредных продуктов взрыва при использовании ПЭВВ;

– предложены и обоснованы критерии оптимизации рецептур ПЭВВ, способствующие снижению образования вредных продуктов взрыва, выбрасываемых в окружающую среду, без снижения их детонационных характеристик на примере полученных значений;

– на основе критериев оптимизации разработаны рекомендации по созданию и совершенствованию существующих рецептур ПЭВВ;

– результаты работы могут быть использованы в методологии разработки ПЭВВ, в которой будут учитываться не только эксплуатационные характеристики, но и влияние ПЭВВ на окружающую среду.

С точки зрения развития отрасли мы полагаем целесообразным рекомендовать использовать установленные в диссертации критерии оптимизации и рекомендации для разработки и обоснования областей применения новых марок ПЭВВ в ходе выполнения научно-исследовательских и проектных работ; включить полученные автором зависимости в методические рекомендации и внутренние стандарты

предприятий-изготовителей и потребителей ПЭВВ как основу для рациональной рецептурной компоновки энергоёмких эмульсий.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Общий объем работы 112 страниц, включая 45 рисунков, 18 таблиц, 28 формул и библиографию из 110 наименований.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе данных Chemical Abstracts. Результаты научного исследования были представлены на научных мероприятиях всероссийского и международного уровня: опубликовано 5 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Во **введении**, автором обоснована актуальность темы диссертационной работы, показаны ее научная новизна и практическое значение. Сформулирована цель работы.

В **первой главе**, описывается проблема применения ПЭВВ и влияние токсичных продуктов взрыва на окружающую среду и человека. Рассмотрены механизмы образования оксидов азота.

Во **второй главе**, дается подробное описание применяемых в данный момент подходов к составлению рецептур эмульсионных матриц для ПЭВВ. Автор указывает, что существующие подходы не учитывают влияние варьирования компонентов на газовую вредность. Рассматриваются способы лабораторного измерения газовой вредности ПЭВВ, производится их сравнение и делается вывод о возможности дальнейшего уменьшения масштаба проводимых испытаний. Описываются различные методы повышения экологичности ПЭВВ и улучшения их детонационных характеристик путем внесения различных специальных добавок.

**Третья глава** посвящена исследованию влияния состава ПЭВВ на их экологичность. Дано подробное описание установки, на которой проводился эксперимент, и схема его проведения.

При выполнении экспериментов навеска ПЭВВ помещалась в стальную оболочку диаметром 32 мм с толщиной стенки 4 мм. Масса вещества в навеске - 0,1 кг. Сенсibilизация ПЭВВ проводилась тремя способами: стеклянными микросферами ЗМТМ-К15, полимерными микросферами Expancel 461 DET 40d25 и газогенерирующей добавкой, представляющей собой водный раствор нитрита натрия.

Заряды размещались в бомбе Бихеля, после чего ее герметизировали и продували азотом для удаления атмосферного воздуха. Подрыв заряда проводили, используя инициатор массой 0,01 кг.

В результате исследований показано:

- существование области минимума газовой вредности, находящееся в слабоотрицательной области кислородного баланса;

- влияние сенсibilизатора на газовую вредность - горючий сенсibilизатор, представленный микросферами Expancel 461 DET 40d25 снижает газовую вредность в случае составов с положительным и нулевым кислородным балансом, но резко увеличивает при отрицательном, а инертный сенсibilизатор ЗМТМ-К15 имеет противоположный эффект. Обнаружено, что в области слабоотрицательного кислородного баланса влияние сенсibilизатора не значительно, что связывается с особенностями прохождения химических реакций рассматриваемой гетерогенной системы;

- влияние сенсibilизаторов на детонационные характеристики ПЭВВ.

Установлено, что в области кислородного баланса, отвечающей минимальному влиянию сенсibilизатора на газовую вредность, возможно варьирование сенсibilизатора с целью улучшения детонационных характеристик. Использование горючей микросферы увеличивает максимальное давление взрыва, и как следствие, эффективность заряда.

**Четвертая глава** посвящена изучению детонационных характеристик ПЭВВ, обладающего наименьшей газовой вредностью состава.

Показано влияние сенсibilизаторов на детонационные характеристики ПЭВВ.

Установлено, что в области кислородного баланса, отвечающей минимальному влиянию сенсibilизатора на газовую вредность, имеется возможность выбора различного сенсibilизатора в зависимости от желаемых детонационных характеристик без увеличения газовой вредности

Результаты экспериментов автора подтвердили существование областей соотношения компонентов эмульсионной матрицы, при которых соблюдаются условия высокой детонационной способности и низкого образования вредных продуктов взрыва. Оптимальные соотношения компонентов эмульсии соответствуют слабоотрицательной области КБ.

Предлагается подбор оптимального сенсibilизатора эмульсионной матрицы с учетом его вклада в свойства ПЭВВ. Выявлено, что использование сенсibilизатора типа полимерных микросфер целесообразно для эмульсионных матриц, имеющих кислородный баланс нейтральный или положительный, находящийся за областью минимальной газовой вредности. В случае эмульсионных матриц с отрицательным кислородным балансом, находящимся перед областью минимума газовой вредности, рекомендуется использовать инертный сенсibilизатор для предотвращения избыточного образования токсичных продуктов взрыва. Отмечено, что в зоне минимума газовой вредности влияние сенсibilизатора не значительно, что позволяет в первую очередь отталкиваться от необходимых детонационных параметров или условий применения.

Таким образом, автором в полной мере обоснованы предлагаемые методические рекомендации для разработки экологичных и эффективных высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов, учитывающие параметр газовой вредности.

**В заключении** достаточно полно и аргументировано обобщены результаты диссертационного исследования.

Диссертация написана автором грамотно, лаконично и доказательно.

Тематика исследований, приведенных в диссертации, соответствует пункту 11 паспорта специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Основные научные положения и результаты диссертационного исследования изложены в опубликованных работах.

Автореферат полностью отражает основные положения диссертационной работы.

### **Исполнение и оформление диссертации и автореферата**

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

Диссертация написана с 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**:

1. Следует рассмотреть возможность модификации лабораторного стенда анализа газовой вредности с целью получения возможности измерения скорости детонации исследуемых зарядов непосредственно в нем для подтверждения полноты протекаемого детонационного процесса.

2. Рекомендуются провести дополнительные опыты по определению газовой вредности составов в слабоотрицательной области кислородного

баланса, с целью более полного получения зависимости от компонентного состава.

3. На рисунке 15, страница 63, отсутствует размерная шкала на микрофотографиях структуры эмульсионной матрицы, что не позволяет явно судить о размерах частиц исследованных эмульсионных матриц.

4. При исследовании зарядов с химической сенсibilизацией не были рассмотрено влияние критической плотности при значениях выше  $1.0 \text{ г/см}^3$ , в которых возможно образование газовых включений меньшего диаметра и установление устойчивого режима детонации в условиях работы в бомбе Бихеля.

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 снижения экологической нагрузки от добычи полезных ископаемых; 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.

Рассмотренная диссертационная работа Султанова Егора Витальевича на тему: «Методология разработки экологичных высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов» 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, Султанов Егор Витальевич, 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  
20.04.2026 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](mailto: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