

## ОТЗЫВ

официального оппонента,

кандидата технических наук Маслова Ильи Юрьевича,

на диссертацию **Султанова Егора Витальевича**: «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

### **Актуальность работы**

В настоящее время в России промышленные эмульсионные взрывчатые вещества (ПЭВВ) являются наиболее распространенными и востребованными взрывчатыми веществами при ведении горных работ. Практическая значимость ПЭВВ способствовала масштабному изучению технологических, физико-химических и химико-физических свойств данных ВВ. Однако, несмотря на значительные успехи в данном направлении, в настоящее время отсутствует единый подход к проведению измерений состава и количества продуктов взрыва ПЭВВ. Полигонные испытания характеризуются вариативностью условий и значительным числом факторов, влияющих на экспериментальные данные. Расчетные методы не учитывают гетерогенную природу рассматриваемых составов. Лабораторные опыты сопряжены со сложностью безопасного проведения эксперимента и учетом ограничивающих характеристик взрывчатых составов, таких как критический диаметр, что требует в дальнейшем дополнительных экспериментов как для определения удельного образования продуктов взрыва, так и для подтверждения полноты детонационных процессов. В результате складывается ситуация, в которой экспериментальное прогнозирование состава продуктов взрыва при разработке ПЭВВ затруднено, стандартизированные методики отсутствуют, а обобщенных рекомендаций по разработке и оптимизации эмульсионных взрывчатых составов не существует.

Это не позволяет, на основе существующих методов измерений, сформулировать обобщенные подходы и методические рекомендации по разработке рецептур ПЭВВ, которые учитывали бы объем вредных газов при их взрыве. Однако, знание газовой вредности ПЭВВ необходимо при ведении промышленных взрывных работ, особенно при работе в подземных условиях. В связи с этим, возникает важная и актуальная научная задача по созданию методических рекомендаций по разработке экологичных и эффективных высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов, учитывающих в том числе их газовую вредность.

Работа Султанова Е.В. посвящена решению указанной задачи, поэтому она обладает необходимой для диссертации актуальностью.

**Научная новизна работы** заключается в том, что автором:

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

Впервые, экспериментально показано смещение фактического минимума газовой вредности от расчетного брутто стехиометрического соотношения, обуславливаемое особенностями прохождения химических реакций в гетерогенной структуре эмульсионной матрицы рассматриваемого вида высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов.

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, предложено обоснование наблюдаемых особенностей протекания детонационного процесса в ПЭВВ. Обоснование учитывает сочетанное 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:**

- предложен новый подход к экспериментальному лабораторному определению газовой вредности высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов с помощью разработанного лабораторного стенда на основе бомбы Бихеля, при использовании зарядов ПЭВВ малого диаметра и массы;
- установлены технические закономерности позволяющие управлять образованием вредных продуктов взрыва при использовании высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов;
- предложены и обоснованы критерии оптимизации рецептур высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов, способствующие снижению образования вредных продуктов взрыва, выбрасываемых в окружающую среду, при сохранении эффективности результирующих детонационных характеристик и определены их значения;
- на основе критериев оптимизации, разработаны рекомендации по созданию и совершенствованию существующих рецептур высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов;
- результаты работы могут быть использованы для формирования единой методологии разработки высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов, в которой будут учитываться не только важные эксплуатационные характеристики, но и их влияние на окружающую среду.

**Достоверность научных положений**, результатов и выводов обеспечивается использованием современного аналитического оборудования, основанного на признанных и принятых методах анализа, четким планированием целей и задач исследования, опорой на современную научную базу. Апробация результатов научного исследования совершена при подготовке НИОКР в компании АО «НИТРО СИБИРЬ», по результатам которой подготовлен акт о внедрении.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа Султанова Е.В. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка используемой литературы и приложения.

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** описываются применяемые в настоящее время подходы к компоновке рецептур эмульсионных матриц для ПЭВВ с указанием дозировки компонентов и их влияния на технологические характеристики. Показано, что существующие подходы к компоновке 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. Подробно описана разработанная лабораторная установка для исследования продуктов взрыва зарядов ПЭВВ малого диаметра на основе бомбы Бихеля и схема эксперимента.

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 3М, полимерными микросферами Expancel 461 DET 40d25 и газогенерирующей добавкой (далее – ГГД), 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 снижает газовую вредность в случае составов с положительным и нулевым кислородным балансом, но резко увеличивает при отрицательном, а инертный сенсibilизатор 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 высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов.

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 влияния детонационных характеристик ПЭВВ, обладающего наименьшей газовой вредностью состава.

Показано влияние сенсibilизаторов на детонационные характеристики высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов.

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.

Показано, что при использовании эффективного ПАВ повышаются детонационные характеристики и снижается количество токсичных продуктов взрыва.

Результаты экспериментов автора подтвердили существование областей соотношения компонентов эмульсионной матрицы, при которых соблюдаются условия высокой детонационной способности и низкого образования токсичных 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 горючего сенсibilизатора типа полимерных микросфер целесообразно для эмульсионных матриц, имеющих КБ «правее» области минимума газовой вредности (нейтральный или положительный). При этом, для эмульсионных матриц с КБ «левее» зоны минимума 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 обоснованы методические рекомендации для разработки экологичных и эффективных высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов, учитывающих в том числе их газовую вредность.

**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 8 опубликованных работах, из которых 2 рецензируются в международных базах данных.

Автореферат полностью отражает основные положения диссертационной работы.

### **Замечания**

Основные замечания относятся к третьей главе представленной диссертации:

1. Представляется целесообразным продемонстрировать точность измерения состава газов, образующихся при взрывании зарядов эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ - на основе эмульсии нитрата аммония) в бомбе Бихеля, посредством предоставления данных по взрыванию в данной бомбе индивидуальных взрывчатых веществ с хорошо известным составом взрывных газов.

2. При анализе влияния кислородного баланса на состав продуктов взрыва ЭВВ, не рассмотрено влияние изменения размеров частиц в самой эмульсии (характерные размеры глобул раствора окислителя, толщина масляных пленок), обусловленное изменением доли топливной фазы в составе самой эмульсии, на детонационные процессы и, соответственно, на состав взрывных газов.

Отмеченные выше недостатки не снижают научной и практической значимости работы, выполненной в целом на высоком научно-техническом уровне.

### **Заключение**

Диссертация Султанова Егора Витальевича на тему «Методология разработки экологичных высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований дано решение актуальной научной задачи по созданию методических рекомендаций для разработки экологичных и эффективных высокоэнергетических эмульсионных взрывчатых составов, учитывающих в том числе их газовую вредность, что

соответствует требованиям, предъявляемым 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 ее автор – Султанов Егор Витальевич – заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**Официальный оппонент:**

директор Автономной некоммерческой научной организации «Научно-исследовательский институт технологий и безопасности взрывных работ», кандидат технических наук (специальность – 25.00.20. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика)

И.Ю. Маслов

«30» апрель 2026 г.

117036, г. Москва,  
ул. Профсоюзная, д.3, офис 220 , АННО НИИ ТБВР  
тел. +7(499)649-09-09,  
e-mail: il

С обработкой персональных данных согласен.

И.Ю. Маслов

«30» апрель 2026 г.

Подпись к.т.н. Маслова И.Ю. заверяю.  
Нач. Отдела кадров АННО НИИ ТБВР  
Фролова Ю. А.

«30» апрель 2026 г.