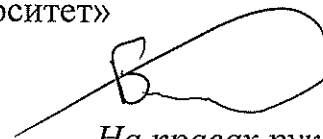


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»



На правах рукописи

БАБКИН РУСЛАН СЕРГЕЕВИЧ

**СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ
РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ
СПОСОБОМ**

Специальность 25.00.20 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук

профессор Г.П. Парамонов

Санкт-Петербург - 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА И СПОСОБОВ ИХ СНИЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ	10
1.1 Анализ современных представлений о механизме образования оксидов азота при взрыве промышленных взрывчатых веществ	10
1.2 Процессы возникновения и выделения оксидов азота при производстве массового взрыва.....	16
1.3 Анализ современных способов снижения выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ на карьерах.....	25
1.4 Выводы по главе. Постановка задач исследования	27
Глава 2 ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В СОСТАВЕ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЗАБОЙКИ	31
2.1 Анализ существующей модели удержания продуктов взрыва в зарядной полости с помощью применения скважинной забойки	31
2.2 Численные расчеты соответствия температуры и времени разложения катализаторов температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости	36
2.3 Выводы по главе.....	47
Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ПРОДУКТАХ ВЗРЫВА.....	48
3.1 Методика проведения лабораторных исследований по определению концентрации оксидов азота в продуктах взрыва	48

3.2 Экспериментальные исследования изменения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва в зависимости от типа применяемого катализатора	55
3.3 Исследование основных закономерностей изменения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от дисперсности используемого катализатора	64
3.4 Оценка влияния концентрации катализатора на содержание оксидов азота в продуктах взрыва.....	67
3.5 Оценка выбросов оксидов азота при детонации взрывчатого вещества ...	70
3.6 Выводы по главе.....	78
Глава 4 ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ ДИСПЕРСНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫСОКОАКТИВНОГО КАТАЛИЗАТОРА В СОСТАВЕ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЗАБОЙКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА, В УСЛОВИЯХ ГРАНИТНОГО КАРЬЕРА «ИЛЬМЕНЙОКИ».....	79
4.1 Горно-геологические условия месторождения и физико-механические свойства слагающих его пород.....	79
4.2 Существующая технология и параметры буровзрывных работ на гранитном карьере «Ильменйоки»	82
4.3 Методика проведения производственных исследований.....	88
4.4 Результаты оценки снижения концентрации оксидов азота при производстве массового взрыва	94
4.5 Выводы по главе.....	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	106
Приложение А	117

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы: При разработке месторождений полезных ископаемых одним из основных технологических процессов является производство взрывных работ. Энергия взрыва используется для разрушения горных пород практически на каждом горнодобывающем предприятии как самый эффективный способ. В то же время, массовый взрыв представляет собой огромный источник выбросов пыли и ядовитых газов. Выбросы ядовитых газов, и в частности оксидов азота, при ведении взрывных работ являются одним из факторов, влияющих на безопасную отработку месторождений полезных ископаемых.

Ядовитые газы, образующиеся при взрыве зарядов ВВ, представляют большую опасность как для окружающей среды, так и для рабочих. Наиболее опасными продуктами взрыва являются оксиды азота и окись углерода. При одинаковой концентрации оксиды азота (главным образом NO_2) являются намного более токсичными, чем окись углерода, которая, в свою очередь, значительно более токсична, чем другие продукты взрыва.

Значительный вклад в изучение процессов выбросов ядовитых газов, образующихся в продуктах взрыва, а также снижения уровня их негативного воздействия на окружающую среду внесли Дубнов Л.В., Кук М.А., Бахаревич Н.С., Романов А.И., Глазкова А.П., Ганапольский М.И., Барон В.Л., Адушкин В.В., Родионов Н.Ф., Бересневич П.В., Михайлов В.А., Джигрин А.В., Белин В.А., Шувалов Ю.В., Менжулин М.Г., Парамонов Г.П., и др.

В настоящее время практически все известные способы снижения и нейтрализации выбросов ядовитых газов, в том числе оксидов азота, образующихся при производстве взрывных работ в продуктах взрыва, основаны на их нейтрализации пылесвязывающими добавками, а также пенами и растворами и, в большинстве случаев, направлены на снижение выбросов оксидов серы и окиси углерода. Известные способы борьбы с

оксидами азота в основном связаны с очисткой отходящих газов в металлургии и обогащении.

Несмотря на большой объем исследований, достигнутые успехи и полученные результаты в направлении снижения выбросов ядовитых газов, эффективных способов борьбы с оксидами азота в составе продуктов взрыва при ведении взрывных работ недостаточно.

Таким образом, снижение выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ на основе применения высокоактивных катализаторов является актуальной в научном и практическом плане задачей.

Цель диссертационной работы: Повышение безопасности взрывных работ за счет нейтрализации выбросов оксидов азота.

Идея работы: Нейтрализация оксидов азота при массовых взрывах достигается применением высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки.

Задачи исследования: Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ условий образования оксидов азота при производстве массовых взрывов на карьерах горнорудной промышленности.

2. Обзор и анализ исследований зарубежных и отечественных ученых в области снижения выбросов ядовитых газов в продуктах взрыва при производстве взрывных работ.

3. Обоснование возможности применения высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки для снижения выбросов оксидов азота.

4. Исследование влияния высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки на снижение выбросов оксидов азота.

5. Расчет соответствия температуры и времени разложения катализаторов температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости.

6. Обоснование выбора эффективного катализатора для нейтрализации выбросов оксидов азота.

7. Исследование влияния дисперсного состава и концентрации наполнителя в составе профилированной забойки на снижение выбросов оксидов азота.

8. Разработка рекомендаций по применению профилированной забойки с добавлением в состав карбоната цинка для снижения выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ.

Защищаемые научные положения:

1. Нейтрализация оксидов азота в составе продуктов взрыва обеспечивается за счет применения высокоактивных катализаторов $MgCO_3$, $CaCO_3$, $ZnCO_3$.

2. Необходимыми условиями нейтрализации оксидов азота в продуктах взрыва являются соответствие температуры и времени разложения катализатора температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости.

3. Минимальный выброс оксидов азота в продуктах взрыва обеспечивается за счет применения катализатора $ZnCO_3$ в составе профилированной забойки с дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20%.

Научная новизна:

1. Установлены зависимости снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от типа применяемого катализатора и его дисперсности.

2. Установлена зависимость снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от концентрации наполнителя.

3. Установлена зависимость времени разложения катализатора от диаметра частиц и температуры продуктов взрыва.

Практическая значимость работы:

1. Разработаны рекомендации для снижения выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ за счет применения высокоактивного катализатора $ZnCO_3$ в составе профилированной забойки.

2. Разработана конструкция скважинной забойки для снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва при производстве взрывных работ.

Методы исследований: Обзор и анализ исследований зарубежных и отечественных ученых в области снижения выбросов ядовитых газов в продуктах взрыва при производстве взрывных работ, комплексное использование экспериментальных и теоретических методов в производственных и лабораторных условиях с применением современного оборудования, сравнительный анализ результатов исследований с полученными натуральными данными.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций достигнута за счет использования современных представлений механики и физики в области разрушения горных пород взрывом и газодинамических процессов, протекающих при взрыве заряда взрывчатых веществ, сходимости расчетных данных с полученными результатами лабораторных исследований и натурных экспериментов, применения разработанных рекомендаций по снижению выбросов оксидов азота при производстве массовых взрывов за счет применения высокоактивного катализатора $ZnCO_3$ в составе профилированной забойки на карьере компании ООО «Рубикон» месторождения «Ильмениоки».

Личный вклад автора: Постановка цели и задач исследований; сбор и анализ данных исследований, проводимых ранее; личное участие в экспериментальных и теоретических исследованиях; обработка полученных результатов на ЭВМ при проведении численных расчетов; обобщение полученных результатов и их сравнительный анализ; разработка практических рекомендаций.

Реализация результатов работы:

1. Разработанный способ снижения выбросов оксидов азота, образующихся при производстве взрывных работ, рекомендуется для применения на открытых горных работах при производстве массовых взрывов с использованием промышленных взрывчатых веществ.

2. Научные и практические результаты научно-квалификационной работы рекомендуются к применению в учебно-образовательном процессе Санкт-Петербургского горного университета при ведении занятий по дисциплинам «Теория горения и взрыва», «Технология и безопасность взрывных работ».

Апробация работы: Основные положения и содержание научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на Международном VI Форуме вузов инженерно-технологического профиля «Глобальная энергетика: партнерство и устойчивое развитие стран и технологий» (г. Минск, 2017 г.), на Международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в науке» (г. Уфа, 2017 г.), на VIII Международной научно-технической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий» (Санкт-Петербург, 2017 г.), а также на заседаниях кафедры взрывного дела.

Публикации: Основные результаты исследований содержатся в 2 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, а также получен патент на изобретение.

Объем и структура работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения, изложенных на 121 страницах машинописного текста, содержит 24 рисунка, 27 таблиц и список литературы из 122 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору Парамонову Г.П., развитие идей которого, постоянное внимание и помощь способствовали успешному выполнению работы; сотрудникам

кафедры Геозкологии за помощь в проведении лабораторных и промышленных экспериментах и сотрудникам кафедры взрывного дела за конструктивные замечания, высказанные при обсуждении результатов работы.

Глава 1 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА И СПОСОБОВ ИХ СНИЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ

1.1 Анализ современных представлений о механизме образования оксидов азота при взрыве промышленных взрывчатых веществ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом основным источником, который оказывает негативное воздействие на окружающую среду, являются технологические процессы добычных работ, связанные с производством массовых взрывов. При ведении взрывных работ в атмосферу карьера вместе с продуктами взрыва выбрасывается огромное количество вредных веществ, включающих ядовитые газы и мелкодисперсную пыль. В продуктах взрыва, образующихся в результате взрыва промышленных взрывчатых веществ, ядовитыми газами являются: окись углерода CO_2 и CO , сернистый ангидрид SO_2 и оксиды азота NO , NO_2 , N_2O_5 . Оксиды азота являются наиболее опасными из них, а главным образом диоксид азота NO_2 [1].

Представления об образовании ядовитых газов детально рассматривались многими учеными. В результате проведенных исследований достигнуто более ясное представление о механизме образования ядовитых газов в продуктах взрыва. Большой вклад в науку в этой области внесли как отечественные, так и зарубежные ученые. Кот И., исследовавший снижение выбросов ядовитых газов в угольном забое путем замены состава забойки. Андреев К.К. изучал влияние солей щелочных металлов в составе аммиачной селитры на температуру взрыва и ингибирование метана. Глазкова А.П. в своих трудах утверждала, что соли щелочных металлов способствуют снижению выбросов окислов азота и окиси углерода в выхлопных газах при использовании в составе топлива, а также при очистке исходящих газов в металлургии. Дубнов Л.В. изучал возможность применения активной забойки и способ взрывания высоких уступов. Менжулин М.Г., Парамонов

Г.П., посвятившие свои работы снижению выбросов оксидов серы. А также Кук М.А., Бахаревич Н.С., Романов А.И., Ганапольский М.И., Барон В.Л., Адушкин В.В., Родионов Н.Ф., Бересневич П.В., Михайлов В.А., Джигрин А.В., Белин В.А., Шувалов Ю.В.

Воздействие взрыва представляет собой довольно сложный, нестационарный процесс, длительность которого можно выразить долями секунды в горном массиве, секундами и минутами при рассеивании и распространении пылегазового облака в атмосфере, а также неопределенно долгим промежутком времени нанесения ущерба земельным ресурсам, гидросфере и территориям населенных пунктов в результате рассеивания продуктов взрыва и их оседания. Пылегазовое облако, образующееся в результате проведения массовых взрывов, а также скорость оседания ядовитых газов и частиц пыли, которая зависит напрямую от скорости сноса пылевого облака, влияют на уровень загрязнения воздуха рабочей зоны карьера и близлежащих территорий. Повышение безопасности ведения взрывных работ, а также эффективности ведения взрывных работ предусматривает не только разрушение горного массива в соответствии с предъявляемыми требованиями к применяемой технологии, но также обеспечение снижения негативного воздействия взрывных работ максимально при этом возможного.

Общее количество ядовитых газообразных продуктов, выделяющихся при взрыве промышленных взрывчатых веществ, составляет не более 10% от общего объема газов, что соответствует 100 л на каждый килограмм взорванного промышленного взрывчатого вещества [1].

В настоящее время известны десять соединений кислорода с азотом [2]. При взрыве промышленных взрывчатых веществ основными оксидами являются монооксид азота NO , диоксид азота NO_2 , а также азотный ангидрид N_2O_5 . Характеристики данных веществ представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Основные характеристики веществ

Вещество/ Свойства	Структурная формула	Эмпирическая формула	Молекулярная масса, г/моль	Плотность, г/дм ³	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С
Монооксид азота	N-O	NO	30,01	1,3402	- 163,7	-151,8
Диоксид азота	O-N-O	NO ₂	46,01	1,491	- 11,2	- 20,7
Азотный ангидрид	O ₂ N-O-NO ₂	N ₂ O ₅	108,01	1,642	+41	+47

Монооксид азота – это бесцветный газ, не имеющий цвета и запаха. Незначительно растворим в воде. При контакте с кислородом окисляется до диоксида азота. В воздухе имеет агрегатное состояние – пары. Существует предельно допустимая концентрация NO в воздухе рабочей зоны карьера, которая составляет не более 5,0 мг/м³. Оксид азота соответствует классу опасности газов – 3.

Диоксид азота – это ядовитый газ красно-бурого цвета с неприятным резким запахом. Хорошо растворяется в воде. В воздухе имеет агрегатное состояние – пары. Существует предельно допустимая концентрация NO₂ в воздухе рабочей зоны карьера, которая составляет не более 2,0 мг/м³. Диоксид азота соответствует классу опасности газов – 3.

Азотный ангидрид – это бесцветные, очень летучие кристаллы. Является сильным окислителем, растворяется в воде с образованием азотной кислоты. N₂O₅ очень неустойчив, разлагается в большинстве случаев с взрывом. Токсичен, при разложении выделяется ядовитый диоксид азота. Азотный ангидрид соответствует классу опасности газов – 3.

Основной причиной образования оксидов азота при взрыве зарядов промышленных взрывчатых веществ является переизбыток кислорода в

химическом составе взрывчатого вещества. На рисунке 1.1 изображены основные группы промышленных взрывчатых веществ по содержанию кислорода.

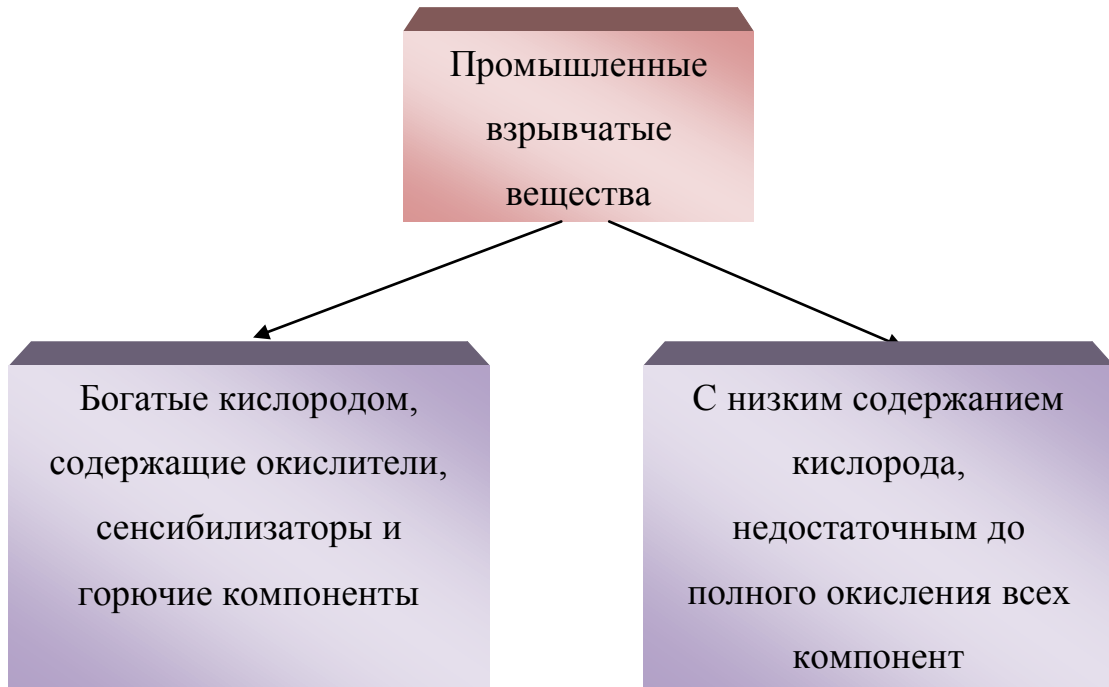


Рисунок 1.1 Разделение промышленных взрывчатых веществ по содержанию кислорода.

Промышленные взрывчатые вещества делятся на два типа, но обычно представляют собой смесь из веществ с высоким содержанием кислорода: различные добавки, окислители, сенсibilизаторы и др. Кислородным балансом является избыток или недостаток кислорода во взрывчатом веществе, необходимый до полного окисления всех горючих элементов, входящих в это вещество, до высших оксидов. Расчет кислородного баланса выполняется по эмпирической формуле:

$$K_B = \frac{16 \cdot [c - (2 \cdot a + b/2)]}{M_{BB}} \cdot 100 \quad (1.1)$$

Где a , b и c - число атомов углерода, водорода и кислорода соответственно во взрывчатом веществе в виде составленной общей формулы $C_a H_b O_c N_d$

M_{BB} - молекулярная масса взрывчатого вещества

При кислородном балансе, приблизительно равным нулю, взрывчатое вещество считается сбалансированным. Процентное содержание кислорода в составе промышленного взрывчатого вещества во многом определяет характер протекания реакции взрывчатого превращения и состав продуктов взрыва. Также кислородный баланс влияет на значение термодинамических характеристик взрывчатого вещества: температура взрыва, объем газообразных продуктов взрыва, теплота взрыва, давление продуктов взрыва и другие.

При взрыве любого промышленного взрывчатого вещества образуются ядовитые газы в больших и малых количествах[3]. По данным исследований Б.Я. Светлова, Б.Д. Росси и других ученых, количество ядовитых газов зависит во многом от детонационной способности, химического состава взрывчатого вещества и других факторов, которые определяют полноту химической реакции при взрыве. В таблице 1.2 и 1.3 приведены исследования Л.В. Дубнова, которые проводились в лабораторных условиях в бомбе Бихеля.

Таблица 1.2 - Состав продуктов взрыва при исследовании взрывчатого вещества, состоящего из аммиачной селитры и тротила

Состав смеси, %		Кислородный баланс, %	Процентное содержание газов в продуктах взрыва, %					
Аммиачная селитра	Тротил		CO ₂	CO	NO	H ₂	CH ₄	N ₂
95	5	+18	16,6	4,55	-	0,55	1,2	76,1
88	12	+8,7	27,9	4,9	3,2	0,5	1,6	61,9
83	17	+4	32,1	5,3	2,4	1,7	1,6	57
79	21	+0,3	32,3	5,7	2,7	1,9	1,8	55,6
70	30	-8,2	26,6	13,9	0,7	2,3	2,2	54,4

Таблица 1.3 - Количество ядовитых газов, выделившихся при взрыве заряда ВВ

Состав смеси, %			Кислородный баланс, %	Количество ядовитых газов, л/кг		
Тротил	Аммиачная селитра	Калиевая селитра		СО	Оксиды азота	Сумма в пересчете на СО
37,6	62,4	-	-15,3	125	2,7	142,6
22	78	-	-0,7	30,4	5,5	66
17,6	82,4	-	+3,5	20	13,3	106,5
17,6	62,4	20	+7,4	16,6	5,3	51,1

В связи с сильным влиянием кислородного баланса на образование ядовитых газов применяют взрывчатые вещества с кислородным балансом близким к нулю.

Однако взрывчатые вещества с низким содержанием кислорода, недостаточным до полного окисления всех компонент, также образуют некоторое количество окиси углерода и оксидов азота при производстве взрывных работ. По данным исследований [3] при проведении испытания зарядов аммонита 6ЖВ в патронах, имеющих диаметр 32-36 мм, при взрыве образуется в районе 30 л/кг окиси углерода, а также до 5 л/кг оксидов азота. Окись углерода, которая образуется при разложении тротила или других нитросоединений, а также оксиды азота, которые первоначально образуются при взрывном разложении селитры, не успевают полностью прореагировать между собой с образованием нетоксичной окиси углерода вследствие быстрого охлаждения продуктов взрыва.

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что образование ядовитых газов в продуктах взрыва напрямую связано с качеством изготовления смесевых взрывчатых веществ, диаметром патронов, дисперсности взрывчатого вещества и других свойств, влияющих на полноту

химических реакций при взрыве. По данным исследователей, в проведенных лабораторных экспериментах, аммонит бЖВ с размером частиц 0,2-0,5 мм образует в 5 раз больше оксидов азота, чем аммонит бЖВ с размером частиц менее 0,2 мм [4].

Также установлено, что некоторые вещества имеют свойство снижать образование ядовитых газов при взрыве зарядов взрывчатых веществ, каталитически воздействуя на вторичные реакции в продуктах взрыва с участием оксидов азота. К таким веществам можно отнести соли или оксиды щелочноземельных металлов [4].

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что при взрыве зарядов промышленного взрывчатого вещества оксиды азота образуются в основном при избытке кислорода в составе взрывчатого вещества. Механизм образования оксидов азота при взрыве промышленного взрывчатого вещества заключается в том, что оксиды азота, в основном, образуются в результате неполного восстановления NO_2 в N_2 при окислении горючих элементов.

1.2 Процессы возникновения и выделения оксидов азота при производстве массового взрыва

Многообразие физико-механических свойств горных пород, гидрогеологических условий и требований к взрывоподготовке горной массы обуславливает применение промышленных взрывчатых веществ с широким диапазоном взрывчатых характеристик. Взрыв представляет собой один из видов физического или химического превращения веществ. В широком смысле слова, взрывом называется явление крайне быстрого перехода системы веществ из одного состояния в другое, сопровождающееся столь же быстрым превращением его потенциальной энергии в механическую работу.

Взрыв, в более узком смысле слова, представляет собой процесс чрезвычайно быстрого химического превращения вещества, сопровождающийся столь же быстрым выделением тепла и образованием газов. Взрыв взрывчатого вещества представляет собой

самораспространяющееся с большой скоростью химическое превращение, протекающее с выделением большого количества тепла и образованием газов.

Из изложенного следует, что химическая реакция, протекающая в форме взрыва, определяется тремя следующими основными условиями:

- 1) экзотермичностью химической реакции;
- 2) наличием газообразных (парообразных) продуктов реакции;
- 3) большой скоростью химической реакции.

У различных взрывчатых веществ эти свойства могут быть выражены в различной степени, но только их совокупность придает явлению характер взрыва.

Три условия в своем сочетании определяют не только возможность самораспространения химической реакции в форме взрыва, но и механическое действие взрыва.

Выделение тепла является первым необходимым условием, без которого возникновение взрывного процесса вообще невозможно. Теплота химической реакции при взрыве является источником энергии. Если бы реакция не сопровождалась выделением теплоты, самораспространение взрыва было бы исключено.

За счет тепловой энергии реакции происходит разогрев газообразных продуктов до температуры в несколько тысяч градусов и последующее их расширение. Чем больше теплота реакции и скорость ее распространения, тем больше разрушительное действие взрыва.

Теплота реакции является важнейшей характеристикой взрывчатого вещества. Для современных промышленных взрывчатых веществ теплота взрыва колеблется от 2900 до 7500 кДж/кг.

Точное определение состава продуктов взрыва представляет собой весьма сложную задачу. Это объясняется следующими причинами:

- 1) состав охлажденных продуктов взрыва, определяемый на основе результатов химического анализа, зависит как от свойств взрывчатого

вещества, так и от многих начальных условий и может сильно отличаться от первоначального состава продуктов детонации.

2) Развитие и характер взрывных реакций меняется в зависимости от способа инициирования взрыва (нагрев, удар, инициирование детонатором), плотности заряда взрывчатого вещества, диаметра заряда и т.д.

Процесс медленного горения (распада) органических взрывчатых веществ обычно сопровождается образованием большого количества оксидов азота и ряда жидких и твердых органических соединений.

При быстром горении взрывчатого вещества и порохов под относительно небольшим давлением происходит довольно глубокий распад молекул вещества, а продукты разложения, главным образом, состоят из CO_2 , CO , N_2 , C , H_2O , H_2 , N_2 , O_2 , O , NO . В условиях детонации состав продуктов превращения количественно и качественно отличается от состава продуктов горения того же взрывчатого вещества. Это объясняется тем, что под влиянием высоких давлений происходит смещение равновесия между продуктами реакции в направлении уменьшения объема системы, т.е. в сторону развития процессов ассоциаций молекул и частичного образования свободного углерода ($2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$). С увеличением плотности заряда эти процессы получают более сильное развитие, вследствие чего продукты детонации обогащаются в CO_2 и CO . Что же касается продуктов диссоциации типа H , OH , N , и O , то их образование при взрыве конденсированных взрывчатых веществ, по видимому, возможно лишь на определенной стадии процесса расширения. В зоне протекания интенсивных химических превращений их образование маловероятно, а в составе конечных продуктов взрыва (после охлаждения) они существовать вообще не могут.

Состав продуктов можно теоретически вычислить, исходя из общих законов химической термодинамики. При следующих допущениях:

1) при высокой температуре и исключительно высоких давлениях, имеющих место при взрыве, реакции протекают столь быстро, что, несмотря

на чрезвычайную кратковременность явления, между продуктами взрыва устанавливается химическое равновесие;

2) взрыв – адиабатический процесс, при котором внутренняя энергия тратится только на разогрев продуктов взрыва. Взрывной процесс, протекающий в детонационной форме, является изохорным, т.е. завершается в собственном объеме заряда взрывчатого вещества.

Уравнение состояния идеальных газов и вытекающие из него термодинамические следствия применимы для условий взрыва, который характеризуется очень высоким давлением.

Применительно к процессам горения такой подход представляется оправданным. Его можно использовать и при рассмотрении детонации газов при не очень высоком начальном давлении. Если же рассматривается детонация конденсированных взрывчатых веществ, то необходимо использовать уравнение состояния более сложной формы.

Также стоит отметить, что ядовитые газы можно разделить на две категории:

1. В момент взрыва основной объем ядовитых газов выбрасывается непосредственно в атмосферу, взаимодействуя с воздухом;
2. Некоторая часть продуктов взрыва и ядовитых газов адсорбируется взорванной породой.

Основной и массовый вред наносят ядовитые газы, относящиеся к первой группе. Однако опасность выделения ядовитых газов, поглощенных породой, несомненно, велика. Взорванная горная масса способна выделять некоторое количество газов в процессе транспортировки, хранения, а также переработки.

Экспериментально доказано, что свойства горных пород, такие как обводненность, трещиноватость и др., влияют на количество выделившихся ядовитых газов. В таблице 1.4 указано количество выделившихся оксидов азота и окиси углерода в расчете на 1 кг взорванного взрывчатого вещества в грунтах различной крепости [1].

Таблица 1.4 - Количество оксидов азота и окиси углерода при взрыве

Группы грунтов по СНиП	Состояние грунтов	Количество окиси углерода, л/кг	Количество оксидов азота, л/кг
5	Обводненные	10,5	5,0
5	Сухие	7,0	5,5
6	Сухие	19,0	1,5
7	Сухие	30,0	1,5
8..9	Сухие сильно трещиноватые	20,5	4,5
8..9	Сухие трещиноватые	34,0	1,2
9	Обводненные	33,5	2,0

Примечания: 1. Для грунтов других групп крепости и обводненности количество выделившихся оксидов азота и окиси углерода может быть определено методом интерполяции. 2. Количество ядовитых газов приведено для взрывчатого вещества с близким к нулевому кислородным балансом.

Как видно из таблицы 1.4, при взрыве 1 кг взрывчатого вещества количество выделившихся оксидов азота в среднем составляет 3 л. Исходя из этих данных, можно утверждать, что при проведении массового взрыва на карьерах в среднем выделяется порядка 135000 литров оксидов азота. Опасность продуктов взрыва, содержащих столь высокие количества оксидов азота, трудно переоценить.

Для определения объема ядовитых газов, выделившихся при проведении массового взрыва, существует формула [5]:

$$y = x_{CO} + 6,5x_{NO_2} \quad (1.2)$$

Где y - общий объем ядовитых газов; x_{CO} и x_{NO_2} - удельные объемы углекислого газа и оксида азота соответственно, л.

$$x_{CO} = \frac{a \cdot 1000 \cdot 0,08 \cdot V \cdot p}{m \cdot 100} \quad (1.3)$$

$$y_{CO} = \frac{b \cdot 1000 \cdot 0,053 \cdot V \cdot p}{m \cdot 100} \quad (1.4)$$

Где V - свободный объем атмосферы (общий объем за вычетом объема отбитой породы); p - давление газов после взрыва; m - масса заряда; a и b – концентрации углекислого газа и оксида азота соответственно, мг/л. Множитель 6,5 в уравнении является коэффициентом относительной токсичности, который указывает на то, что при одинаковой концентрации оксид азота в 6.5 раз токсичнее углекислого газа.

По данным исследователей [6] взрывчатые вещества по количеству выделяемых ядовитых газов классифицируются следующим образом:

1) предохранительные взрывчатые вещества, при взрыве которых количество выделяемых ядовитых газов не превышает 155 л/кг.

2) не предохранительные взрывчатые вещества: взрывчатые вещества первого класса с выделением ядовитых газов менее 23 л/кг, взрывчатые вещества второго класса с выделением ядовитых газов от 23 до 50 л/кг, взрывчатые вещества третьего класса с выделением ядовитых газов от 50 до 100 л/кг.

Гагауз и Дребница изучали выделение ядовитых газов при подземных взрывных работах на рудниках Кривого Рога с применением аммонита №6ЖВ и водоустойчивого динафталита. Цель их исследования – установить зависимость между составом и количеством ядовитых газов, условиями проведения взрывов, материалом оболочки и физико-механическими свойствами взрывааемых пород. Полученные ими результаты позволили сделать следующие выводы:

1. Состав и количество ядовитых газов зависит главным образом от физико-механических свойств взрывааемых пород.

2. При взрывании открытых сосредоточенных зарядов образуется в перерасчете на СО 36,5 л газов на 1 кг взрывчатого вещества.

3. При взрыве заряда взрывчатого вещества в шпуре или скважине около 67% выделившегося СО образуется за счет окисления оболочки патронов.

4. При взрывной отбойке крепких горных пород образуется больше окиси углерода и меньше оксидов азота, чем при взрывании сильнотрещиноватых слабых пород [6].

Дудырев, Оборина, Ильина и Решетова исследовали десорбцию ядовитых газов из рудничной пыли. Изучив 24 образца пыли, собранной после взрывов, они сделали заключение, что общая десорбция NO_2 составляет 0,0407 мг/г и СО – 0,00486 мг/г. Также они установили, что отношение NO/NO_2 изменяется в широких пределах и что содержание NO_2 и пыли заметно уменьшается при взрывании зарядов с водяной забойкой [6].

При надлежащем иницировании заряды смесей АС-ДТ с нулевым кислородным балансом выделяют колеблющиеся в широких пределах, но, обычно, значительные количества оксидов азота. При отсутствии добавок воды они колеблются от $8,8 \cdot 10^{-4}$ до $29,6 \cdot 10^{-4}$ м³/кг, что в 20 раз больше, чем для обычных динамитов. При попадании воды выделяется еще большее количество оксидов азота [6].

Исследования смесей АС-ДТ с положительным кислородным балансом +7%, нулевым и отрицательным кислородным балансом -7% показали, что смеси с нулевым кислородным балансом показывали результат в среднем 22 л/кг СО и 6 л/кг NO_2 . При кислородном балансе взрывчатого вещества +7% объем NO_2 увеличивался более чем в 2 раза [7]. Также ученые сделали выводы о том, что NO_2 является наиболее опасным компонентом продуктов взрыва, т.к. выбросы NO_2 не исчезают даже при кислородном балансе -7%.

В современной горной промышленности при ведении взрывных работ для разрушения горной породы большим спросом пользуются эмульсионные взрывчатые вещества. Переход на использование данных взрывчатых веществ должен был обеспечить минимальное образование оксидов азота близкое к нулевому значению, т.к. состав эмульсионных взрывчатых веществ разрабатывается таким образом, чтобы кислородный баланс был примерно равен нулю.

Следует отметить, что минимальное выделение ядовитых газов при использовании эмульсионных взрывчатых веществ наблюдается только при их определенном сбалансированном составе. Так, для исключения образования оксидов азота и минимизации содержания окиси углерода в составе продуктов взрыва, кислородный баланс эмульсионных взрывчатых веществ должен быть в пределах от -0,2 до -2,0 % [8].

Эмульсионные взрывчатые вещества имеют ряд полезных свойств: обладают хорошими взрывными характеристиками, низкой чувствительностью к тепловым и механическим воздействиям, возможностью изменения скорости детонации в широких пределах за счет технологии изготовления и компонентного состава. В таблице 1.5 указаны основные характеристики современных эмульсионных взрывчатых веществ.

Таблица 1.5 - Основные характеристики современных эмульсионных взрывчатых веществ

Наименование ВВ	Марка ВВ	Характеристика				
		Теплота взрыва кДж/кг	Концентрация энергии, кДж/м ³	Плотность заряжания, Кг/м ³	Скорость Детонации, Км/с	Газовая Вредность, л/кг
Порэммит 1	ИМ-Н	2885	3605	1250	4,9-5,2	12,2
	ИМ-К	2902	3622	1250	4,9-5,2	12,4
	МТ-Н	2969	3705	1250	4,9-5,2	11,8
	МТ-К	3040	3802	1250	4,9-5,2	12,0
Порэммит 1А		3015	3768	1200	4,9-5,1	40,0
Порэммит М	4А	3643	4731	1300	4,8-5,1	42,0
	8А	4354	5862	1350	4,9-5,3	54,0
Порэммит МК	8К	3810	5150	1350	4,8-5,2	40,0
	8КА	3768	4899	1300	4,8-5,1	46,0
Гранэммит	30/70	3350	4552	1350	4,9-5,2	38,0
	50/50	3496	4899	1400	4,8-5,2	36,0
	70/30	3564	4731	1300	3,5-4,0	34,0
Титан	6000	3260	2934-3912	900-1200	5,0-5,1	28,0
	6065	3320	2188-3984	900-1200	4,05-4,11	30,0
	6070	3450	3450-4140	1000-1200	3,92-4,46	30,0
	6075	3580	3580-4403	100-1230	4,3-4,47	32,0
	6080	3700	3700-4625	1000-1250	4,68-4,74	34,0
	6085	3740	3740-4675	100-1250	4,79-4,77	35,0
	6090	3780	3780-4725	100-1250	4,76-4,98	36,0
	6095	3790	3790-4737	1000-1250	4,98-4,74	38,0
	7000	3328	2662-3827	800-1150	4,1	30,0
	7100	3580	3580-4475	1000-1250	3,98	30,0

Ухудшение взрывчатых свойств возможно при нарушении параметров и технологии изготовления эмульсионных взрывчатых веществ из-за сбоев или отклонений в работе дозаторов и смесителей смесительно-зарядных машин (СЗМ), а также при снижении контроля со стороны персонала. В результате не выдерживается сбалансированное соотношение компонентов, не образуется или преждевременно теряется структурная устойчивость эмульсионных взрывчатых веществ. Это влечет за собой прерывание детонации по колонке заряда эмульсионных взрывчатых веществ и ее переход к дефлаграционным процессам. Такие процессы проявляются и при «затекании» эмульсионных взрывчатых веществ в трещины и полости вокруг скважин, где нет условий для их взрывчатого превращения. Разрушение

структуры эмульсионных взрывчатых веществ от преждевременных инициирующих импульсов и воздействия скважинной водной среды, а также недостаточная мощность промежуточных детонаторов, способствуют ухудшению их взрывчатых свойств, а также выделению продуктов неполного окисления и взрывчатого превращения рецептурных компонентов [9].

Таким образом, можно утверждать, что при использовании всех типов взрывчатых веществ при проведении массовых взрывов возможно образование оксидов азота с дальнейшим выбросом в атмосферу. На возможность образования оксидов азота в продуктах взрыва влияет огромное количество внешних и внутренних факторов.

1.3 Анализ современных способов снижения выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ на карьерах

Существующие способы борьбы с выбросами ядовитых газов при ведении взрывных работ основываются на их нейтрализации различными растворами, пылесвязывающими добавками, пенами, однако в основном направлены на снижение выбросов оксидов серы и окиси углерода. Способы борьбы с оксидами азота рассматривались несколько односторонне и большинство работ связано с очисткой отходящих газов в металлургии и обогащении. Самым распространенным способом борьбы с оксидами азота является применение гидрозабойки и предварительная поливка взрываемого блока водой. Оксид азота, вступая в реакцию с водой, образует азотистую кислоту, которая оседает на поверхности. Однако данный способ недостаточно эффективен, хотя и не требует особых затрат.

Еще одним способом является применение пеногелевой забойки. Принцип действия идентичен предыдущему, пеногелевые забойки изготавливаются из 1,5-3,0% водных растворов пеногелеобразующих веществ. Содержание жидкости в пеногелевой забойке определяет ее свойства по снижению выбросов ядовитых газов. Пенгель вместе с пылегазовыми продуктами взрыва выбрасывается в атмосферу в виде мелких

капель и пузырьков, являющихся центрами нейтрализации ядовитых газов. В сравнении с гидрогелем и водой преимущество пеногеля в том, что даже при равных результатах снижения концентрации вредных примесей, необходимое количество компонентов для приготовления забойки при пятикратном вспенивании, уменьшается во столько же раз [10].

Наличие забойки в скважине или шпуре обеспечивает завершение вторичных реакций, тем самым уменьшая количество ядовитых газов в продуктах взрыва. По полученным данным венгерского ученого И. Коты, за счет повышения качества забойки путем замены глины мелким щебнем, при прочих равных условиях, в угольном забое сечением 10 м^2 содержание оксидов азота в призабойном пространстве снизилось в 8 раз, а окиси углерода в 13,8 раз [11].

По некоторым данным, полученным при исследовании влияния забойки на содержание ядовитых газов в продуктах взрыва на руднике им. Готвальда в Чехии, переход на пневматическое вдувание в шпур на длину 30-40 см забойки из неочищенной каменной соли позволил снизить содержание окиси углерода на 52,8% и содержание оксидов азота на 23,7% [12].

К технологическим способам уменьшения начальных параметров пылегазового облака принято относить: взрывание высоких уступов в зажатой среде или на неубранную горную массу, взрывание в скважинах с воздушными промежутками, применение активной забойки и направленного инициирования взрывчатого вещества в скважине. Эти способы, в основном, направлены на более эффективное использование процесса детонации взрывчатого вещества и, как следствие, уменьшение выхода из устья скважин и воронки разрушения остатков продуктов детонации взрывчатого вещества.

Применение активной забойки требует дополнительного расхода взрывчатых веществ и средств взрывания. Взрывание высоких уступов не нашло широкого применения, в основном, из-за отсутствия соответствующей погрузочной и буровой техники. Взрывание скважин с воздушными промежутками сокращает количество взрывчатого вещества, размещаемого в

скважине, уменьшает радиус действия пластической деформации и, как результат, снижает пылегазовыделение в окружающую среду. Однако процесс образования зарядов с воздушными промежутками трудно механизировать. Кроме того, использование таких зарядов ограничено трещинами в породе и высоким уровнем обводненности взрывных скважин в блоке [13].

К.К. Андреев утверждал, что соли щелочных металлов, вводимые в состав взрывчатого вещества, помимо того, что снижают температуру взрыва и выполняют роль ингибиторов воспламенения метана, являются положительными катализаторами горения аммиачной селитры и смесей на ее основе. Проводимые экспериментальные исследования показали, что катализ проявляется, с одной стороны, в увеличении скорости горения, с другой – в увеличении полноты сгорания: при добавлении солей щелочных металлов количество оксидов азота в продуктах взрыва уменьшается с 20-30% до нуля [14].

По данным исследований [15], при добавлении нитрата калия в состав аммонита также наблюдается снижение ядовитых газов NO и CO, образующихся в продуктах взрыва.

А.П. Глазкова в своих трудах утверждала, что соли щелочных металлов способствуют снижению выбросов оксидов азота и окиси углерода при ведении взрывных работ, при использовании в составе топлива для снижения в выхлопных газах, а также при очистке исходящих газов в металлургии [16].

1.4 Выводы по главе. Постановка задач исследования

Анализ представленных в предыдущих разделах экспериментальных исследований и теоретических положений, содержащихся в печатных научных работах, показал, что проблема выбросов ядовитых газов в окружающее пространство при производстве массовых взрывов на горных предприятиях, осуществляющих разработку месторождений открытым способом, по большей части, решается несколько односторонне. Имеется в

виду большое количество исследовательских работ, рассматривающих непосредственно параметры, характеризующие пылегазовое облако, такие, как высота подъема, размеры, концентрация пылевых фракций и т.д.

Значительный объем работ содержит исследования механизма переноса и оседания ядовитых газов в зависимости от параметров ветровых потоков и состояния атмосферы, что является основой существующих общепринятых методик расчета границ зон пылегазового загрязнения. Хотелось отметить, что данные работы, в основном, направлены на снижение выбросов мелкодисперсной пыли.

Очень малое количество работ посвящено теоретическим исследованиям непосредственно снижения выбросов оксидов азота при ведении взрывных работ на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. В основном, все работы направлены на изучение снижения выбросов оксидов углерода и серы, а также на снижение выбросов ядовитых газов при подземной разработке.

Одним из интересных с научной и практической точек зрения направлений исследований является изучение влияния высокоактивных катализаторов на процесс образования ядовитых газов.

В задачи предыдущих исследований данного направления не входил такой важный вопрос, как изучение влияния высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки на образование оксидов азота.

Таким образом, особое значение приобретает использование современных средств обработки информации и вычислений, позволяющее реализовать теоретические разработки, ранее не доступные в практическом отношении, методы для расчета уравнений газовой динамики, что делает возможным получать количественные данные о динамическом состоянии продуктов взрыва в скважинах.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Взрывные работы являются одной из основных технологических операций добычи полезных ископаемых при разработке месторождений открытым способом. Массовые взрывы на карьерах являются основным источником выбросов ядовитых газов при производстве горных работ, однако, на сегодняшний день, исследований, направленных на изучение возможности применения высокоактивных катализаторов для снижения выбросов оксидов азота, нет.

2. При использовании взрывчатых веществ любого типа возможно образование оксидов азота в продуктах взрыва.

3. Использование высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки либо в составе взрывчатого вещества позволяет снизить выбросы ядовитых газов, образующихся в продуктах взрыва.

Задачи исследования

1. Анализ условий образования оксидов азота при производстве массовых взрывов на карьерах горнорудной промышленности.

2. Обзор и анализ исследований зарубежных и отечественных ученых в области снижения выбросов ядовитых газов в продуктах взрыва при производстве взрывных работ.

3. Обоснование возможности применения высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки для снижения выбросов оксидов азота.

4. Исследование влияния высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки на снижение выбросов оксидов азота.

5. Расчет соответствия температуры и времени разложения катализаторов температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости.

6. Обоснование выбора эффективного катализатора для нейтрализации выбросов оксидов азота.

7. Исследование влияния дисперсного состава и концентрации наполнителя в составе профилированной забойки на снижение выбросов оксидов азота.

8. Разработка рекомендаций по применению профилированной забойки с добавлением в состав карбоната цинка для снижения выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ.

Глава 2 ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В СОСТАВЕ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЗАБОЙКИ

2.1 Анализ существующей модели удержания продуктов взрыва в зарядной полости с помощью применения скважинной забойки

В момент взрыва образуется большое количество оксидов азота в составе продуктов взрыва, которые выбрасываются из устья скважины с высокой скоростью. Использование профилированной забойки при ведении взрывных работ на карьерах позволяет удержать газообразные продукты взрыва в зарядной полости приблизительно на 15-25 мс [18]. Кроме этого, с момента завершения реакции взрывчатого превращения происходит выброс продуктов взрыва через осевой канал профилированной забойки. Высокая температура продуктов взрыва воздействует на забойку таким образом, что материал, из которого она состоит, начинает послойно выгорать. Это дает возможность применения высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки для снижения выбросов оксидов азота за счет их разложения при высокой температуре продуктов взрыва и времени задержки в зарядной полости.

Из проведенных исследований [14,15] известно, что для борьбы с оксидами азота возможно применение щелочноземельных металлов, а также веществ с их содержанием. А.П. Глазкова [16] утверждала, что катализирующим действием характеризуются атомарные металлы или оксиды металлов, которые образуются в результате термического разложения солей. Представителями щелочноземельных металлов для решения данной задачи являются химические элементы 2-й группы периодической таблицы Менделеева: бериллий (Be), магний (Mg), кальций (Ca), стронций (Sr), цинк (Zn), барий (Ba) и другие.

Экспериментальные исследования показывают, что чем дольше забойка будет задерживать продукты взрыва в зарядной полости, тем больше времени катализатор будет находиться в контакте с высокотемпературными

продуктами взрыва. Это приводит к тому, что катализатор при контакте с продуктами взрыва разлагается и вступает в реакцию по нейтрализации оксидов азота.

Таким образом, существует возможность использования высокоактивных катализаторов в составе скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота в окружающую среду при ведении взрывных работ. Теоретически существует возможность использования высокоактивных катализаторов в составе взрывчатого вещества, однако данное решение может повлиять на его детонационную способность, а также может привести к снижению температуры продуктов взрыва.

В Санкт-Петербургском горном университете разработана конструкция скважинной забойки (патент №182481 от 05.06.2018), позволяющая снизить выбросы оксидов азота при ведении взрывных работ на 40% [18]. Конструкция скважинной забойки представлена на рисунке 2.1.

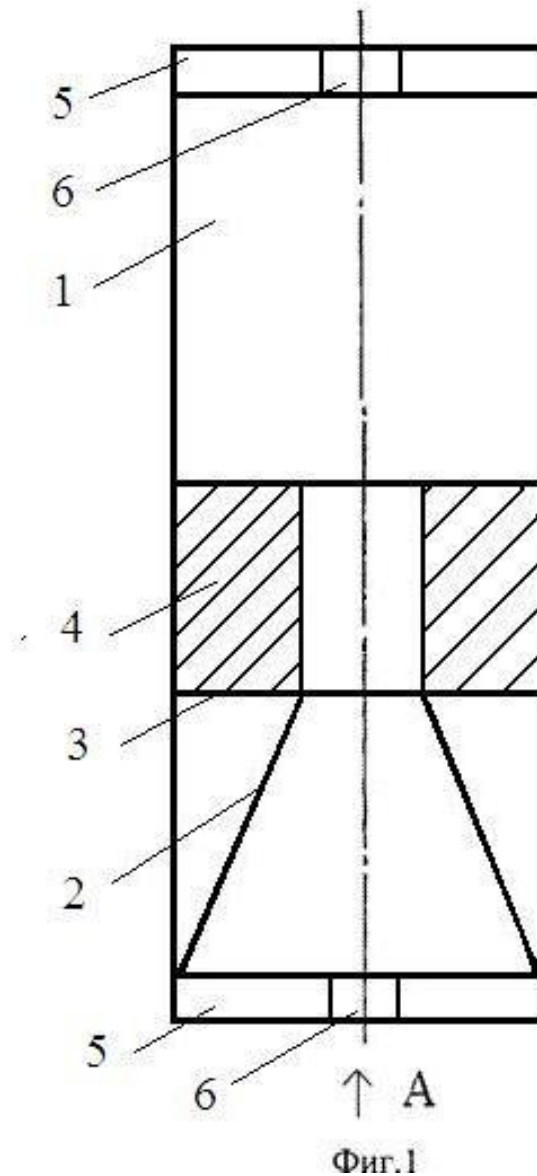


Рисунок 2.1 - Скважинная забойка с добавлением в состав карбоната цинка

- Где, 1 – полый тонкостенный цилиндр;
 2 – диффузор;
 3 – составной элемент;
 4 – карбонат цинка;
 5 – крышка забойки;
 6 – отверстие для средств инициирования.

Забойка выполнена в форме полого тонкостенного цилиндра 1 с толщиной стенок от 2 до 4 мм, изготовленного из пластичного полимерного

материала. В нем размещается диффузор 2 в виде осевой внутренней полости, имеющей вид усеченного конуса, длина которого составляет $1/3$ от длины забойки. В пространство между стенками полого тонкостенного цилиндра и диффузором помещается составной элемент 3, изготовленный в форме полого цилиндра с отверстием для средств инициирования, выполненный из пластичного полимерного материала с толщиной стенок от 2 до 4 мм, длина которых составляет 10 см, внутри которых содержится карбонат цинка 4. Для предотвращения попадания взрывчатого вещества нижняя часть забойки снабжена крышкой забойки 5 с отверстием для средств инициирования 6. Для предотвращения вылета составного элемента 4 верхняя часть забойки снабжена крышкой забойки 5 с отверстием для средств инициирования 6, способ крепления зависит от материала крышки. Возможные способы крепления термический, химический, механический.

Скважинная забойка работает следующим образом: крышка забойки 5 крепится к нижней части забойки и предотвращает попадание взрывчатого вещества во внутреннюю полость (диффузор 2) при зарядании скважины. Через отверстие для средств инициирования 6 происходит зарядание средств инициирования. Вторая крышка забойки 5 крепится к верхней части забойки и предотвращает вылет составного элемента 4.

После преломления ударной волны в пространство скважины происходит взаимодействие ударной волны с нижней частью диффузора. Ударная волна разрушает крышку забойки 5, непосредственно примыкающую к взрывчатому веществу, и использует внутреннюю поверхность диффузора 2 для преломления.

При наличии крышки забойки 5 после полного отражения от стенок диффузора 2 ударной волны, рассчитанной по уравнениям газовой динамики, наступает квазистационарная стадия взаимодействия продуктов детонации с забойкой, характеризуемая установлением критических параметров (дозвуковой скоростью) их истечения через верхнюю часть диффузора. По мере истечения заторможенного высокотемпературного потока продуктов

детонации через выходную часть, стенки составного элемента 3 подвергаются высокотемпературному воздействию, что позволяет карбонату цинка 4, содержащемуся в составном элементе, участвовать в химической реакции с образовавшимися после взрыва оксидами азота. Известно, что при температуре $T=300^{\circ}\text{C}$ карбонат цинка разлагается по реакции:

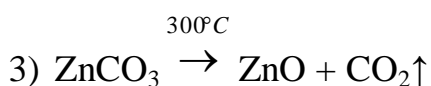
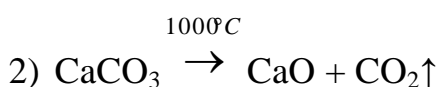
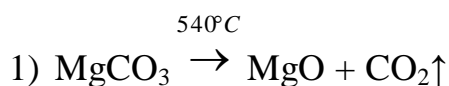
$$\text{ZnCO}_3 \xrightarrow{300^{\circ}\text{C}} \text{ZnO} + \text{CO}_2\uparrow$$
, оксид цинка является катализатором реакции нейтрализации оксида азота, а его реакция имеет вид:

$$\text{ZnO} + 3\text{NO}_2 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}\uparrow.$$

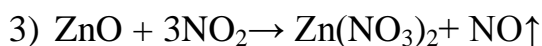
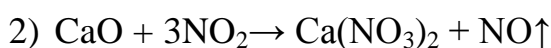
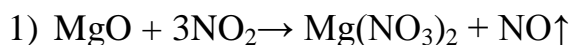
Крышка забойки 5, закрепленная в верхней части забойки, предотвращает вылет составного элемента 3 до полного сгорания. В зависимости от различных параметров количество составных элементов 3 может варьироваться от 1 до 3.

С момента начала протекания реакции взрывчатого превращения происходит медленное разложение забойки и вынос ее массы через профилированный канал. При этом температура продуктов взрыва может достигать $1500\text{-}2000^{\circ}\text{C}$, что является одним из определяющих факторов для выбора используемого катализатора с точки зрения его разложения и времени задержки продуктов взрыва в зарядной полости. Для проведения теоретических и лабораторных исследований возможности применения катализаторов в составе скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота использовались три наполнителя: карбонат магния (MgCO_3), карбонат кальция (CaCO_3) и карбонат цинка (ZnCO_3).

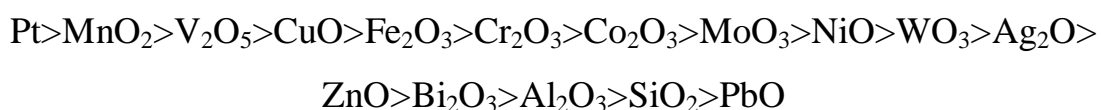
Реакции разложения наполнителей:



При распаде наполнителя выделяется его оксид, который вступает в реакцию с оксидами азота, нейтрализует их, образуя при этом нитрат. Составим уравнения реакций оксидов азота с оксидами наполнителей, которые протекают следующим образом:



Из реакций видно, что каждый наполнитель нейтрализует часть оксидов азота, образуя при этом нитрат. Достоверность данных реакций подтверждена исследованиями [19], где в качестве катализаторов селективного восстановления оксидов азота испытывались оксиды ванадия, хрома, цинка, железа и других металлов. По данным исследований [20] их каталитическая активность снижается в ряду:



Необходимыми условиями нейтрализации оксидов азота в продуктах взрыва являются соответствие температуры и времени разложения наполнителя температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости.

2.2 Численные расчеты соответствия температуры и времени разложения катализаторов температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости

Для обоснования применения высокоактивных катализаторов для нейтрализации оксидов азота является необходимым найти решение задачи прогрева частиц катализатора продуктами взрыва при взрыве заряда взрывчатого вещества с учетом времени их задержки в зарядной полости. Ингибирующие свойства катализаторов проявятся только в случае их полной диссоциации.

Для решения поставленной задачи применялись методы математического моделирования.

В нашем случае предполагалось, что использование профилированной забойки дает возможность удержать продукты взрыва в зарядной полости на время, обеспечивающее необходимые условия для диссоциации частиц катализатора.

Применялась следующая математическая модель процесса разогрева частиц катализатора продуктами взрыва. Частицы наполнителя равномерно распределены, имеют форму шара, а также одинаковый размер. Размеры частиц катализатора (радиус) изменялись в диапазоне от $1 \cdot 10^{-5}$ м до $15,0 \cdot 10^{-5}$ м.

Исходя из того, что время задержки продуктов взрыва в зарядной полости при применении профилированной забойки составляет $15 \cdot 10^{-3}$ с, что гораздо дольше времени детонаций и распространения волны разгрузки по заряду ($0,8 \cdot 10^{-3}$ с), полученный процесс взаимодействия частиц катализатора с продуктами взрыва можно считать «квазистатическим». Давление и температура распределены равномерно по всему объему зарядной полости и остаются неизменными на весь период нагружения.

В этом случае температура продуктов взрыва в зарядной полости определялась следующим соотношением [21]:

$$T_{скв} = T_0 \left(\frac{\rho_{скв}}{\rho_0} \right)^{k-1}, \quad (2.1)$$

где $k = 1,3$ – коэффициент адиабатического расширения продуктов взрыва;

$T_{скв}$ – температура продуктов взрыва;

T_0 – температура продуктов взрыва при мгновенной детонации;

ρ_0 – плотность продуктов взрыва при мгновенной детонации;

$\rho_{скв}$ – плотность продуктов взрыва в скважине.

Соотношение плотности продуктов взрыва при мгновенной детонации и плотности продуктов взрыва в скважине определяется из закона сохранения массы следующим образом:

$$\frac{\rho_0}{\rho_{скв}} = \left(\frac{d_{скв}}{d_0} \right)^2, \quad (2.2)$$

где d_0 , $d_{скв}$, – диаметр заряда и диаметр скважины соответственно. Отсюда следует, что начальная температура продуктов взрыва при выбросе через осевой канал равна:

$$T_0 = T_{\epsilon} \left(1 - \alpha_1 \frac{\rho_0}{\rho} \right), \quad (2.3)$$

где T_{ϵ} – температура продуктов взрыва чистого взрывчатого вещества, α_1 – концентрация катализатора, ρ – плотность катализатора.

Выражение для расчета температуры продуктов взрыва в зарядной полости на период их задержки принимает вид:

$$T_0 = T_{\epsilon} \left(1 - \alpha_1 \frac{\rho_0}{\rho} \right) \left(\frac{d_0}{d_{скв}} \right)^{2(k-1)} \quad (2.4)$$

Предполагалось, что основным механизмом разогрева частиц катализатора является конвективный теплообмен с обтекающими их продуктами взрыва. В данном случае диссоциация частиц произойдет в момент, когда температура достигнет критической величины во всем объеме частицы. Поскольку по данным [22] карбонат цинка при температуре 815K диссоциируется без плавления на ZnO и CO₂, то температуру 815K можно считать критической температурой. Данную задачу конвективного

стационарного теплообмена решали с помощью применения уравнения теплопроводности, имеющего вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (2.5)$$

$$t > 0; \quad 0 < r < R,$$

где t – текущее время процесса разогрева;

$T(r, t)$ – текущая температура в материальной точке шара;

R – радиус шара;

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\rho} \quad \text{– коэффициент температуропроводности;}$$

r – текущий радиус материальной точки;

λ, c, ρ – теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность частицы соответственно.

В данном случае начальные и граничные условия имели вид:

$$T(r, 0) = T_0; \quad T(0, t) = \text{const} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial T(0, t)}{\partial r} = 0 \quad (2.7)$$

$$-\frac{\partial T(R, t)}{\partial r} + \frac{\alpha}{\lambda} [T_{\text{ср}} - T(R, t)] = 0, \quad (2.8)$$

где α – коэффициент теплообмена;

T_0 – температура шара начальная, равная 300⁰К.

С помощью закона теплообмена Ньютона можно описать граничное условие (2.8) на поверхности шара.

Для решения уравнения (2.5) применялся метод разделения переменных Фурье [23]. Метод решения дифференциальных уравнений,

основанный на алгебраическом преобразовании исходного уравнения к равенству двух выражений, зависящих от разных независимых переменных.

Кроме того, частное решение представленного уравнения (Θ_{1n}) представляет собой уравнение:

$$\Theta_{1n} = T_{\text{св}} - T(r, t) = C_n \frac{\sin(k_n \cdot r)}{r} e^{-ak_n^2 t} \quad (2.9)$$

где k_n – собственное значение функции.

Величина собственного значения функции определялась из условия (2.8):

$$\frac{\partial \Theta_1(R, t)}{\partial r} + \frac{\alpha}{\lambda} \Theta_1(R, t) = 0 \quad (2.10)$$

Подставив в формулу (2.10) частное решение (2.9), выполнив дифференцирование, получаем

$$-C_H \frac{\sin k_n R}{R^2} e^{-ak_n^2 t} + C_H \frac{k_H}{R} \cos k_n R e^{-ak_n^2 t} + C_H \frac{\alpha}{\lambda R} \sin k_n R e^{-ak_n^2 t} = 0 \quad (2.11)$$

Далее путем сокращения (2.11) на множители получаем выражение

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda} - \frac{1}{R} \right) \sin k_n R + k_n \cos k_n R = 0 \quad (2.12)$$

Уравнение (2.12) можно преобразовать к трансцендентному уравнению и определить собственные значения

$$tgk_n R = -\frac{k_n R}{\frac{\alpha}{\lambda} R - 1} \quad (2.13)$$

Представляем собственное значение функции в виде:

$$\mu_n = k_n R \quad (2.14)$$

Беря в расчет, что имея $\frac{\alpha}{\lambda} R = Bi$,

где Bi – это критерий Био – один из критериев подобия стационарного теплообмена между нагретым или охлажденным твёрдым телом и окружающей средой, выводим уравнение (2.13) в виде:

$$tg\mu_n = \frac{1}{Bi - 1} \mu_n \quad (2.15)$$

Решений данного уравнения (2.15), определяющего собственные значения, можно найти бесчисленное множество. Данные решения – это точки пересечения тангенсоид с прямой. Представим, что тангенс угла наклона прямой равняется $-\left(\frac{1}{Bi - 1}\right)$.

Бесконечное множество полученных значений дает также и бесконечное множество собственных функций. Исходя из этого, общее решение уравнения можно записать в виде суммы всех частных решений:

$$\Theta_1(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin \mu_n \frac{r}{R}}{r} e^{-\mu_n^2 \cdot F_0} \quad (2.16)$$

где $F_0 = \frac{a}{R^2} t$ – критерий Фурье, характеризующий соотношение между скоростью изменения тепловых условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля температуры внутри рассматриваемой системы (тела), который зависит от размеров тела и коэффициента его температуропроводности.

Постоянная C_n находится из условия (2.6), представленного в виде:

$$\Theta_1(r, t) = \Theta_{10} = T_{cp} - T_0 \quad (2.17)$$

$$\Theta_{10} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin \mu_n \frac{r}{R}}{r} \quad (2.18)$$

Умножим обе части уравнения (2.18) на $r \sin \mu_m \frac{r}{R} d_r$ и интегрируем их в пределах от 0 до R.

$$\int_0^R r \Theta_{10} \sin \mu_m \frac{r}{R} d_r = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \int_0^R \sin \mu_m \frac{r}{R} \mu_n \frac{r}{R} d_r, \quad (2.19)$$

где μ_m – корень полученного характеристического уравнения.

Применяя принцип ортогональности полученных собственных функций, имеем возможность из уравнения (2.19) найти значение коэффициента C_n :

$$C_n = \frac{\int_0^R r \Theta_{10} \sin \mu_n \frac{r}{R} dr}{\int_0^R \sin^2 \mu_n \frac{r}{R} dr} \quad (2.20)$$

В результате интегрирования уравнения (2.20) получим окончательное значение коэффициента C_n :

$$C_n = \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n) R}{(\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n) \mu_n} \quad (2.21)$$

После данных преобразований получим решение задачи в виде:

$$\Theta = \frac{T(r,t) - T_0}{T_{cp} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n) R}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n} \frac{R}{r \mu_n} \sin \mu_n \frac{r}{R} e^{-\mu_n^2 F_0} \quad (2.22)$$

Используя закон изменения температуры в шаре во времени (2.22), вычисляем температуру частицы для каждого момента времени в любой точке, а также рассчитываем количество тепла, расходуемое на разогрев шара. Для упрощения решения уравнения достаточно найти среднюю интегральную температуру (\bar{T}) по толщине шара:

$$\bar{T}(t) = \frac{1}{R^2} \int_0^R r^2 T(r,t) dr \quad (2.23)$$

Подставляя в уравнение (2.23) зависимость температуры от времени в виде (2.22) и проинтегрировав, получаем:

$$\bar{\Theta} = \frac{\bar{T}(t) - T_0}{T_{cp} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n e^{-\mu_n^2 F_0} \quad (2.24)$$

где $B_n = \frac{6Bi^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + Bi^2 - Bi)}$ – постоянные коэффициенты.

Зная значения средней температуры разогрева шара, можно найти удельный расход тепла:

$$q_{y\partial} = C\rho[\bar{T}(t) - T_0], \quad (2.25)$$

где $q_{y\partial}$ – удельный расход тепла на разогрев шара.

Используя выражение (2.25), полный расход тепла на разогрев частицы можно представить в виде:

$$q = q_{y\partial} \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 C\rho[\bar{T}(t) - T_0], \quad (2.26)$$

где q – расход тепла на прогрев частицы катализатора за время.

Число частиц катализатора в составе профилированной забойки (N) определяется в виде соотношения:

$$N = \frac{\alpha_1 m_{заб}}{\frac{4}{3} \pi R^3}, \quad (2.27)$$

где $m_{заб}$ – масса профилированной забойки,

Полученное соотношение позволяет рассчитать теплотери на разогрев катализатора в виде:

$$Q_1 = \alpha_1 c m_{заб} [\bar{T}(t) - T_0]. \quad (2.28)$$

Из полученной формулы (2.28) можно найти снижение температуры (ΔT_1) в продуктах взрыва за счет потерь тепла на разогрев частиц наполнителя:

$$\Delta T_1 = \alpha_1 \frac{c}{c_{заб}} [\bar{T}(t) - T_0]. \quad (2.29)$$

По представленной математической модели производился расчет параметров процесса диссоциации частиц катализаторов. Результаты расчетов представлены в таблицах 2.1 - 2.3

Таблица 2.1 - Результаты расчета процесса разогрева и распада частиц наполнителя CaCO_3

№	Размер частиц 10^{-6} м	<i>Vi</i> - критерий Био	t_1 10^{-3} с	t_2 10^{-3} с
1	10	0,26	2,11	2,16
2	30	0,65	4,8	5,1
3	50	1,35	7,8	8,15
4	70	1,95	8,12	13,1
5	90	2,6	9,2	20,0
6	110	3,14	7,9	27,2
7	130	3,78	7,4	29,1
8	150	4,1	5,0	29,0

Таблица 2.2 - Результаты расчета процесса разогрева и распада частиц наполнителя MgCO_3

№	Размер частиц 10^{-6} м	<i>Vi</i> - критерий Био	t_1 10^{-3} с	t_2 10^{-3} с
1	10	0,22	2,09	2,15
2	30	0,57	3,97	4,0
3	50	1,12	6,3	7,1
4	70	1,57	9,5	11,0
5	90	2,3	9,7	14,9
6	110	2,78	8,9	22,2
7	130	3,32	8,2	29,0
8	150	3,56	7,0	29,6

Таблица 2.3 - Результаты расчета процесса разогрева и распада частиц
наполнителя ZnCO₃

№	Размер частиц 10 ⁻⁶ м	<i>Bi</i> - критерий Био	<i>t</i> ₁ 10 ⁻³ с	<i>t</i> ₂ 10 ⁻³ с
1	10	0,19	1,9	2,0
2	30	0,59	3,0	3,1
3	50	0,98	5,7	5,9
4	70	1,23	7,8	9,0
5	90	2,0	7,9	12,0
6	110	2,2	8,1	17,1
7	130	2,7	7,5	21,0
8	150	3,12	6,3	25,9

где t_1 – время нагрева наружной поверхности до температуры распада;
 t_2 – время нагрева центра шара до температуры распада, Bi - это критерий
Био - один из критериев подобия стационарного теплообмена между
нагретым или охлажденным твёрдым телом и окружающей средой.

На рисунке 2.2 приведен график зависимости времени разложения
частиц катализаторов от их размера [24].

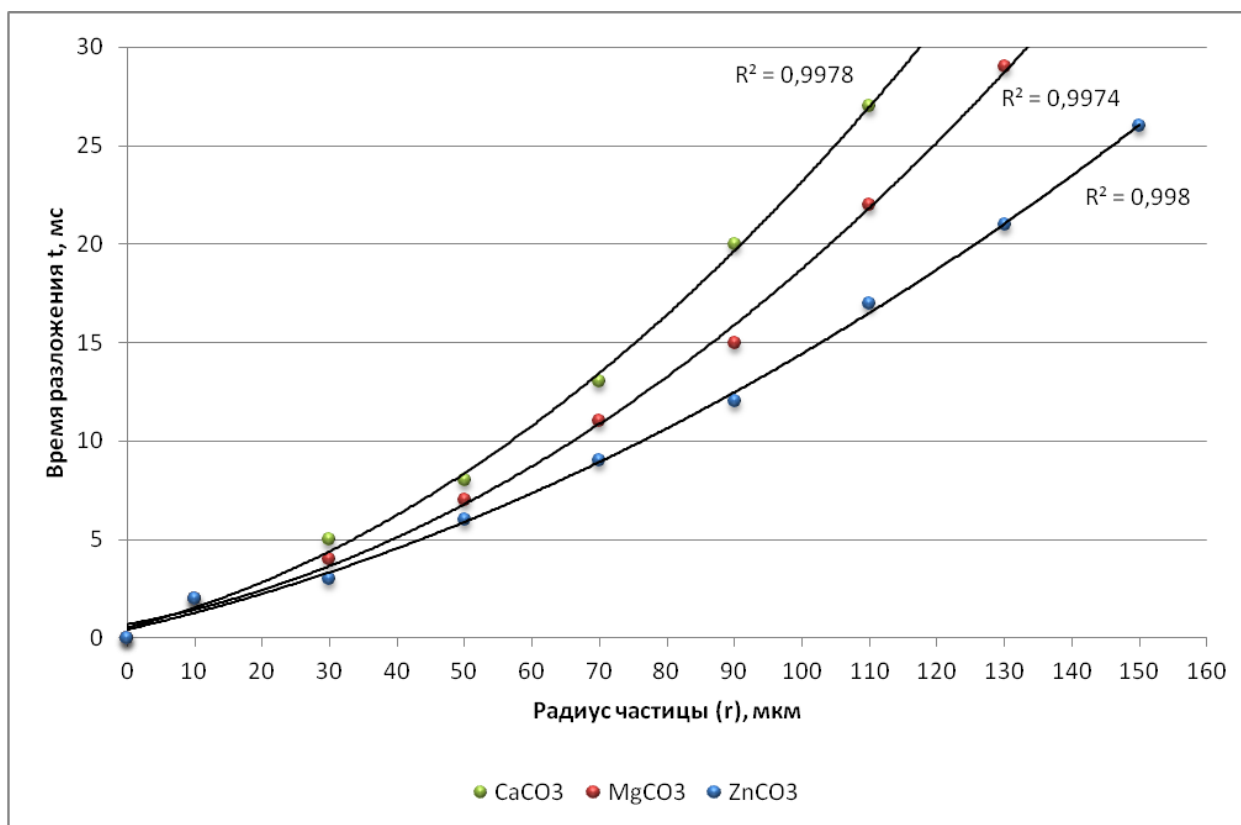


Рисунок 2.2 - График зависимости времени разложения частиц катализаторов от их размера

2.3 Выводы по главе

1. Разработана методика расчета параметров разогрева и распада частиц катализаторов в составе скважинной забойки.
2. Теоретически обоснована возможность применения высокоактивных катализаторов в составе скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота, содержащихся в продуктах взрыва.
3. Показано, что температура и время, необходимые для диссоциации частиц катализаторов, соответствуют температуре продуктов взрыва и времени их задержки в зарядной полости.
4. Установлены зависимости времени разложения катализаторов от диаметра частиц и температуры продуктов взрыва.

Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ПРОДУКТАХ ВЗРЫВА

3.1 Методика проведения лабораторных исследований по определению концентрации оксидов азота в продуктах взрыва

Как показали результаты численного моделирования процесса разогрева и распада частиц катализаторов, можно сделать вывод о возможности их использования в составе скважинной забойки для снижения оксидов азота в составе продуктов взрыва. Для более точной оценки их эффективности снижения выбросов оксидов азота в продуктах взрыва были проведены лабораторные исследования.

Для измерения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва была разработана методика проведения лабораторных исследований.

Общие положения и область применения

Данные методические указания описывают методику количественного химического анализа продуктов взрыва для измерения в них концентрации оксидов азота оптронноспектрофотометрическим методом в диапазоне массовых концентраций от 0,5 до 20 мг/м³.

Характеристика измеряемых веществ

Оксид азота.

- Физико-химические свойства: бесцветный газ, не имеет запаха и незначительно растворяется в воде. Плотность 1,3402 г/дм³. При контакте с кислородом окисляется до диоксида азота. Температура плавления: – 163,7°С, температура кипения: – 151,8°С. В воздухе имеет агрегатное состояние – пары.

- Молекулярная масса: 30,01.

- Структурная формула: N-O.

- Эмпирическая формула: NO.

- Характеристика: предельно допустимая концентрация NO в воздухе рабочей зоны карьера составляет не более 5,0 мг/м³. Оксид азота соответствует классу опасности газов – 3.

Диоксид азота.

- Физико-химические свойства: ядовитый газ красно-бурого цвета с неприятным резким запахом. Хорошо растворяется в воде. Плотность 1,491 г/дм³. Температура плавления: – 11,2°С, температура кипения: – 20,7°С. В воздухе имеет агрегатное состояние – пары.

- Молекулярная масса: 46,01.

- Структурная формула: O-N-O.

- Эмпирическая формула: NO₂.

- Характеристика: предельно допустимая концентрация NO₂ в воздухе рабочей зоны карьера составляет не более 2,0 мг/м³. Диоксид азота соответствует классу опасности газов – 3.

Краткая характеристика взрыва заряда взрывчатого вещества как источника выбросов оксидов азота

- При взрыве заряда промышленного взрывчатого вещества в продуктах взрыва образуются ядовитые газы: оксиды азота NO, NO₂, N₂O₅, оксид углерода CO₂ и сернистый ангидрид SO₂.

- При измерении массовых концентраций оксидов азота, содержащихся в продуктах взрыва, необходимо учитывать кислородный баланс взрывчатого вещества:

$$K_B = \frac{16 \cdot [c - (2 \cdot a + b/2)]}{M_{BB}} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где a , b и c – число атомов углерода, водорода и кислорода соответственно во взрывчатом веществе в виде составленной общей формулы $C_a H_b O_c N_d$

M_{BB} – молекулярная масса взрывчатого вещества.

Метрологические характеристики методики выполнения измерений

При соответствии всем необходимым условиям измерения массовых концентраций оксидов азота в соответствии с данной методикой погрешность результатов измерения не будет превышать значений, указанных в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Метрологические характеристики методики выполнения измерений

Диапазон измерений концентрации диоксида азота, мг/м ³	Предел основной относительной погрешности $\pm\delta$, % отн.	Предел допускаемой дополнительной погрешности, не более	Предел воспроизводимости, R_{δ} , % отн.
от 0,5 до 20,0 вкл.	20	0,6 (от основной)	20

Метод измерений

Содержание оксидов азота в продуктах взрыва определяют оптронноспектрофотометрическим методом путем измерения скорости изменения потемнения (окраски) ленты, используемой химкассеты, пропорциональной концентрации определяемого вещества.

Измерение проводят на автоматическом газоанализаторе непрерывного действия, используя необходимую химкассету.

Газоанализаторы типа ГАНК-4 (КПГУ.413322.002 РЭ) предназначены для автоматического непрерывного контроля концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны, в промышленных выбросах и технологических процессах в целях охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда и оптимизации технологических процессов.

Газоанализатор включает в себя: а) электронную схему с микропроцессором, памятью и программным управлением; б) систему прососа анализируемого воздуха с малогабаритным насосом; в) систему

газовых коммуникаций; г) систему встроенных датчиков; д) сменные химкассеты с миниблоком памяти «TouchMemory» и реактивной лентой на определяемые вещества; е) фотоголовку с оптронной парой (светодиод–фотодиод); ж) аккумулятор, встроенный в корпус; з) зарядное устройство аккумулятора; и) жидкокристаллический дисплей (ЖКИ); к) тактовые кнопки управления - Menu, Enter, стрелки верх и вниз; л) разъем USB для подключения персонального компьютера к COM порту.

Работа газоанализатора осуществляется в автоматическом режиме. Насос подает через входной штуцер газоанализатора анализируемый воздух на датчик или ленту химкассеты.

При измерении с помощью электрохимического датчика измеряется величина тока, пропорциональная концентрации определяемого вещества.

При измерении с помощью полупроводникового датчика измеряется изменение электропроводности полупроводникового газочувствительного слоя пропорциональной концентрации определяемого вещества при химической адсорбции газа на его поверхности.

При измерении с помощью термokatалитического датчика измеряется изменение проводимости пропорциональной концентрации определяемого вещества на платино-палладиевом электроде при термokatалитической реакции.

При измерении с помощью оптического датчика измеряется оптическая плотность воздуха пробы, которая определяется концентрацией измеряемого вредного вещества согласно градуировке.

Ионизационный метод основан на эффекте ионизации анализируемого воздуха под действием ультрафиолетового излучения. Сила тока ионизации анализируемого воздуха пропорциональна концентрации определяемого вещества.

При измерении с помощью химкассеты измеряется скорость изменения потемнения (окраски) ленты, пропорциональной концентрации определяемого вещества.

При измерении концентраций анализируемый воздух поступает через входной штуцер на датчик или химкассету. Через время, не более 20 с (при измерении датчиком), или время, не более 30 с (при измерении химкассетой), сигнал поступает в вычислительное устройство, которое преобразовывает его и выдает на ЖКИ в виде значения текущей ($C_{\text{тек}}$) и средней ($C_{\text{ср}}$) концентраций в мг/м^3 .

Отбор проб производят в автоматическом режиме после взрыва заряда взрывчатого вещества во взрывной камере.

Нижний предел измерения массовой концентрации оксидов азота в воздухе составляет $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Измерению не мешают сопутствующие выделяемые ядовитые газы.

Подготовка к выполнению измерений

Перед началом проведения лабораторных исследований необходимо рассчитать кислородный баланс применяемого взрывчатого вещества и составить реакцию взрывчатого превращения.

Взрывчатые вещества, состоящие из углерода, водорода, азота и кислорода (большинство индивидуальных взрывчатых веществ), можно представить в виде так называемой условной (брутто) формулы $C_a H_b O_c N_d$, тогда кислородный баланс можно определить по формуле:

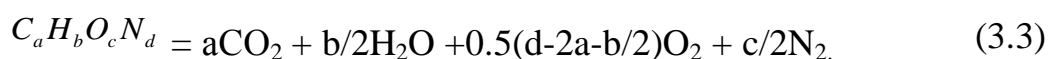
$$K_B = \frac{16 \cdot [c - (2 \cdot a + b/2)]}{M_{BB}} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где a , b и c – число атомов углерода, водорода и кислорода соответственно во взрывчатом веществе в виде составленной общей формулы $C_a H_b O_c N_d$,

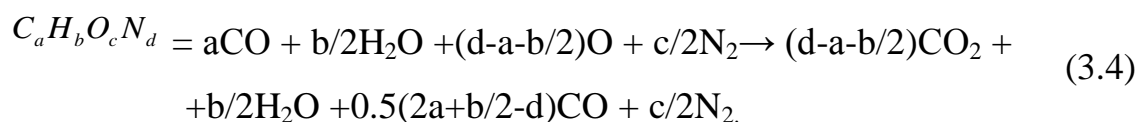
M_{BB} – молекулярная масса взрывчатого вещества

Для различных типов взрывчатых веществ рассчитать реакцию взрывчатого превращения.

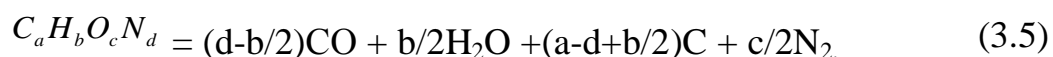
- Составить реакцию взрывчатого превращения для взрывчатых веществ с нулевым или положительным кислородным балансом. Для взрывчатых веществ первой группы с $K_6 \geq 0$ ($d \geq 2a + b/2$) реакции взрывчатого превращения составляются исходя из образования высших оксидов всех горючих элементов, содержащихся в ВВ, а именно CO_2 , H_2O и др. Избыток кислорода выделяется в виде собственно O_2 или расходуется на образование оксидов азота: NO , NO_2 , N_2O_5 и др. Составление реакции взрывчатого превращения (правой части реакции) для таких взрывчатых веществ не представляет сложности и схема имеет следующий вид:



- Составить реакцию взрывчатого превращения для взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом. Для условий полного газообразования $d \geq a + b/2$ уравнение реакции взрывчатого превращения имеет вид:



Для условий неполного газообразования $b/2 \leq d \leq a + b/2$ уравнение реакции взрывчатого превращения имеет вид:



- Выполнить расчет объема газообразных продуктов взрыва. Объем газообразных продуктов взрыва определяется по реализации взрывчатого превращения взрывчатого вещества на основе закона Авогадро, согласно

которому объем, занимаемый одним молем газа при температуре 0°С и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па, равен 22,4 л.

$$V_{\text{пв}} = 22,4(n_1 + n_2 + \dots + n_n) / 1000, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3.6)$$

- Подготовить измерительный прибор в соответствии с руководством по его эксплуатации.

- Подготовить испытываемое модельное взрывчатое вещество. Навеску BaO_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, Zr массой 1,2 гр. необходимо предварительно смешать в соотношении 30/30/40 соответственно. Далее поместить в заранее подготовленный воспламенитель с пластиковой капсулой.

- Подсоединить воспламенитель к магистральному проводу. Провод с обратной стороны необходимо пережечь, что обеспечит при этом защиту от блуждающих токов.

- Поместить воспламенитель во взрывную камеру емкостью 5л.

- Закрепить крышку взрывной камеры болтами, при необходимости подтянуть гаечным ключом. Провод должен быть выведен наружу под крышкой.

- Подсоединить провод к взрывной машинке.

Выполнение измерений массовых концентраций оксидов азота в продуктах взрыва

- Проверить уровень заряда батареи газоанализатора. Батарея должна быть полностью заряжена для непрерывной работы оборудования.

- Установить необходимую химкассету для измерения оксидов азота в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации оборудования.

- Подсоединить щуп для забора проб и включить прибор.

- Поместить прибор около взрывной камеры.

- Проверить лабораторную установку. В специальном отверстии взрывной камеры, предназначенном для помещения щупа, должен находиться закрывающий элемент.

- С помощью взрывной машинки произвести взрыв модельного взрывчатого вещества.
- Отсоединить закрывающий элемент и поместить щуп газоанализатора внутрь взрывной камеры.
- Включить газоанализатор для отбора проб.
- Произвести необходимое количество измерений. Результаты записываются в память прибора.
- Снять показания прибора на персональный компьютер.

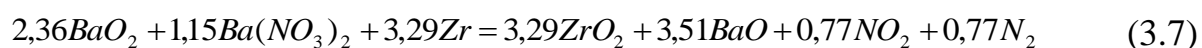
3.2 Экспериментальные исследования изменения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва в зависимости от типа применяемого катализатора

С целью определения эффективности применения катализаторов для снижения выбросов оксидов азота были проведены лабораторные исследования [25]. Исследования проводились во взрывной камере емкостью 5 л, предназначенной для испытаний взрывчатых веществ с целью определения состава продуктов взрыва и концентрации ядовитых газов. Взрывная камера представлена на рисунке 3.1



Рисунок 3.1 - Взрывная камера

Внутри камеры устанавливался воспламенитель с навеской из модельного взрывчатого вещества и испытываемого катализатора. Модельное взрывчатое вещество имеет состав: BaO_2 -40%, $Ba(NO_3)_2$ -30%, Zr -30%. Реакция взрывчатого превращения выглядит следующим образом:



Навеска массой 1,2 грамма помещалась в пластиковый колпачок, куда также устанавливался воспламенитель. После этого крышку камеры плотно закрепляли с помощью болтов. В самой крышке расположено отверстие для

отбора проб с помощью газоанализатора. Для своевременного измерения концентрации оксидов азота рядом располагался газоанализатор, изображенный на рисунке 3.2



Рисунок 3.2 - Газоанализатор ГАНК-4

На рисунке 3.3 изображена полностью готовая к проведению испытаний установка.

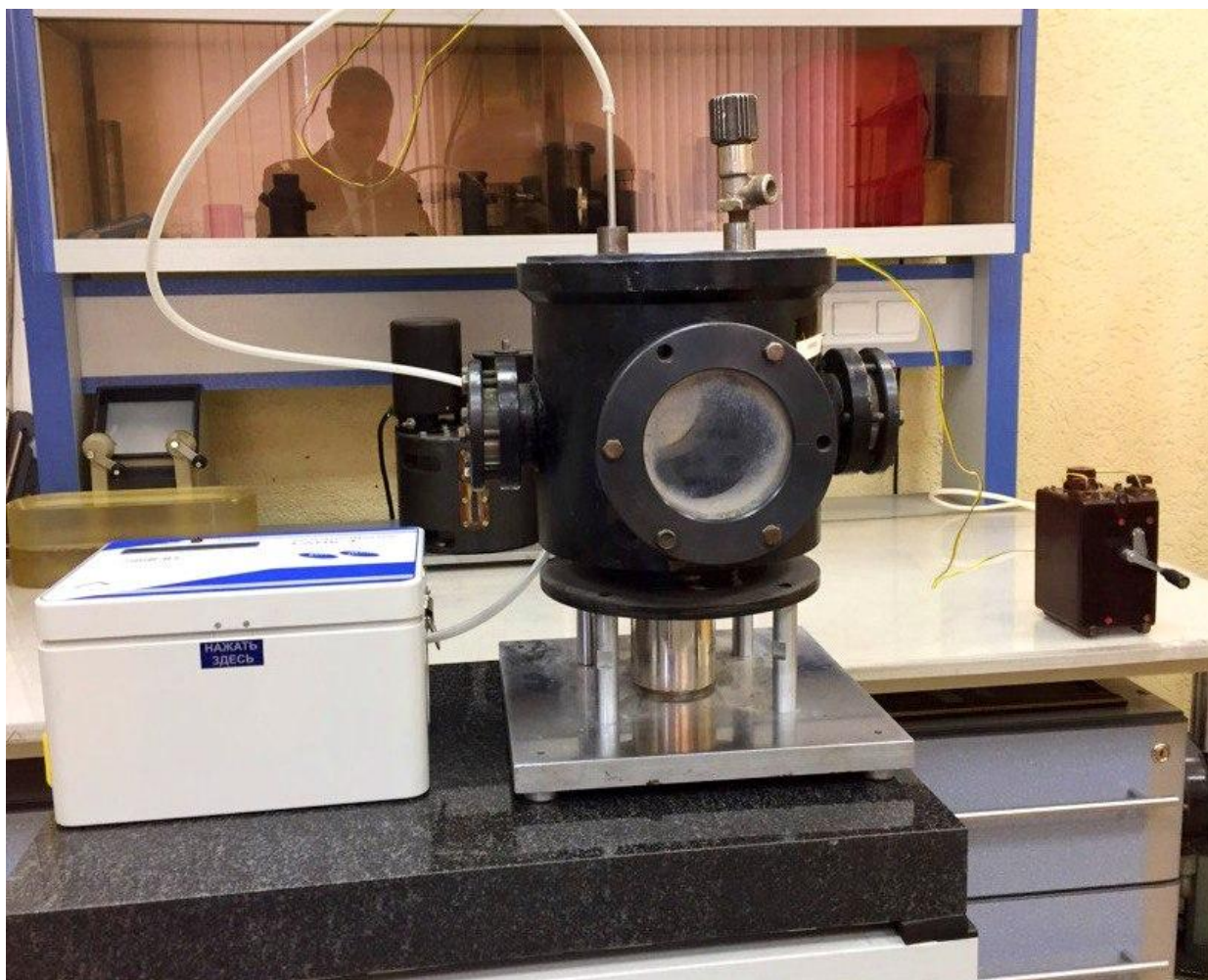


Рисунок 3.3 - Лабораторная установка для измерения концентрации оксидов азота

После взрыва через щуп газоанализатора автоматически производился отбор проб продуктов взрыва, а результаты выводились на дисплей и сохранялись в памяти устройства. После каждого взрыва камера проветривалась и обрабатывалась специальным чистящим составом.

Для определения эффективности применения выбранных высокоактивных катализаторов с целью снижения выбросов оксидов азота с каждым из них проводились лабораторные исследования. Все катализаторы имели одинаковую дисперсность и одинаковое процентное содержание в составе навески. Для определения дисперсности наполнителей проводился ситовой анализ веществ с использованием ситового анализатора А-30, изображенного на рисунке 3.4



Рисунок 3.4 - Ситовой анализатор А-30

Перед проведением исследования катализаторы предварительно измельчались, а также просушивались в тепловой камере при температуре 50°C в течение 12 часов. На рисунке 3.5 изображен катализатор карбонат кальция CaCO_3 , подготовленный для ситового анализа.



Рисунок 3.5 - Измельченный карбонат кальция CaCO_3 перед проведением ситового анализа

Для определения массовых концентраций оксидов азота, выделяемых от взрыва модельного состава без добавления наполнителя, проводилась серия экспериментальных взрывов, после чего полученные данные усреднялись. Результаты испытаний представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества

№ п/п	t, с	Концентрация NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	853
3	30	829
4	45	817
5	60	851
6	75	850
7	90	847
8	105	833
9	120	781
10	135	799
11	150	739
12	175	717

Далее для определения эффективности действия катализаторов были проведены испытания с каждым из них. Ниже приведены результаты исследования концентрации оксидов азота в продуктах взрыва с различными катализаторами.

Таблица 3.3 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с добавлением карбоната кальция CaCO₃

№ п/п	t, с	Концентрация NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	683
3	30	634
4	45	625
5	60	598
6	75	572
7	90	545
8	105	523
9	120	471
10	135	428
11	150	412
12	175	398

Таблица 3.4 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с добавлением карбоната магния $MgCO_3$

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	523
3	30	477
4	45	469
5	60	467
6	75	443
7	90	408
8	105	382
9	120	378
10	135	367
11	150	359
12	175	341

Таблица 3.5 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с добавлением карбоната цинка



№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	253
3	30	237
4	45	211
5	60	173
6	75	159
7	90	133
8	105	129
9	120	111
10	135	87
11	150	73
12	175	65

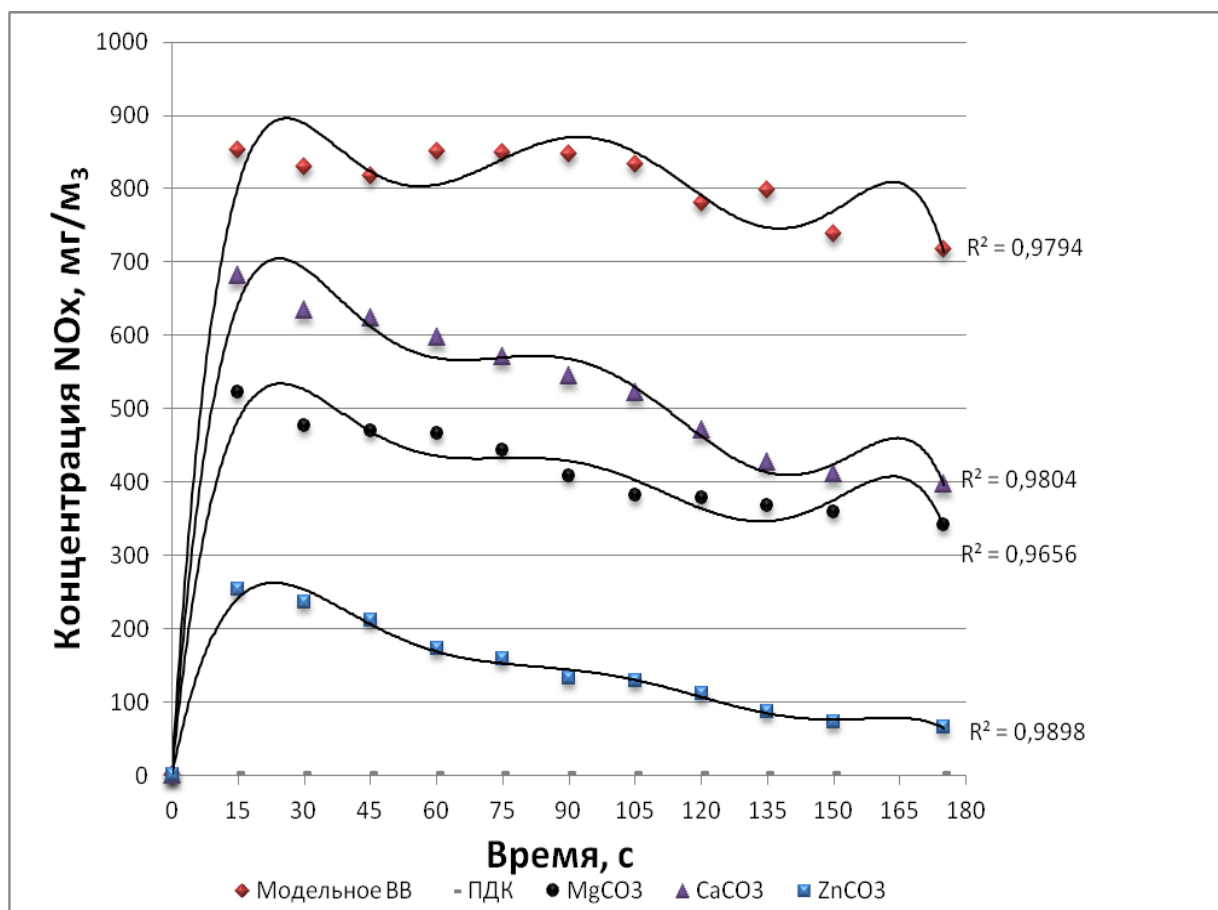


Рисунок 3.6 - Зависимость концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени в зависимости от используемого катализатора

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что обеспечение нейтрализации оксидов азота в составе продуктов взрыва возможно за счет применения высокоактивных катализаторов карбоната магния $MgCO_3$, карбоната кальция $CaCO_3$, карбоната цинка $ZnCO_3$. Также можно утверждать, что наиболее эффективным катализатором для снижения выбросов оксидов азота является карбонат цинка ($ZnCO_3$). Однако дисперсность наполнителя играет очень важную роль в процессе химической реакции с продуктами взрыва. Для определения наиболее оптимальной дисперсности катализатора карбоната цинка ($ZnCO_3$) проведены экспериментальные исследования по определению зависимости снижения массовых концентраций оксидов азота от дисперсности катализатора.

3.3 Исследование основных закономерностей изменения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от дисперсности используемого катализатора

Дисперсность наполнителя играет очень важную роль в процессе химической реакции с продуктами взрыва. Для определения наиболее оптимальной дисперсности катализатора карбоната цинка ($ZnCO_3$) был проведен ряд экспериментов, где определялись зависимости снижения массовых концентраций оксидов азота от дисперсности катализатора. Испытания проводились во взрывной камере емкостью 5л., предназначенной для измерения массовых концентрации продуктов взрыва, по предложенной методике.

Основываясь на предыдущих результатах, из испытываемых катализаторов был выбран самый эффективный - карбонат цинка $ZnCO_3$. Для изучения влияния дисперсности катализатора на снижение выбросов оксидов азота были проведены исследования с дисперсностью карбоната цинка ($ZnCO_3$) 50, 100 и 150 мкм.

Карбонат цинка ($ZnCO_3$) определенной дисперсности помещался в навеску модельного взрывчатого вещества. При исследовании разной дисперсности катализатора концентрация в навеске была одинакова. Результаты проведенных исследований различной дисперсности карбоната цинка представлены ниже.

Таблица 3.6 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с добавлением карбоната цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 150 мкм

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	253
3	30	242
4	45	221
5	60	197
6	75	182
7	90	163
8	105	149
9	120	144
10	135	131
11	150	112
12	175	98

Таблица 3.7 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с добавлением карбоната цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 100 мкм

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	242
3	30	220
4	45	191
5	60	185
6	75	162
7	90	145
8	105	122
9	120	87
10	135	76
11	150	72
12	175	70

Таблица 3.8 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с добавлением карбоната цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 50 мкм

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	210
3	30	202
4	45	183
5	60	174
6	75	153
7	90	119
8	105	87
9	120	65
10	135	57
11	150	50
12	175	48

Зависимости снижения массовых концентраций оксидов азота от дисперсности катализатора представлены на рисунке 3.7

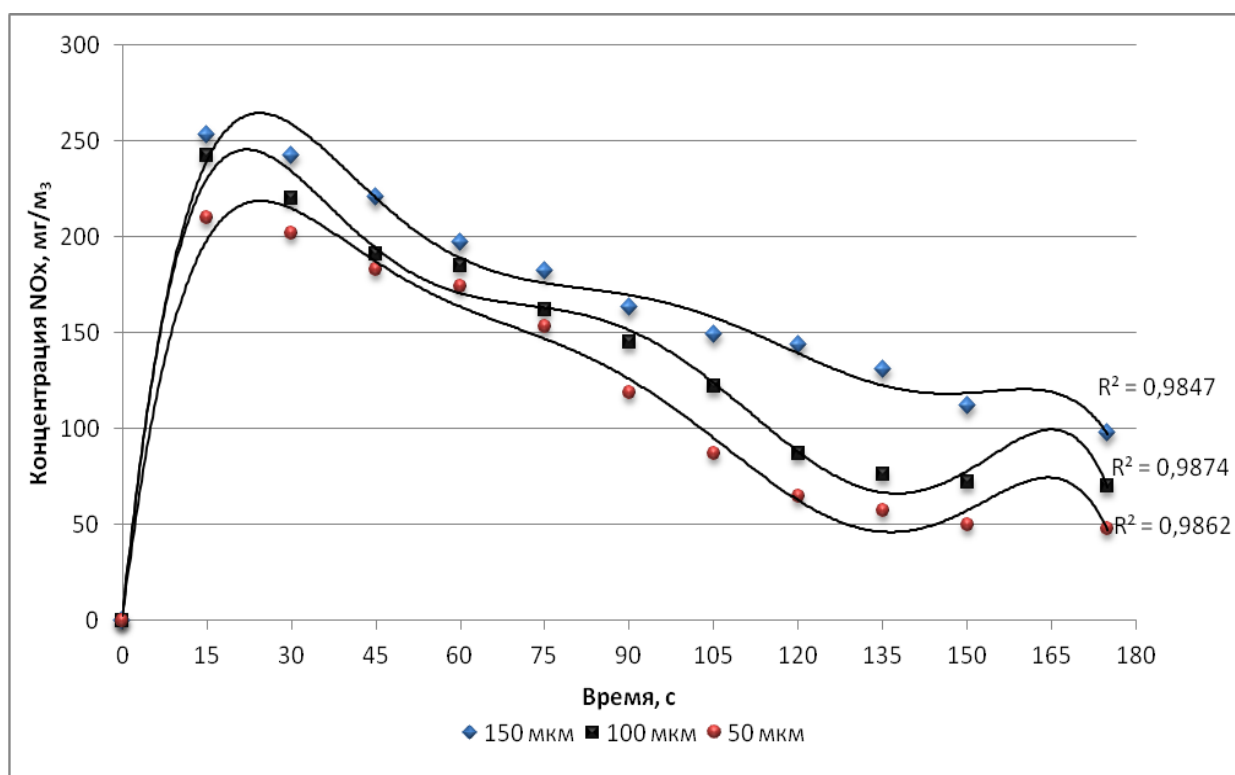


Рисунок 3.7 - Зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от дисперсности наполнителя

Полученные в ходе экспериментов данные показали, что частицы катализатора дисперсностью 50-75 мкм наиболее эффективно снижают образование оксидов азота в продуктах взрыва.

3.4 Оценка влияния концентрации катализатора на содержание оксидов азота в продуктах взрыва

Для определения эффективности работы катализатора в зависимости от процентного содержания был проведен ряд экспериментов с различной концентрацией.

Исследования проводились по методике, представленной выше. В навеску модельного взрывчатого вещества добавлялся карбонат цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 50-75 мкм. Исследования проводились с концентрацией катализатора 5%, 10%, 15%, 20%. Результаты проведенных исследований представлены ниже.

Таблица 3.9 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с 5% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	250
3	30	240
4	45	220
5	60	180
6	75	165
7	90	140
8	105	115
9	120	80
10	135	75
11	150	65
12	175	65

Таблица - 3.10 Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с 10% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	250
3	30	230
4	45	210
5	60	160
6	75	135
7	90	115
8	105	80
9	120	65
10	135	60
11	150	60
12	175	55

Таблица 3.11 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с 15% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	250
3	30	230
4	45	200
5	60	160
6	75	120
7	90	95
8	105	65
9	120	50
10	135	45
11	150	40
12	175	40

Таблица 3.12 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве модельного взрывчатого вещества с 20% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$

№ п/п	t, с	Концентрация NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	250
3	30	240
4	45	215
5	60	190
6	75	180
7	90	150
8	105	130
9	120	100
10	135	70
11	150	65
12	175	60

На основе полученных результатов представлен график зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от процентного содержания катализатора - рисунок 3.8

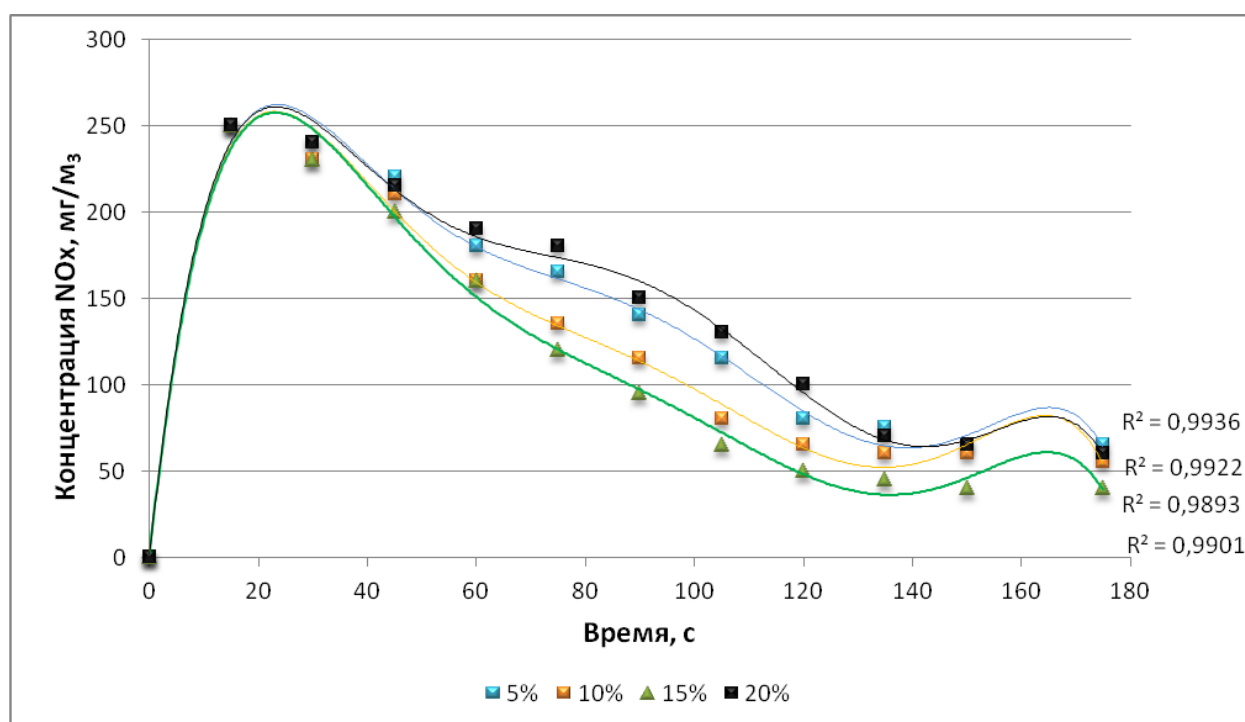


Рисунок 3.8 - Зависимость концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от процентного содержания добавки

3.5 Оценка выбросов оксидов азота при детонации взрывчатого вещества

Исследование выбросов оксидов азота при использовании модельного взрывчатого вещества является незаконченным без подтверждения возможной реакции при взрыве взрывчатого вещества. С целью подтверждения полученных результатов был проведен ряд дополнительных лабораторных исследований. В качестве исследуемого взрывчатого вещества использовался пентаэритриттетранитрат (ТЭН). ТЭН – химическое соединение $(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4\text{C}$, мощное бризантное взрывчатое вещество, чувствительное к удару. В чистом виде ТЭН используется для снаряжения капсулей-детонаторов, а во флегматизированном виде — для снаряжения кумулятивных зарядов, а также детонирующего шнура. Химически стоек. Представляет собой белый порошок кристаллического вида. В общем виде химическая формула имеет вид $\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_{12}$. Молярная масса пентаэритриттетранитрата составляет 316,25 г/моль. Кислородный баланс – 10,12%.

Для определения содержания оксидов азота в продуктах взрыва пентаэритриттетранитрата проводились лабораторные исследования во взрывной камере емкостью 5 л.

Для измерения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва исследуемого взрывчатого вещества применялся газоанализатор ГАНК-4. Измерения проводились с помощью химкассеты для определения концентрации оксидов азота.

Во взрывную камеру емкостью 5 л помещалась стальная мортира диаметром 100 мм и высотой 100 мм. В центре мортиры был пробурен шпур диаметром 6 мм и глубиной 60 мм. Схема изготовленной мортиры представлена на рисунке 3.9.

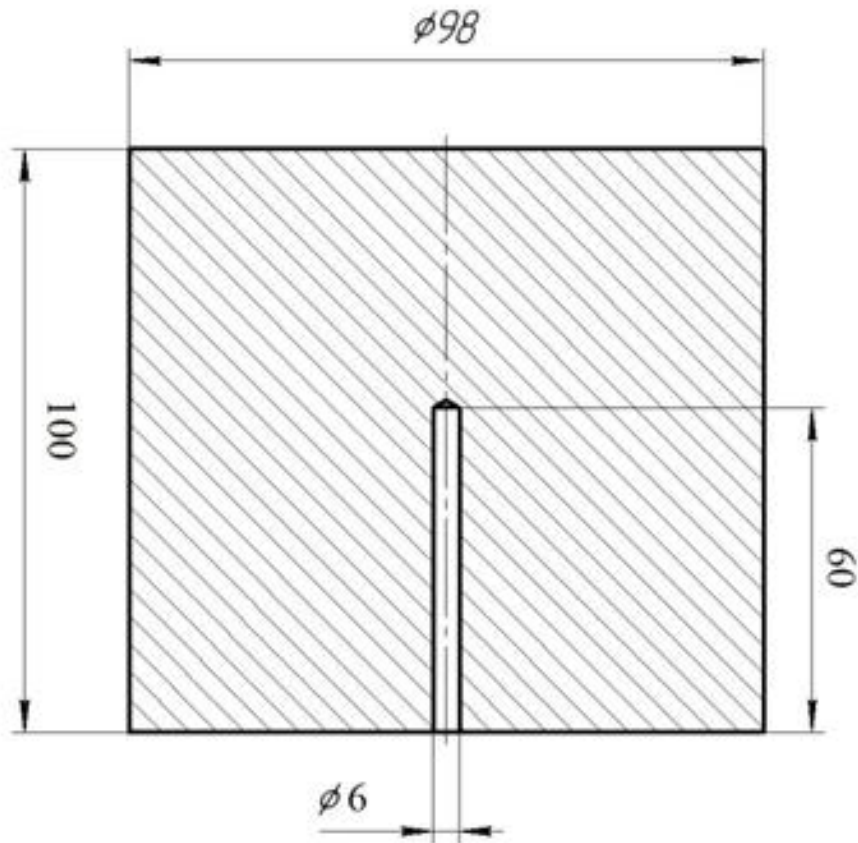


Рисунок 3.9 - Металлическая мортира для проведения исследований

Для иницирования пентаэритриттетранитрата применялся электрический воспламенитель, который помещался в нижнюю часть шпура. В заряжаемую часть шпура помещался пентаэритриттетранитрат массой 1,02 гр. В качестве забоечного материала использовался кварцевый песок. Длина заряда составляла 36 мм, а длина забойки 21 мм. Схема полностью готовой установки представлена на рисунке 3.10.



Рисунок 3.10 - Схема измерения выбросов оксидов азота



Рисунок 3.11 - Общий вид mortarы с помещенной навеской пентаэритриттетранитрата в шпур

Для определения содержания оксидов азота в продуктах взрыва исследуемого взрывчатого вещества проводились лабораторные исследования без применения каких-либо дополнительных примесей. Полученные результаты представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 - Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве навески пентаэритриттетранитрата массой 1,02 гр.

t, с / № опыта	Концентрация NO ₂ , мг/м ³	1	2	3	4	5
0		653	360	550	670	480
15		579	560	470	580	440
30		564	533	482	585	421
45		548	521	451	530	389
60		470	490	433	470	375
75		454	430	412	468	343
90		365	380	396	437	351
105		345	355	365	402	328
120		368	340	320	380	315
135		283	290	301	391	289
150		285	276	290	359	280
165		250	244	255	345	276
180		235	226	243	321	257
195		213	221	218	298	255
210		220	225	210	278	243
225		212	218	206	266	232
240		208	216	204	244	211
255		210	216	208	238	202

Из приведенных выше результатов видно, что в случае использования взрывчатого вещества пентаэритриттетранитрат в составе продуктов взрыва выделяется большое количество оксидов азота. Данные результаты подтверждают целесообразность исследований с модельным взрывчатым веществом.

С целью доказательства эффективности применяемого катализатора для снижения выбросов оксидов азота в продуктах взрыва были проведены лабораторные исследования по определению концентрации оксидов азота при применении карбоната цинка в составе забойки в размере 20 % относительно массы пентаэритриттетранитрата. Полученные результаты приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 Концентрация оксидов азота в продуктах взрыва при взрыве пентаэритриттетранитрата с 20% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$ в составе забойки

t, с / № опыта	Концентрация NO_2 , мг/м ³	1	2	3	4	5
0		380	402	398	356	412
15		360	387	402	334	400
30		352	366	387	320	380
45		334	340	366	334	376
60		318	332	354	340	366
75		306	323	348	345	340
90		292	305	332	323	321
105		280	298	320	320	310
120		276	280	312	318	298
135		264	282	295	315	290
150		258	278	280	310	288
165		240	266	275	287	280
180		227	243	267	280	275
195		219	233	265	270	276
210		205	220	244	266	266
225		198	221	232	246	235
240		194	214	220	240	220
255		188	206	214	233	221

На рисунке 3.12 приведен график зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени при взрыве навески пентаэритриттетранитрата массой 1,02 гр. и навески пентаэритриттетранитрата с 20% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$ в составе забойки.

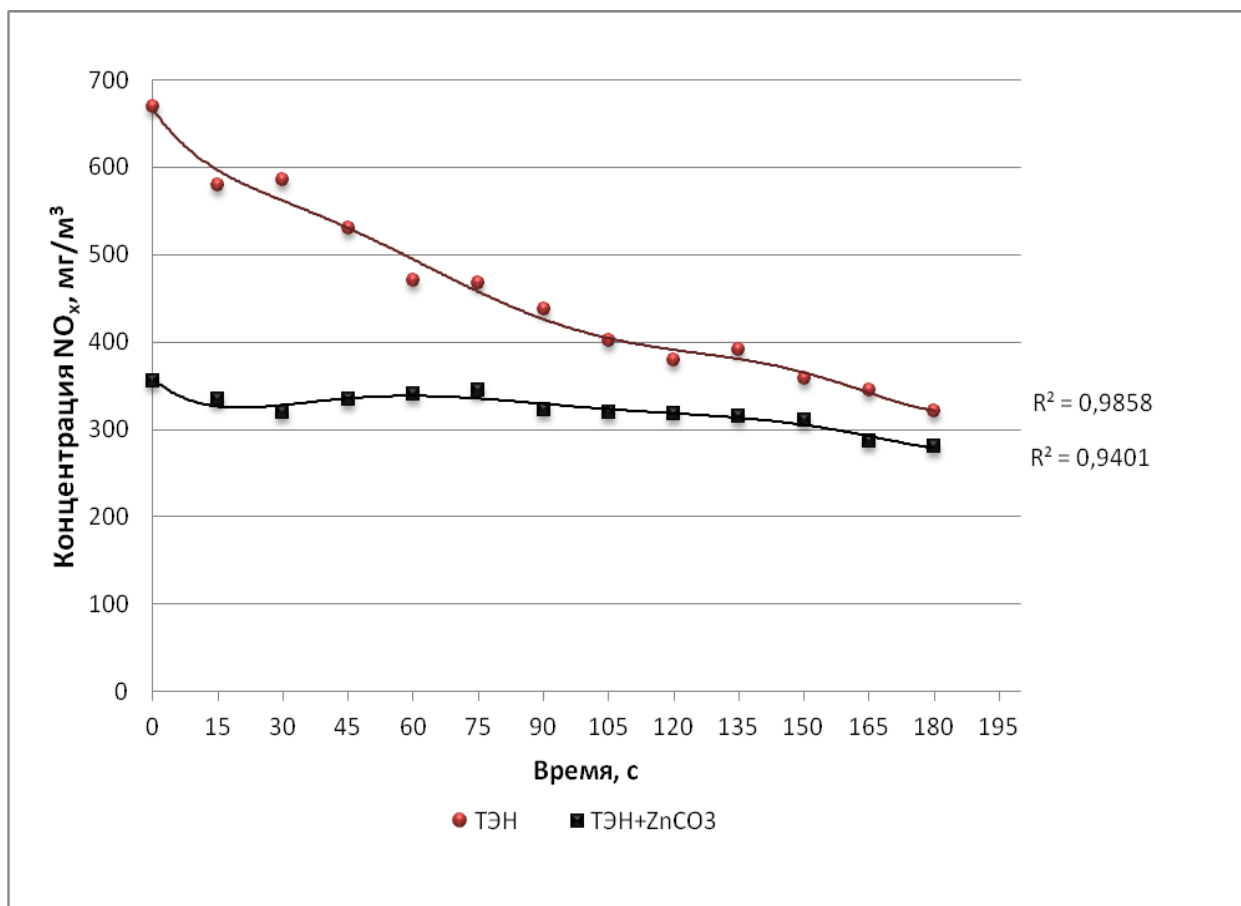


Рисунок 3.12 - График зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени

Из приведенных выше результатов видно, что применение карбоната цинка позволяет снизить выбросы оксидов азота более чем на 40%. Также данные исследования подтверждают возможность проведения лабораторных экспериментов с использованием пиротехнического состава в модельном взрывчатом веществе.

3.6 Выводы по главе

1. Установлена зависимость снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от типа применяемого катализатора.
2. Установлена зависимость снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от дисперсности катализатора.
3. Установлена зависимость снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от процентного содержания катализатора в составе забоечного материала.
4. На основе проведенных лабораторных исследований установлено:
 - наиболее эффективным из предложенных катализаторов для снижения выбросов оксидов азота является карбонат цинка $ZnCO_3$;
 - частицы катализатора дисперсностью 50-75 мкм наиболее эффективно снижают образование оксидов азота в продуктах взрыва;
 - оптимальная концентрация катализатора в составе забоечного материала составляет 15-20 % от массы забойки.

Глава 4 ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ ДИСПЕРСНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫСОКОАКТИВНОГО КАТАЛИЗАТОРА В СОСТАВЕ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ЗАБОЙКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА, В УСЛОВИЯХ ГРАНИТНОГО КАРЬЕРА «ИЛЬМЕНИОКИ»

4.1 Горно-геологические условия месторождения и физико-механические свойства слагающих его пород

Исследования по определению концентрации оксидов азота в продуктах взрыва проводились на гранитном карьере месторождения «Ильмениоки» [26].

Месторождение «Ильмениоки» располагается в Западном Приладожье, на территории Лахденпохского района Республики Карелии рисунке 4.1



Рисунок 4.1 - Местоположение месторождения «Ильмениоки»

Месторождение обрабатывается одним карьером компании ООО «Рубикон». Добыча гранитов в карьере производится с помощью буровзрывных работ.

Геология и гидрогеология

В геоморфологическом отношении месторождение представляет собой вытянутую грядообразную возвышенность субмеридионального простирания и ряд мелких холмов, разделенных между собой узкими иногда слабозаболоченными низинами. Максимальные относительные превышения над окружающей местностью составляют 10-58 м.

В геологическом строении месторождения участвуют интрузивные образования куркиёкского норит-эндербитового и кузнеченского мигматит-гранитового комплексов.

По своему минеральному составу и по структурно-текстурным особенностям гранитоиды этих комплексов очень близки между собой, четких геологических границ между ними ни в одном обнажении не установлено.

Граниты кузнеченского мигматит-гранитового комплекса развиты в северо-восточной и южной части участка месторождения. Контакты с гранитоидами куркиёкского комплекса постепенные.

Граниты по составу микроклиновые и плагиоклаз-микроклиновые, имеют светло-розовый, розовый, мясо-красный и кирпичный цвет; мелко-крупнозернистую и порфириовидную структуру; массивную текстуру, участками трахитоидную; по характеру цветного минерала относятся к биотитовым. Трахитоидность обусловлена субпараллельной ориентировкой табличек микроклина.

Граниты состоят из микроклина (20-85%), кварца (10-40%), плагиоклаза (5-45%), биотита (1-15%); акцессорными минералами являются гранат, апатит, циркон.

По результатам микроскопического изучения граниты характеризуются гипидио-морфнозернистой и бластокатакlastической структурой.

Трещиноватость пород месторождения изучена по расчисткам и обнажениям коренных пород. По характеру трещиноватости, которая во многом определяет потребительские свойства природного камня,

продуктивная толща месторождения сравнительно однородная. В обнажениях преобладают породы, разбитые разноориентированными трещинами с образованием естественных остроугольных блоков размером до 1 м^3 . Отдельные крупные обнажения и расчистки представлены фрагментами слаботрещиноватых пород, размер естественных блоков которых по визуальной оценке может достигать 3 и более м^3 .

Четвертичными отложениями покрыто 70% площади месторождения. На вершинах и склонах возвышенностей мощность рыхлых отложений достигает 0,5-0,8 м, резко возрастает у подножия крутых склонов и в низинах между холмами до 7 м. Хорошо обнажены вершины и крутые склоны возвышенностей.

Средняя мощность рыхлых отложений составляет 1,1 м. Представлены они осадками ледникового генезиса.

Ледниковые отложения покрывают вершины и склоны возвышенностей и представлены супесями с валунами и галькой. Окраска супеси буровато-серая. Содержание песчаной фракции около 60%, пылеватых и глинистых частиц до 20%, крупнообломочного материала до 20%.

В долине р. Ильмениоки (вдоль восточной границы участка) и в пределах слабо заболоченной равнины вдоль западной границы участка месторождения распространены суглинки, по-видимому, водно-ледникового генезиса.

Суглинки серого и темно-серого цвета с прослоями светло-серого песка мощностью до 2-3 мм. С глубиной наблюдается постепенное уменьшение глинистых частиц и увеличение песчаных прослоек.

**4.2 Существующая технология и параметры буровзрывных работ на
гранитном карьере «Ильменйоки»**

Таблица 4.1 - Объем и параметры взрываемого массива

1. ПАРАМЕТРЫ МАССИВА	Горизонт
1.1 Высота уступа, м	9,5
1.2 Средняя отметка подошвы	+48
1.3 Ширина рабочей площадки расчетная, м	100
1.4 Ширина бермы обрушения, м	2
1.5 Угол откоса уступа, град	80
1.6 Количество намеченных к взрыванию скважин, шт.	164
1.7 Количество намеченных к взрыванию рядов скважин, шт.	10
1.8 Диаметр скважин, мм	115
1.9 Глубина намеченных к взрыванию скважин, м	8,7.1-11.4
1.10 Величина перебура, м	1
1.11 Необходимая ширина развала горной массы	-
1.12 Сетка скважин: Расстояние между скважинами, м Расстояние между рядами скважин, м	3,5 3,5
1.13 Наличие воды	есть
2. ОБЪЕМ ВЗРЫВАЕМОГО МАССИВА, м³	20.98 тыс.м³

**Проект на бурение блока №42 гор.48,0 м
карьера "Ильмениоки"**

УТВЕРЖДАЮ:
Гл. инженер
ООО "Рубикон"

СОГЛАСОВАНО:
Гл. инженер ООО
"Промстройвзрыв"

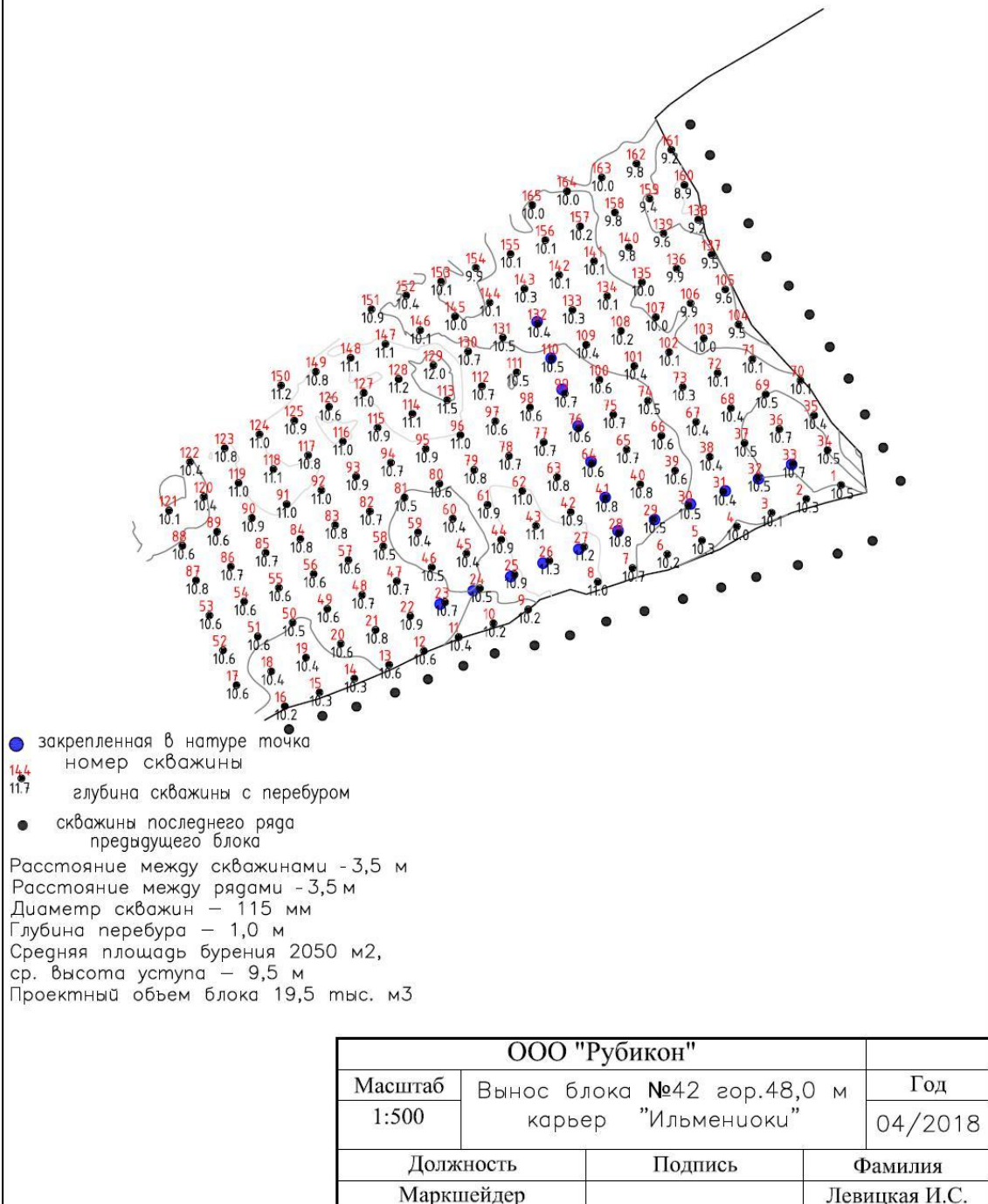


Рисунок 4.2 - Проект на бурение блока №42

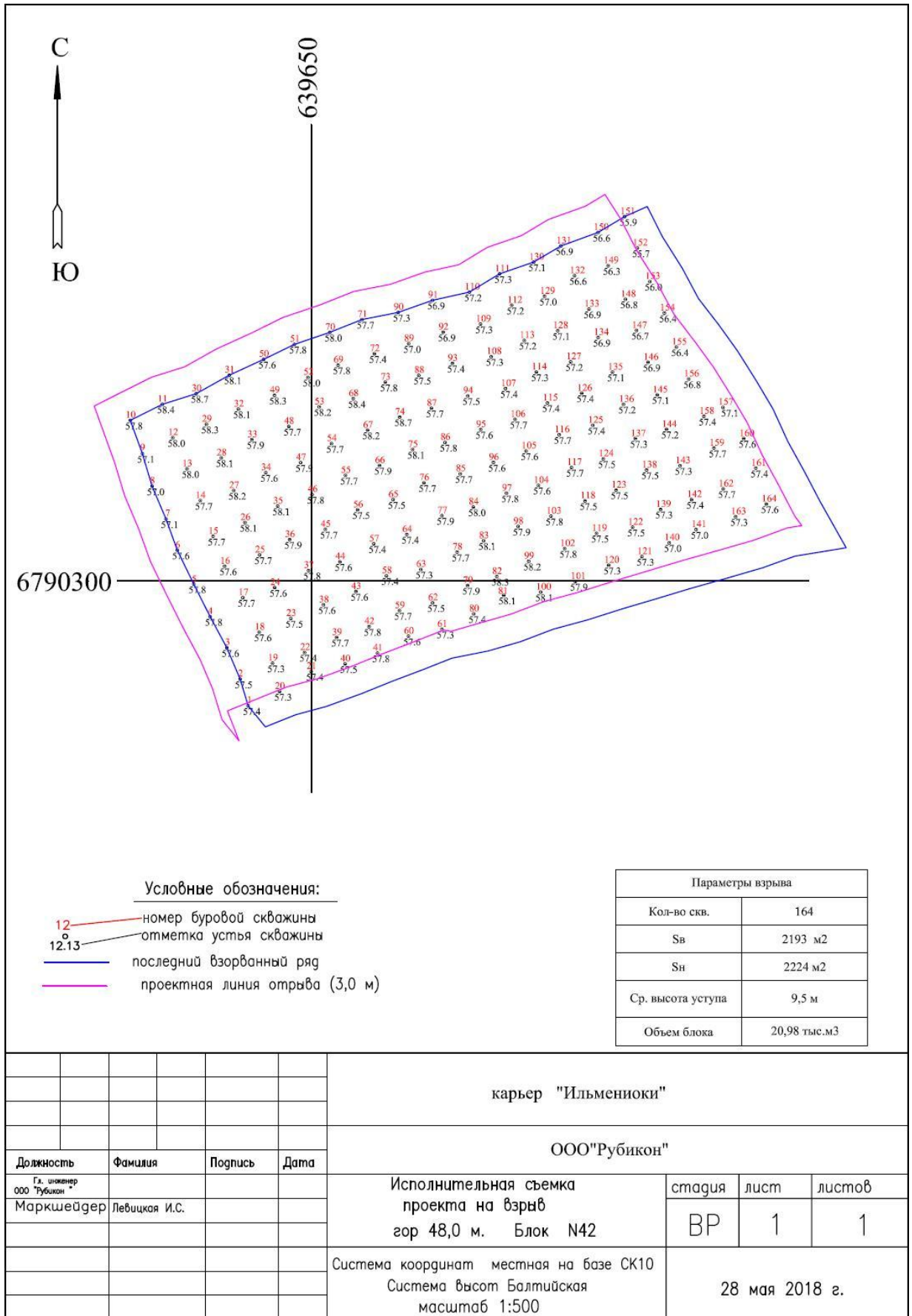


Рисунок 4.3 - Исполнительная съемка проекта на взрыв блока №42

Выбор взрывчатых материалов. Конструкция заряда и боевика

Из опыта работы в аналогичных условиях и из наличия бурового парка принято предварительное рыхление полезной толщи скважинными зарядами. При основном взрывании применялись сплошные заряды в вертикальных скважинах малого диаметра -115 мм.

При зарядании сухих и обводненных скважин применялась сплошная конструкция заряда, состоящего из эмульсионного взрывчатого вещества Фортис-Эдвантэдж-100.

Для зарядов применялись два боевика. Нижний боевик состоял из двух шашек Т-400 общей массой 800 гр, верхний состоял из патрона Сенател Пауэрфраг массой 500 гр.

Боевики изготавливаются с введением в них неэлектрических систем инициирования. При взрывании скважинных зарядов с помощью неэлектрических систем инициирования обращалось особое внимание на надежное и плотное фиксирование капсуля-детонатора неэлектрических систем инициирования в отверстии шашки Т-400.

Для снижения сейсмического воздействия на охраняемые сооружения применялось короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, которое осуществляется применением Искра-П.

При применении неэлектрических систем инициирования длина волновода в комплекте выбиралась по высоте установки боевиков. Перед изготовлением боевиков строго соблюдалась инструкция по применению ИСКРА-П и применялись волноводы необходимой длины строго по количеству боевиков.

Схема взрывной сети, её расчет и монтаж

При производстве массовых взрывов монтаж взрывной сети выполняется с использованием поверхностных неэлектрических систем инициирования ИСКРА-П с замедлением 25 и 42 мс.

При монтаже взрывной сети к каждому капсулю-детонатору с замедлением устройства с помощью монтажного соединителя

подсоединялось до 6 волноводов иницирующих устройств, не более 3-х волноводов в одном пазу. Свободные концы иницирующих волноводов, выходящие из монтажного соединителя, для исключения их разъединения завязались в узлы.

Параметры скважинных зарядов

Расчеты параметров скважинных зарядов рыхления при двух обнаженных поверхностях выполняются на основании типового проекта № 167-15, производственного опыта по взрывным работам в аналогичных условиях, а также по результатам предыдущих взрывов на аналогичных карьерах.

При вертикальном расположении скважинных зарядов основными параметрами буровзрывных работ являются:

а) параметры расположения скважин на уступах:

d – диаметр скважин, мм

H – высота уступа, м

α – угол откоса уступа, град.

W – сопротивление по подошве уступа (СПП), м

a – расстояние между скважинами в ряду, м

b – расстояние между рядами скважин, м

b_6 – ширина нормы безопасности для бурового станка, м

L – глубина скважины, м

$l_{\text{п}}$ – глубина перебура, м

б) параметры взрывных работ:

d_3 – диаметр заряда, м

l_3 – длина заряда, м

$l_{\text{заб}}$ – длина забойки, м

Q – масса заряда, кг

ρ – линейная плотность заряда, кг/м

q – удельный расход ВВ, кг/м³

Δ – плотность грунта, кг/дм³

Линия сопротивления по подошве уступа для скважин $d = 115 \text{ мм}$ $W = 3,8 \text{ м}$

Удельный расход ВВ равный $0,96 \text{ кг/м}^3$ в соответствии с опытом работ в аналогичных условиях для эмульсионных взрывчатых веществ.

Переводные коэффициенты для расчетов эквивалентных зарядов взрывчатого вещества по идеальной работе взрыва.

Эталон - аммонит № 6ЖВ

Взрывчатое вещество	ε
Фортис-Эдвантэдж-100	1-1,25

Длина забойки ($L_{\text{заб}}$) принимается не менее 1,3

$$L_{\text{заб}} = 0,8 * W, \text{ м} \quad (4.1)$$

Длина заряда ($L_{\text{зар}}$) определяется по формуле:

$$L_{\text{зар}} = L_{\text{скв}} - L_{\text{заб}} \quad (4.2)$$

Масса заряда определяется по формуле:

$$Q = P * L_{\text{зар}} \quad (4.3)$$

Скважины располагаются по квадратной сетке. Скважины вертикальные.

Вместимость 1 м скважины при плотности заряжания $\Delta = 1,2 \text{ т/м}^3$ для скважин с используемым диаметром:

$$\text{Фортис Эдвантэдж-100} \quad P = 12,5 \text{ кг}$$

При принятой схеме инициирования колонки заряда в скважине получим необходимое количество промежуточных детонаторов на количество скважин подлежащих взрыванию:

$$N \text{ боев} = N \text{ скв} * M_{\text{боев}} = 184,8 \text{ кг} \quad (4.4)$$

4.3 Методика проведения производственных исследований

На карьерах месторождения «Ильменйоки» были проведены опытные взрывы для определения концентрации оксидов азота. Испытания включали в себя измерение концентрации оксидов азота в продуктах взрыва при производстве массового взрыва по имеющейся технологии, а также с учетом рекомендаций по применению скважинной забойки с высокоактивным катализатором карбоната цинка $ZnCO_3$ в составе забойки.

Данные методические указания описывают методику количественного химического анализа воздуха рабочей зоны карьера для измерения в нем оксидов азота оптронноспектрофотометрическим методом в диапазоне массовых концентраций от 0,5 до 20 мг/м³.

Требования данных методических указаний применимы для организаций и предприятий, осуществляющих проектирование и эксплуатацию карьеров, занимающихся добычей полезных ископаемых.

Характеристика измеряемых веществ

- Оксид азота.

- Физико-химические свойства: бесцветный газ, не имеет запаха и незначительно растворяется в воде. Плотность 1,3402 г/дм³. При контакте с кислородом окисляется до диоксида азота. Температура плавления: – 163,7°С, температура кипения: – 151,8°С. В воздухе имеет агрегатное состояние – пары.

- Молекулярная масса: 30,01.

- Структурная формула: N-O.

- Эмпирическая формула: NO.

- Характеристика: существует предельно допустимая концентрация NO в воздухе рабочей зоны карьера, которая составляет не более 5,0 мг/м³. Оксид азота соответствует классу опасности газов – 3.

- Диоксид азота.

- Физико-химические свойства: ядовитый газ красно-бурого цвета с неприятным резким запахом. Хорошо растворяется в воде. Плотность 1,491 г/дм³. Температура плавления: – 11,2°С, температура кипения: – 20,7°С. В воздухе имеет агрегатное состояние – пары.

- Молекулярная масса: 46,01.

- Структурная формула: O-N-O.

- Эмпирическая формула: NO₂.

- Характеристика: существует предельно допустимая концентрация NO₂ в воздухе рабочей зоны карьера, которая составляет не более 2,0 мг/м³. Диоксид азота соответствует классу опасности газов – 3.

Краткая характеристика взрывов как источника загрязнения воздуха рабочей зоны.

При ведении взрывных работ на месторождениях, разрабатываемых открытым способом, загрязнение воздуха происходит вследствие выбросов ядовитых газов, которые образуются при взрывах и выделении газов из разрушенной горной породы.

При измерении массовых концентраций оксидов азота в воздухе рабочей зоны карьера разрушенную горную массу и пылегазовое облако необходимо рассматривать как два отдельных самостоятельных источника выделения ядовитых газов.

Пылегазовое облако – это мощный мгновенный выброс ядовитых газов, в том числе оксидов азота.

Разрушенная горная порода – это постоянно действующий источник выделения ядовитых газов в течение всего периода ее экскавации.

При проведении измерений следует учитывать направление и скорость ветра.

Метрологические характеристики методики выполнения измерений

При соответствии всем необходимым условиям измерения массовых концентраций оксидов азота в соответствии с данной методикой

погрешность результатов измерения не будет превышать значений, указанных в таблице 4.2

Таблица 4.2 - Метрологические характеристики методики выполнения измерений

Диапазон измерений концентрации диоксида азота, мг/м ³	Предел основной относительной погрешности $\pm\delta$, % отн.	Предел допускаемой дополнительной погрешности, не более	Предел воспроизводимости, R_δ , % отн.
от 0,5 до 20,0 вкл.	20	0,6 (от основной)	20

Метод измерений

Содержание оксидов азота в воздухе рабочей зоны карьера определяют оптронноспектрофотометрическим методом путем измерения скорости изменения потемнения (окраски) ленты, используемой химкассеты, пропорциональной концентрации определяемого вещества.

Измерение проводят на газоанализаторе автоматическом непрерывного действия, используя необходимую химкассету.

Отбор проб производят в автоматическом режиме в момент ведения взрывных работ на безопасном расстоянии.

Нижний предел измерения массовой концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны составляет 0,5 мг/м³.

Измерению не мешают сопутствующие выделяемые ядовитые газы.

Подготовка к выполнению измерений

Для безопасной установки измерительного оборудования необходимо произвести расчет минимального безопасного расстояния по разлету осколков от взрываемого блока до точки установки газоанализатора.

Определить направление и скорость ветра на взрываемом блоке с помощью анемометра.

Определить место установки оборудования для измерения массовых концентраций оксидов азота исходя из расчетов безопасного расстояния по разлету осколков и направления ветра.

Измерить температуру воздуха непосредственно в зоне отбора проб с помощью термометра.

Измерить влажность воздуха непосредственно в зоне отбора проб с помощью психрометра.

Вычислить основные параметры пылегазового облака.

- Объем пылегазового облака V_0 вычисляется по эмпирической формуле:

$$V_0 = 44000 \cdot A^{1.08}, \text{ м}^3 \quad (4.5)$$

где: A – масса взорванного взрывчатого вещества, т.

Примечание: вычисление объема пылегазового облака может быть выполнено по упрощенным формулам в зависимости от массы взорванного взрывчатого вещества:

$$\text{когда } A \leq 3 \quad V_0 = 47890 (A - 0,062), \text{ м}^3 \quad (4.6)$$

$$\text{когда } 3 \leq A \leq 30 \quad V_0 = 57580 (A - 0,62), \text{ м}^3 \quad (4.7)$$

$$\text{когда } A > 30 \quad V_0 = 69220 (A - 6,2), \text{ м}^3 \quad (4.8)$$

Высота подъема пылегазового облака H_0 рассчитывается по формуле:

$$H_0 = B \cdot (164 + 0,258A), \text{ м} \quad (4.9)$$

где: B – безразмерный коэффициент, учитывающий глубину скважин (при скважинах глубиной до 15м $B = 1$; при скважинах глубиной более 15м $B = 0,8$)

Температура газов в облаке T_0 вычисляется по формуле:

$$T_0 = T_B + \Delta T, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

где: T_B – температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$

ΔT – перегрев пылегазового облака относительно окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$
(значение определяется из таблицы 4.3)

Таблица 4.3 - Значение ΔT в зависимости от массы взорванного взрывчатого вещества

A, т.	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta T, \text{ } ^\circ\text{C}$	0,40	0,60	0,97	1,40	1,79	2,24	2,62	3,44	4,09	4,80

- Относительная погрешность при расчете объема и высоты подъема пылегазового облака составляет не более 10%, при расчете температуры газов – менее 5%.

Подготовить измерительный прибор в соответствии с руководством по его эксплуатации.

Подготовить металлическое укрытие для установки в него газоанализатора. Конструкция укрытия должна обеспечивать безопасность от попадания в оборудование осколков породы от взрыва. Рекомендуемые размеры укрытия зависят от габаритов газоанализатора. В верхней части укрытия должно находиться отверстие для установки щупа газоанализатора.

Порядок выполнения измерений массовых концентраций оксидов азота в воздухе рабочей зоны карьера при производстве массового взрыва

Проверить уровень заряда батареи газоанализатора. Батарея должна быть полностью заряжена для непрерывной и максимально возможной работы оборудования.

Установить необходимую химкассету для измерения оксидов азота в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации оборудования.

Подсоединить щуп для забора проб в необходимое место и включить прибор.

Для определения концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны до момента взрыва провести несколько контрольных измерений.

С помощью секундомера зафиксировать время начала измерений и запустить отсчет.

Накрыть оборудование подготовленным металлическим укрытием и поместить в отверстие щуп для отбора проб, удалиться на безопасное расстояние от взрыва.

Зафиксировать с помощью секундомера время в момент массового взрыва.

После полного проветривания карьера и получения разрешения на вход в рабочую зону карьера немедленно отправиться к месту взятия проб на анализ.

Снять металлическое укрытие и осмотреть прибор на наличие повреждений, остановить работу оборудования.

Снять показания прибора на персональный компьютер.

Анализ полученных результатов

При анализе полученных результатов следует выделить три отрезка времени:

- 1) время работы оборудования до взрыва;
- 2) время работы оборудования от момента взрыва до полного проветривания;
- 3) время работы оборудования от полного проветривания до остановки работы прибора.

Для определения снижения выбросов оксидов азота при ведении взрывных работ за счет применения высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки измерения проводились несколько раз.

В ходе первого эксперимента измерялась концентрация оксидов азота после проведения массового взрыва с использованием применяемой технологии ведения взрывных работ. Учитывались диаметр скважин, масса и плотность применяемого взрывчатого вещества, количество заряжаемых

скважин, длина скважины и длина заряда взрывчатого вещества, тип и длина забойки.

В ходе второго эксперимента измерялась концентрация оксидов азота после проведения массового взрыва с применением предложенной скважинной забойки с добавлением высокоактивного катализатора карбоната цинка $ZnCO_3$. Масса катализатора, добавляемого в забойку, определялась с учетом диаметра скважины, массы и плотности применяемого взрывчатого вещества, длины скважины и длины заряда взрывчатого вещества. Дисперсность применяемого катализатора карбоната цинка $ZnCO_3$ составляла 50-100 мкм, концентрация в составе забоечного материала составляла 15-25% от массы забойки.

По итогам проведенных экспериментов установлена зависимость снижения выбросов оксидов азота от применяемого катализатора карбоната цинка $ZnCO_3$ в составе профилированной забойки.

4.4 Результаты оценки снижения концентрации оксидов азота при производстве массового взрыва

Для апробации полученных данных в ходе лабораторных исследований были проведены натурные исследования концентрации оксидов азота, образовавшихся при производстве взрывных работ на карьере «Ильменйоки».

Объектом испытаний являлась опытная партия запирающих газодинамических устройств – скважинная забойка с добавлением в ее состав карбоната цинка $ZnCO_3$ для скважин диаметром 115 мм. Скважинная забойка выполнена из пластичного полимерного материала в виде полого и тонкостенного цилиндра внешний диаметр которого соизмерим с диаметром скважины и, который снабжен диффузором в виде осевой внутренней полости непосредственно примыкающей к заряду взрывчатого вещества. Стенки диффузора имеют ту же толщину, что и стенки цилиндра и выполнены из того же материала, а нижняя часть забойки снабжена

крышкой с отверстием для средств инициирования. Диффузор выполнен в виде усеченного конуса, длина которого составляет 1/3 от длины забойки. Составные элементы, выполненные в форме полого цилиндра с отверстием в центре, выполнены из пластичного полимерного материала с толщиной стенок 2-4 мм., длина которых составляет 10 см., внутри которых содержится карбонат цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% от массы забойки, а верхняя часть забойки снабжена крышкой с отверстием.

Испытания проводились на карьере ООО «Рубикон» месторождения «Ильмениоки», блоках №42 и №43, горизонт +48 м, в гранитах с коэффициентом крепости 14 - 16.

При проведении первой серии испытаний на блоке №42 весь обуренный гранитный блок скважинами диаметром 115 мм заряжался согласно типовому проекту (вся незаряжаемая часть скважины заполнялась забоечным материалом из буровой мелочи). В качестве взрывчатого вещества использовался Фортис-Эдвантэдж-100. Нижний боевик состоял из двух шашек Т-400 общей массой 800 гр, верхний состоял из патрона Сенател Пауэрфраг массой 500 гр. Схема взрывания – диагональная; для снижения сейсмического воздействия на охраняемые сооружения принималось короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, которое осуществляется применением Искра-П с замедлением 25 и 42 мс. Количество скважин – 148 шт., масса взрывчатого вещества 17530 кг.



Рисунок 4.4 - Взорванный блок №42

При проведении второй серии испытаний большая часть обуренного гранитного блока скважинами диаметром 115 мм заряжались согласно типовому проекту (вся незаряжаемая часть скважины заполнялась забоечным материалом из буровой мелочи), часть скважин порядка 10-15 шт. – с применением скважинной забойки с добавлением в ее состав карбоната цинка $ZnCO_3$ без изменения сетки скважин. Величина заряда взрывчатого вещества во всех скважинах была одинаковая. В качестве взрывчатого вещества использовался Фортис-Эдвантэдж-100. Нижний боевик состоял из двух шашек Т-400 общей массой 800 гр, верхний состоял из патрона Сенател Пауэрфраг массой 500 гр. Схема взрывания – диагональная; для снижения сейсмического воздействия на охраняемые сооружения принималось короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, которое осуществляется применением Искра-П с замедлением 25 и 42 мс. Количество скважин – 164 шт., масса взрывчатого вещества 19718 кг. Конструкция заряда представлена на рисунке 4.5

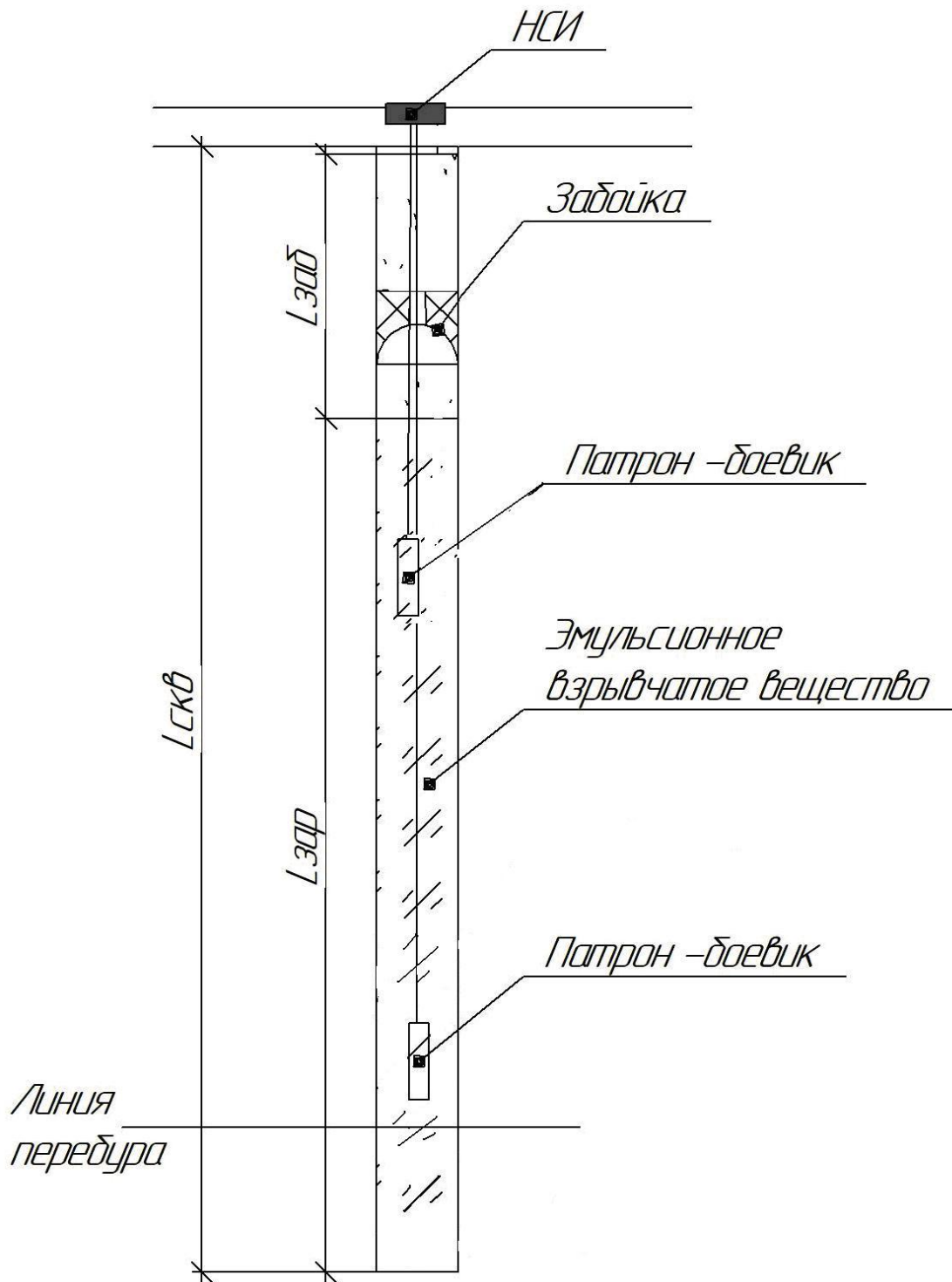


Рисунок 4.5 - Конструкция заряда с применением скважинной забойки с добавлением в состав карбоната цинка $ZnCO_3$



Рисунок 4.6 - Место установки газоанализатора ГАНК-4 для измерения концентрации оксидов азота

В таблице 4.4 показаны результаты измерения концентрации оксидов в воздухе рабочей зоны при использовании забойки из буровой мелочи, а в таблице 4.5 показаны результаты измерения концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны при использовании предлагаемой скважинной забойки с добавлением в состав карбоната цинка $ZnCO_3$. На рисунке 4.7 показана зависимость концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны во времени для проведенных экспериментов.

Таблица 4.4 - Концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны при использовании забойки из буровой мелочи

№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³	№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³
1	30	0	24	720	0
2	60	0	25	750	0,95
3	90	0	26	780	1,34
4	120	0	27	810	1,67
5	150	0	28	840	1,71
6	180	0	29	870	1,69
7	210	0	30	900	1,41
8	240	0	31	930	1,35
9	270	0	32	960	1,33
10	300	0	33	990	1,37
11	330	0	34	1020	1,19
12	360	0	35	1050	0,81
13	390	0	36	1080	0,67
14	420	0	37	1110	0,53
15	450	0	38	1140	0,37
16	480	0	39	1170	0,21
17	510	0	40	1200	0,05
18	540	0	41	1230	0
19	570	0	42	1260	0
20	600	0	43	1290	0
21	630	0	44	1320	0
22	660	0	45	1350	0
23	690	0			

Таблица 4.5 - Концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны при использовании скважинной забойки с добавлением в состав карбоната цинка



№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³	№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³
1	30	0	21	630	14,23
2	60	0	22	660	14,19
3	90	0	23	690	13,87
4	120	0	24	720	12,31
5	150	0	25	750	11,67
6	180	0	26	780	10,5
7	210	0	27	810	9,33
8	240	0	28	840	7,91
9	270	0	29	870	5,21
10	300	0	30	900	3,7
11	330	0	31	930	2,1
12	360	0	32	960	1,87
13	390	0	33	990	0,92
14	420	0	34	1020	0,77
15	450	0	35	1050	0,54
16	480	0	36	1080	0,23
17	510	0	37	1110	0,07
18	540	12,5	38	1140	0
19	570	13,35	39	1170	0
20	600	14,01	40	1200	0
			41	1230	0

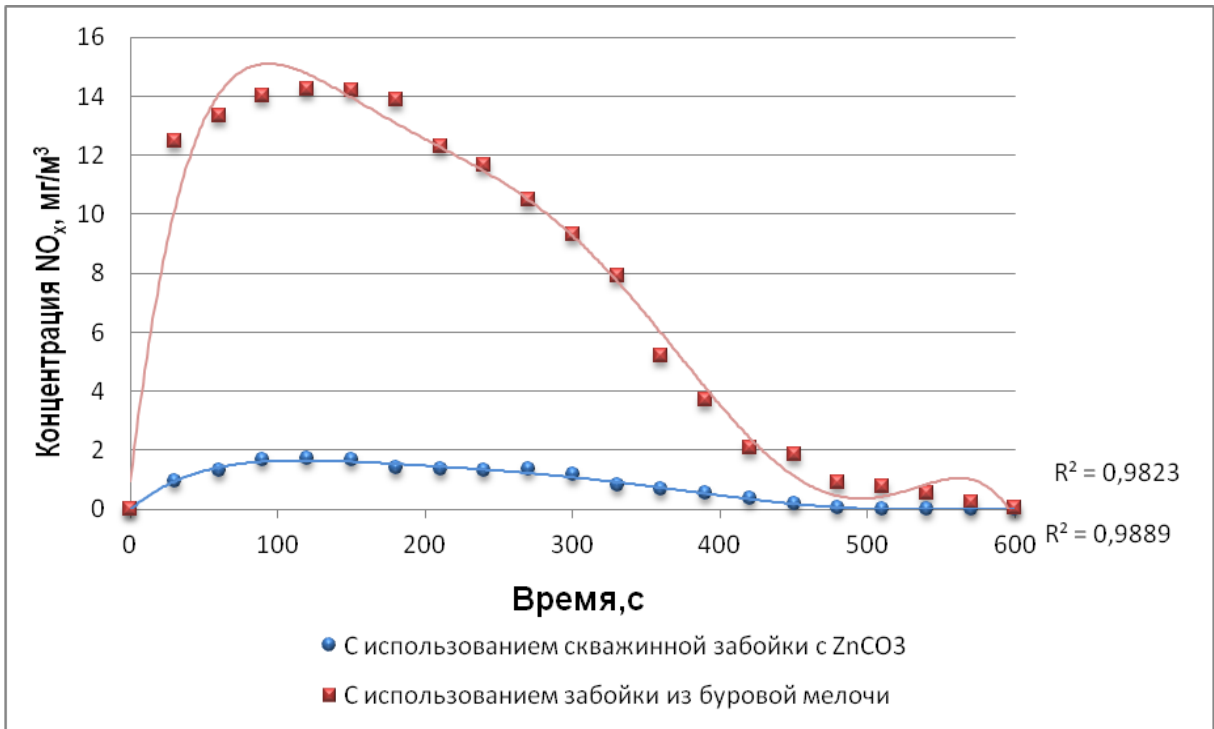


Рисунок 4.7 - Зависимость концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны во времени



Рисунок 4.8 - Пылегазовое облако при проведении массового взрыва



Рисунок 4.9 - Пылегазовое облако в призабойном пространстве спустя 10 минут после проведения массового взрыва

При использовании скважинной забойки с содержанием в составе карбоната цинка $ZnCO_3$ концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны не превысила предельно допустимых значений. На протяжении времени с момента взрыва до полного проветривания карьера газоанализатор не зафиксировал резких и высоких скачков концентрации оксидов азота. Для полного проветривания карьера понадобилось около 20 минут. Проведенные испытания взрывного разрушения гранита скважинными зарядами с применением предлагаемой конструкции заряда показали, что использование карбоната цинка дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% в составе профилированной забойки, ведет к минимальным выбросам оксидов азота. Это обусловлено тем, что за счет задержки продуктов детонации в скважинах карбонат цинка $ZnCO_3$ участвует в химической реакции с образовавшимися после взрыва оксидами азота, нейтрализуя их.

4.5 Выводы по главе

1. На основе результатов опытных промышленных испытаний установлено, что выполненные теоретические и лабораторные исследования влияния высокоактивных катализаторов на снижение концентрации оксидов азота в продуктах взрыва подтверждаются промышленной апробацией предлагаемого способа снижения выбросов оксидов азота.
2. Проведенные испытания взрывного разрушения гранита скважинными зарядами с применением разработанной скважинной забойки с добавлением карбоната цинка $ZnCO_3$ показали, что использование карбоната цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% в составе профилированной забойки, ведет к минимальным выбросам оксидов азота. Это обусловлено тем, что за счет задержки продуктов детонации в скважинах карбонат цинка $ZnCO_3$ участвует в химической реакции с образовавшимися после взрыва оксидами азота, нейтрализуя их.
3. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование скважинной забойки с высокоактивным катализатором карбоната цинка $ZnCO_3$ в условиях карьеров Ленинградской области с целью снижения выбросов оксидов азота при ведении взрывных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую квалификационную работу, в которой представлено решение актуальной для горнодобывающих предприятий задачи - снижение выбросов оксидов азота в продуктах взрыва при производстве взрывных работ на основе применения высокоэффективных катализаторов в составе скважинной забойки.

Основные результаты научных исследований:

1. Разработана методика определения концентрации оксидов азота в составе продуктов взрыва при производстве массовых взрывов на месторождениях, разрабатываемых открытым способом.

2. Проведены численные математические расчеты параметров процесса диссоциации частиц катализаторов по предложенной математической модели, установлена зависимость времени разложения катализаторов от диаметра частиц и температуры продуктов взрыва.

3. Предложен способ снижения оксидов азота в продуктах взрыва при ведении взрывных работ на основе применения высокоактивных катализаторов в составе скважинной забойки.

4. Подтверждена достоверность полученных результатов теоретических исследований путем сравнения с экспериментальными данными;

5. Установлены зависимости снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от типа применяемого катализатора и его дисперсности.

6. На основе численного моделирования установлена возможность применения высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки.

7. На основе экспериментальных исследований установлено, что наиболее эффективным катализатором в составе скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота является карбонат цинка $ZnCO_3$.

8. Доказано, что использование карбоната цинка $ZnCO_3$ дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% в составе профилированной забойки ведет к минимальным выбросам оксидов азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: Учебное пособие / М.И. Ганапольский, В.Л. Барон, В.А. Белин, В.В. Пупков, В.И. Сивенков – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 563 с.
2. Кнунянц, И.Л. Химическая энциклопедия / И.Л. Кнунянц. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 623 с.
3. Дубнов, Л.В. Промышленные взрывчатые вещества - 3-е изд., перераб. и доп. / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – М.: Недра, 1988. – 358 с.
4. Светлов, Б.Я. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ / Б.Я. Светлов, П.Е. Яременко. – М.: Недра, 1973. – 208 с.
5. Росси, Б.Д. Борьба с ядовитыми газами при взрывных работах и новые методы испытаний промышленных взрывчатых веществ / Б.Д. Росси. – М.: Взрывное дело, 1971. – 120 с.
6. Кук, М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. Пер. с англ. под ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревич. / М.А. Кук. – М.: Недра, 1980. – 453 с.
7. Van Dolah R.W., N.E. Hanna, E. J. Murphy and G.H. Damon. Futher Studies in ANFO compositions. Bulletin 98, University of Missouri school of mines and mettalurgy, 1959. – 230 с.
8. Экологическое обоснование возможности применения эмульсионных взрывчатых веществ марки "ЕРА" на горных предприятиях / Т. Ф. Холоденко, Е. Б. Устименко, А. Л. Кириченко, А. В. Павличенко // Форум гірників: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5 - 8 жовтня 2016 р. - Дніпро, 2016. - Т. 2. – С. 203-208.
9. Устименко, Е.Б. Шиман Л.Н., Холоденко Т.Ф. К вопросу воздействия на окружающую среду эмульсионных взрывчатых веществ с продуктами переработки твердых ракетных топлив при взрывных работах / Е.Б.

Устименко, Л.Н. Шиман, Т.Ф. Холоденко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №4. – С.35-40.

10. Катанов, И.Б. Совершенствование конструкции скважинного заряда с пеногелевой забойкой / И.Б. Катанов, П.Г. Скачилов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №5. – С. 43-46.

11. Мурин, К.М. Забойка как фактор повышения эффективности и безопасности ведения взрывных работ / К.М. Мурин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 4. – С. 390-395.

12. Опыт применения соляной забойки при взрывных работах на руднике им. Готвальда. – Цветная металлургия. – 1964. – №14. – С. 58-64.

13. Михайлов, В.А. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах на карьерах / В.А. Михайлов, П.В. Бересневич. – М.: Недра. – 1971. – 262 с.

14. К.К. Андреев, А.П. Глазкова. ДАН СССР, 86, 801, 1952г.

15. К.К. Андреев, М.М. Пуркалн. ДАН СССР 51, 444, 1946г.

16. Глазкова, А.П. Катализ горения взрывчатых веществ / А.П. Глазкова. – М.: Наука, 1976. – 264 с.

17. Парамонов, Г.П. Физические основы предотвращения взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках: дис. доктора тех. наук 25.00.20 / Г.П. Парамонов. – Санкт-Петербург, 1999. – 297 с.

18. Скважинная забойка: пат. 182481 Рос. Федерация: МПК⁵¹ F 42 D 1/08 / Р.С. Бабкин, Г.П. Парамонов; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». - №2018120782; заявл. 05.06.2018; опубл. 21.08.2018, Бюл. №24. – 6с.

19. Кузьмина, Р.И. Каталитическая очистка газовых выбросов от оксидов углерода и азота / Р.И. Кузьмина, В.П. Севостьянов // Росс. хим. журн. 2000. - Т. 44, №1.-С. 71-77.

20. Ефремов, В.Н., Моисеев М.М., Леонов В.Т. и др. Ж. прикл. химии, 1998, т. 71, вып. 3, С. 427-431.
21. Баум Ф.А., Державец А.С. и др. Термостойкие взрывчатые вещества на их действие в глубоких скважинах., М., «Наука», 1960, 157с.
22. Верятин У.Д. и др. Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник. Атомиздат. М. 1968, 460с.
23. Лютов В.Д., Воскобойников И.М., Афанасенков А.Н., Апин А.Я. Об оценке давления детонации ВВ, содержащих инертную добавку. Сб. «Взрывное дело», № 63/20, М., Недра, 1967, с. 82-86.
24. Бабкин Р.С. К вопросу снижения выбросов оксидов азота при ведении взрывных работ / Р.С. Бабкин, Г.П. Парамонов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2018. – №2(35) – С. 31-34.
25. Бабкин Р.С. Исследование влияния высокоактивных катализаторов на снижение выбросов окислов азота при производстве взрывных работ / Р.С. Бабкин, Г.П. Парамонов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2018. – №2(35) – С. 27-30.
26. Акт проведения опытных испытаний скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота в условиях карьера ООО "Рубикон" месторождения "Ильмениоки". ООО "Промстройвзрыв". 2018. 6с.
27. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279 с.
28. Шишов, А.Н. Численное моделирование газодинамических процессов в шпуре при взрывах зарядов различных составов / А.Н. Шишов // Труды XI-й Российской конференции по механике горных пород. – СПб, 1997,– С.511-516.
29. Парамонов, Г.П. Предупреждение взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках: дис. канд. тех. наук 25.00.20 / Г.П. Парамонов. – Санкт-Петербург, 1999. – 132 с.

30. Борьба с ядовитыми газами с помощью химически активных пен / В.В. Дьяков, Э.И. Чернявский, В.Ю. Рябов, В.И. Филиппов // Отчёт по НИР, СГИ, Свердловск, – 1975. – 178с.
31. Баум, Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер. // М.: Физмаиздат –1960. – 800 с.
32. Боровиков, В. А. Техника и технология взрывных работ / В.А. Боровиков, И.Ф. Ванягин //Учеб. пособие. Л.: ЛГИ, – 1985. – 89 с.
33. Викторов, С.Д. Анализ методов управления процессом разрушения горных пород / С.Д. Викторов // Горный журнал. 1995. – №7 – С.46-47.
34. Аленцев, М.Н. Измерение температуры свечения взрыва взрывчатых веществ оптическим методом / М.Н. Аленцев, А.Ф. Беляев, Н.Н. Соболев. // ЖЭТФД946, – С. 990-995.
35. Зельдович, Я.Б. Теория детонации / Я.Б. Зельдович, А.С. Компанеец // М.: ГИТТЛ, – 1955. – 268 с.
36. Викторов, С.Д. Приготовление и использование простейших и эмульсионных взрывчатых смесей / С.Д. Викторов, Н.Н. Казаков // Сборник статей «Разрушение взрывом и необратимые деформации горных пород». – М. – 1997. – С.53-59.
37. Власов, О.Е.. Основы теории действия взрыва. / О.Е. Власов // М.: Изд-во ВИА, – 1957 г. – 250 с.
38. Дейч, М.Е. Техническая газодинамика. / М.Е. Дейч // М.: Энергия,– 1974. – 592 с.
39. Юхансон, К. Детонация взрывчатых веществ / К. Юхансон, П. Персон, под ред. В.К.Боболева // М.:Мир, – 1973. – 353 с.
40. Демидюк, Г.П. Современные теоретические представления о действии взрыва в среде / Г.П. Демидюк // Сб. Взрывное дело № 62/19, – Недра, – 1967.– С. 32-37.
41. Щелкин, Н.И. Газодинамика горения / Н.И. Щелкин, Я.И.Трошин // Изд.: АН СССР, – 1963. – 230 с.
42. Родионов В.Н., Сизов И.А. Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра, 1986. - 301 с.

43. Друкованый М.Ф., Гейман Л.П., Комир В.М. Новые методы и перспективы развития взрывных работ на карьерах. – М: Наука, 1966. – 203 с
44. Ефремов Э.И., Никифорова В.А., Пономарева А.В. Экспериментальные исследования разрушающего действия взрыва в твердых средах при изменении свойств взрывчатых веществ. //Записки горного института, т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, – 2001.– С.42-49.
45. Предводителей А.С., Хитрин А.Н. и др. Горение углерода. Изд. АН СССР, 1949. – 160 с.
46. Герасимов Я.И., Крестовников А.Н., Шахов А.С. Химическая термодинамика в цветной металлургии. Справочное руководство. Металлургиздат, 1961. – 210 с.
47. Кочетков П.А., Формирование разрушения и микротрещиноватости при различном расположении боевика в скважинном заряде, М., 2001. – 180 с.
48. Кузнецов В.Н. Математические модели взрывного дела. Новосибирск, «Наука», 1977г. – 350 с.
49. Кутузов Б.Н., Валухин Ю.К., Давыдов С.А. и др. Проектирование взрывных работ М.: Недра, 1974. - 328 с.
50. Апин А.Я., Воскобойников И.М. Расчет параметров детонационной волны в конденсированных взрывчатых веществах. ПМТФ, № 4, – 1960. – С.54-55.
51. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М., «Наука», – 1982. – 392 с.
52. Ляхов Г.М. Основы динамики взрыва в грунтах и горных породах. М., «Недра», – 1974. – 192 с.
53. Беляев А.Ф. Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем. М., «Наука», – 1968. – 255 с.
54. Литвиненко В.С., Кудряшов Б.Б. Современные проблемы разрушения горных пород при бурении скважин. //Записки горного института, т. 148,

- Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, – 2001. – С. 44-53.
55. Боровиков В.А. Развитие газовой полости при взрыве цилиндрических зарядов. ФТПРПИ, № 6, – 1980. – С.40-53.
56. Максимова Е.П. Моделирование процесса взрывного разрушения. Сб. «Вопросы горного дела», Углетехиздат, – 1958. – 340 с.
57. Боровиков В.А., Ванягин И.Ф. Физика взрывного разрушения. JL, изд. ЛГИ, – 1974. – 48 с.
58. Марченко Л.Н. Методические указания по применению скважинных зарядов рассредоточенных воздушными промежутками на открытых горных разработках. М.: ИГД им. А.А. Скочинского. – 1962. – 18 с.
59. Боровиков В.А., Ванягин И.Ф. К расчету параметров волн напряжений при взрыве удлиненного заряда в горных породах. / Взрывное дело, №76/33/М: «Недра», – 1976. – С.39-43.
60. Мосинец В.Н., Пашков А.Д., Латышев В.А.. Разрушение горных пород. М., «Недра», – 1975. – 320 с.
61. Боровиков В.А., Карпунов Е.Г., Парамонов Г.П. Определение температуры и давления продуктов взрыва на стадии развития камуфлетной полости. ФТПРПИ, – 1984. – №1 – С.47-51.
62. Падуков В.А., Маляров И.П.. Механика разрушения горных пород при взрыве. Иркутск, – 1985. – 234 с.
63. Веселовский В.С., Алексеева В.Д. Виноградова Л.Г. и др. Самовоспламенение промышленных материалов. Наука. М., – 1964. – 241 с.
64. Парамонов Г.П., Лисевич В.В., Должиков В.В. Системы автоматизированного проектирования параметров буровзрывных работ // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 4 (111) – С. 28-31.
65. Вергис П.А. Тепловой режим горения. Госэнергоиздат, М., – 1954. – 219 с.

66. Парамонов П.А. Определение влияния диаметра зарядов на эффективность ВВ // Вопросы безопасности в горном деле. — Харьков — Москва: Углеиздат, 1962. - Т. IV. С. 17- 24.
67. Галаджий Ф.М. Новые способы обеспечения безопасности взрывных работ. Вопросы безопасности в угольных шахтах. МакНИИ т. X. — 1960. — 120 с.
68. Пугачев В.И. О некоторых основаниях эффективности взрывного разрушения горных пород. //Записки горного института, т. 148, Физические проблемы разрушения горных пород, ч. 1, СПб, — 2001. — С.78-87.
69. Гельфанд Ф.М. Применение воздушно-механической пены для предупреждения пожаров, вспышек и взрывов в забоях угольных шахт. Безопасность труда в промышленности. — 7. — 1967. — С.23-31.
70. Субботин А.И., Перепелицын А.И., Гаврилов Н.И., Колесникова С.В. Состояние и основные проблемы взрывного дела в Российской Федерации // Горный журнал. - 2004. - №3.-С.54-61.
71. Гарковенко В.П. О влиянии скорости детонации на предохранительные свойства ВВ. Сб. «Взрывное дело», № 68/25, М., «Недра», — 1970. — С. 202-209.
72. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. М.,«Недра», — 1983г. — 450 с.
73. Джонсон Р. Термодинамические аспекты неорганической химии. М., Мир, — 1985. — 370 с.
74. Ханукаев А.Н., Фадеев А.Б. Анализ схем и упрощенная формула для определения интервала короткозамедленного взрывания на карьерах // Сб. Взрывное дело № 57/14, Развитие взрывных работ в горном деле. 1964. — С.55-61.
75. Жариков И.Ф., Марченко Л.Н. Исследование механизма действия удлиненных зарядов при взрыве в твердой среде. Взрывное дело №71/28, М., Недра, — 1972. — С. 81-90.

76. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжения при разрушении горны пород взрывом. М., Госгортехиздат, – 1962. – 200 с.
77. Ханукаев, А. Н. Экспериментальные исследования процесса разрушения пород взрывом / А. Н. Ханукаев // Фрунзе: АН Киргизской ССР, 1961. – 134 с.
78. Израэль Ю.А. Мирные ядерные взрывы и окружающая среда. Л.: Недра, – 1974. – 154 с.
79. Цай Л.А. Метод управления энергией взрыва для разрушения массива горных пород. // Сб. Взрывное дело № 86/43, Дробление горных пород.
80. Карапетьянц М.Х. Введение в теорию химических процессов. М., – 1970. – 280 с.
81. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. М.,Химия, – 1975. – 584 с.
82. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
83. Карпунов Е.Г., Парамонов Г.П., Мурахин А.Н., Пузанков С.В., Рыжухин О.А. Определение температуры в зоне действия удлиненных кумулятивных зарядов. Изв.вузов. Горный журнал, 1989. – №11, – С. 58-60.
84. Росляков П.В., Бэйцзин Чжун, Тимофеева С.А. Минимально достижимый выход оксидов азота в топках котла. // Теплоэнергетика, 1992. – № 8, – С. 47-49.
85. Крестовников А.Н., Вигдарович В.Н. Химическая термодинамика. Metallurgizdat, – 1962. – 280 с.
86. Енякин Ю.П., Котлер В.Р., Бабий В.И., Штальман С.Г. Щербаненко С.И. Работы ВТИ по снижению выбросов оксидов азота технологическими методами.// Теплоэнергетика, – 1991. – №6, – С. 33-38.
87. Кубашевский О.Л., Оллок Р. Термохимия в металлургии. М., Metallurgiya, – 1982. – 391 с.
88. Сигал И.Я. Пути снижения выброса оксидов азота тепловыми электростанциями. //Теплоэнергетика, – 1989. – №3, – С. 5-8.

89. Кутателадзе С.С., Боршианский В.М. Справочник по теплопередаче. М., – 1959. – 414 с.
90. Котлер В. Р., Енакин Ю.П. Реализация и эффективность технологических методов подавления оксидов азота на ТЭС. // Теплоэнергетика, – 1994. – №6, – С. 2-9.
91. Кутузов Б.Н., Голодай Ф.М., Давыдов С.А., Вайнштейн Б.И., Зенин В.И. Безопасность взрывных работ в промышленности. Недра. М., – 1977. – 344 с.
92. Росляков П.В., Егорова Л.Е. Защита атмосферного воздуха от газообразных выбросов. М.: Моск.э нерг. ин-т, – 1996. – 72 с.
93. Лисицин В.И., Пироженко А.А., Вилунов В.Н. Горение и взрыв. М.,Наука, – 1972. – 320 с.
94. Росляков П.В. Расчет образования топливных оксидов азота при сжигании азотсодержащих топлив/Теплоэнергетика, – 1986. – №1, – С.37-41.
95. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. М. Недра, – 1964. – 138 с.
96. Росляков П. В., Егорова Л.Е. Влияние основных характеристик зоны активного горения на выход оксидов азота/Теплоэнергетика, – 1996. – №9, – С.22-26.
97. Менжулин М.Г. Фазовые переходы на поверхностях трещин при разрушении горных пород. ДАН РФ, №3, т.328, – 1993. – С.306-307.
98. Пашков Л.Т. Основы теории горения. М.: МЭИ, – 1996. – 61 с.
99. Парамонов Г.П. Обоснование выбора наполнителя в составе ВВ для ингибирования процесса окисления сульфидной пыли. изв. Тульск. госуд. университета, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности», вып.5, – 1999. – С.125-131.
100. Протопопов В.С. Теплофизика высоких температур, т. 15,изд. АН СССР, – 1977. – №4, – С. 815-821.
101. Парамонов Г.П. Снижение выброса сернистого газа при ведении взрывных работ на колчеданных рудниках. Сб. научн. докладов конференции

«Научно-педагогическое наследие профессора И.И.Медведева (1929-1999). С.-Петербург, – 1999. – С. 118-126.

102. Методические указания по расчёту выбросов окислов азота с дымовыми газами котлов. – М.: МЭИ, – 1989. – 24 с.

103. Парамонов Г.П., Миронов Ю.А. Забойка для скважин большого диаметра. Патент РФ №2122178. Бюл.№32, – 1998. – 6 с.

104. Белосельский Б.С. Очистка дымовых газов ТЭС от оксидов азота. М.: МЭИ, – 1993. – 24 с.

105. Рыжков Ф.Н., Якишина Л.Й., Марков А.Л. Результаты испытаний водяной забойки на медных рудниках. Горн. Ж., – №12, – 1962. – С.32-41.

106. Котлер В.Р., Кругляк Е.Д., Беликов С.Е. и другие. Упрощенная схема рециркуляции дымовых газов как средство сокращения выбросов оксида азота. Энергетика. – 1995. – М1. – С.11-18.

107. Семенов Н.Н. Цепные реакции. М., Госхимиздат, – 1934. – 376 с.

108. Стадничук В.С., Рященко И.Л. Опыт опробывания и применения технологических методов подавления выбросов оксидов азота в дымовых газах на газомазутных котлах электростанций Свердловэнерго / Электрические станции, – 1997. – №5, – С.36-39.

109. Столяров Б.В., Савинов И.М., Витенберг А.Г. Руководство к практическим работам по газовой хроматографии. Л., Химия, – 1988. – 96 с.

110. Росляков П.В., Буркова В.А. Новый способ снижения выбросов оксидов азота при сжигании органических топлив в топках котлов.// Теплоэнергетика, – 1991. – №5, – С. 9-14.

111. Филиппов В.И. Применение воздушно-механической пены для предотвращения взрывов сульфидной пыли. Инф. листок №71176, Свердловск, – 1976. – 4 с.

112. Снижение выбросов оксидов азота от энергетических установок путем ввода воды в зону горения факела / В.С. Авдеевский, У.Г. Пирумов, А.И. Пануша и др. В сб. тр., №50, – М.:МЭИ, – 1984. – С.3-19.

113. Хейвуд Р. Термодинамика равновесных процессов. М., Мир, – 1983. – 91 с.
114. Парчевский В.М. Эколого-экономическая оценка технологических методов снижения выбросов оксидов азота. // Теплоэнергетика, – 1993. – №1, – С. 13-17.
115. Чернявский Э.И., Алешин А.С. Гидроминный способ предупреждения взрывов сульфидной пыли. Цв. мет. – №17, – 1960. – С.12-18.
116. Эфендиев Т.Б., Котлер В.Р. Некоторые способы снижения концентрации окислов азота в дымовых газах тепловых электростанций. // Теплоэнергетика, 1973. – №5, – С. 41-43.
117. Техническая термодинамика под редакцией В.И. Крутова. -М.: Высшая школа, – 1971. – 472 с.
118. Жаворонков Н.М., Бабков С.И., Мартынов Ю.М. Раздельное определение концентрации двуокиси азота и окиси азота в газе с раствором иодистого калия. Хим. пром., – 1955. – №1, – с. 63.
119. Борок М.Т. Зависимость степени водной абсорбции двуокиси азота от ее концентрации в газовой смеси // Журн. прик. химия. 1960. - №8. - С. 17-61.
120. Ганз С.Н., Мамон Л.И. Кинетика пленочной абсорбции окиси азота растворами сульфата закиси железа. // Известия вузов: Химия и хим. технология. 1957. - №3. – С.23-25
121. Dempster P.B. The effect of inert component in the detonation delatinous explosives, Discuss., Faraday Sok., 22, – 1956. – P. 196-201.
122. Paterson M., Experimental Rock Deformation. - Spring, New York, 1978, 255.

Приложение А



Акт

проведения опытных испытаний скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота в условиях карьера ООО «Рубикон» месторождения «Ильмениоки»

Мы, нижеподписавшиеся: генеральный директор ООО «Промстройвзрыв» В.М. Губайдуллин, профессор кафедры взрывного дела ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» Г.П. Парамонов, аспирант кафедры взрывного дела ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» Р.С. Бабкин, составили настоящий Акт в том, что в период с 28 мая по 31 мая 2018 г. были проведены опытно-экспериментальные работы по определению эффективности применения скважинной забойки обеспечивающей снижение выбросов оксидов азота.

Объектом испытаний являлась опытная партия запирающих газодинамических устройств – «скважинная забойка с добавлением в ее состав карбоната цинка» для скважин диаметром 115 мм. Скважинная забойка выполнена из пластичного полимерного материала в виде полого и тонкостенного цилиндра, внешний диаметр которого соизмерим с диаметром скважины, и который снабжен диффузором в виде осевой внутренней полости непосредственно примыкающей к заряду взрывчатого вещества. Стенки диффузора имеют ту же толщину, что и стенки цилиндра и выполнены из того же материала, а нижняя часть забойки снабжена крышкой с отверстием для средств инициирования. Диффузор выполнен в виде усеченного конуса, длина которого составляет 1/3 от длины забойки. Составные элементы, выполненные в форме полого цилиндра с отверстием в центре, выполненные из пластичного полимерного материала с толщиной стенок 2-4 мм., длина которых составляет 10 см., внутри которых содержится

карбонат цинка дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% от массы забойки, а верхняя часть забойки снабжена крышкой с отверстием.

Испытания проводились на карьере ООО «Рубикон» месторождения «Ильмениоки», блоках №42 и №43, горизонт +48 м, в гранитах с коэффициентом крепости 14 - 16.

При проведении первого испытания на блоке №42 весь обуренный гранитный блок скважинами диаметром 115 мм заряжался согласно типовому проекту (вся незаряжаемая часть скважины заполнялась забоечным материалом из буровой мелочи). В качестве взрывчатого вещества использовался Фортис-Эдвантэдж-100. Нижний боевик состоял из двух шашек Т-400 общей массой 800гр, верхний состоял из патрона Сенател Пауэрфраг массой 500гр. Схема взрывания – диагональная; для снижения сейсмического воздействия на охраняемые сооружения принималось короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, которое осуществляется применением Искра-П с замедлением 25 и 42 мс. Количество скважин – 148 шт., масса ВВ 17530 кг.

При проведении второго испытания большая часть обуренного гранитного блока скважинами диаметром 115 мм заряжались согласно типовому проекту (вся незаряжаемая часть скважины заполнялась забоечным материалом из буровой мелочи), часть скважин порядка 10-15 шт. – с применением скважинной забойки с добавлением в ее состав карбоната цинка без изменения сетки скважин. Величина заряда ВВ во всех скважинах была одинаковая. В качестве взрывчатого вещества использовался Фортис-Эдвантэдж-100. Нижний боевик состоял из двух шашек Т-400 общей массой 800гр, верхний состоял из патрона Сенател Пауэрфраг массой 500гр. Схема взрывания – диагональная; для снижения сейсмического воздействия на охраняемые сооружения принималось короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, которое осуществляется применением Искра-П с замедлением 25 и 42 мс. Количество скважин – 164 шт., масса ВВ 19718 кг.

Для измерения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва использовался переносной газоанализатор ГАНК-4. Газоанализатор устанавливался по направлению потока ветра в укрытии на безопасном расстоянии 150 м. непосредственно перед массовым взрывом. Работая в автономном режиме, прибор снимал показания по концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны. Результаты проведенных испытаний указаны в таблице 1 и таблице 2, а также на рисунке 1.

№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³	№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³
1	30	0	24	720	0
2	60	0	25	750	0,95
3	90	0	26	780	1,34
4	120	0	27	810	1,67
5	150	0	28	840	1,71
6	180	0	29	870	1,69
7	210	0	30	900	1,41
8	240	0	31	930	1,35
9	270	0	32	960	1,33
10	300	0	33	990	1,37
11	330	0	34	1020	1,19
12	360	0	35	1050	0,81
13	390	0	36	1080	0,67
14	420	0	37	1110	0,53
15	450	0	38	1140	0,37
16	480	0	39	1170	0,21
17	510	0	40	1200	0,05
18	540	0	41	1230	0
19	570	0	42	1260	0
20	600	0	43	1290	0
21	630	0	44	1320	0
22	660	0	45	1350	0
23	690	0			

Таблица 1. Концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны при использовании забойки из буровой мелочи

№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³	№ п/п	Время, с	Концентрация, мг/м ³
1	30	0	21	630	14,23
2	60	0	22	660	14,19
3	90	0	23	690	13,87
4	120	0	24	720	12,31
5	150	0	25	750	11,67
6	180	0	26	780	10,5
7	210	0	27	810	9,33
8	240	0	28	840	7,91
9	270	0	29	870	5,21
10	300	0	30	900	3,7
11	330	0	31	930	2,1
12	360	0	32	960	1,87
13	390	0	33	990	0,92
14	420	0	34	1020	0,77
15	450	0	35	1050	0,54
16	480	0	36	1080	0,23
17	510	0	37	1110	0,07
18	540	12,5	38	1140	0
19	570	13,35	39	1170	0
20	600	14,01	40	1200	0
			41	1230	0

Таблица 2. Концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны при использовании скважинной забойки

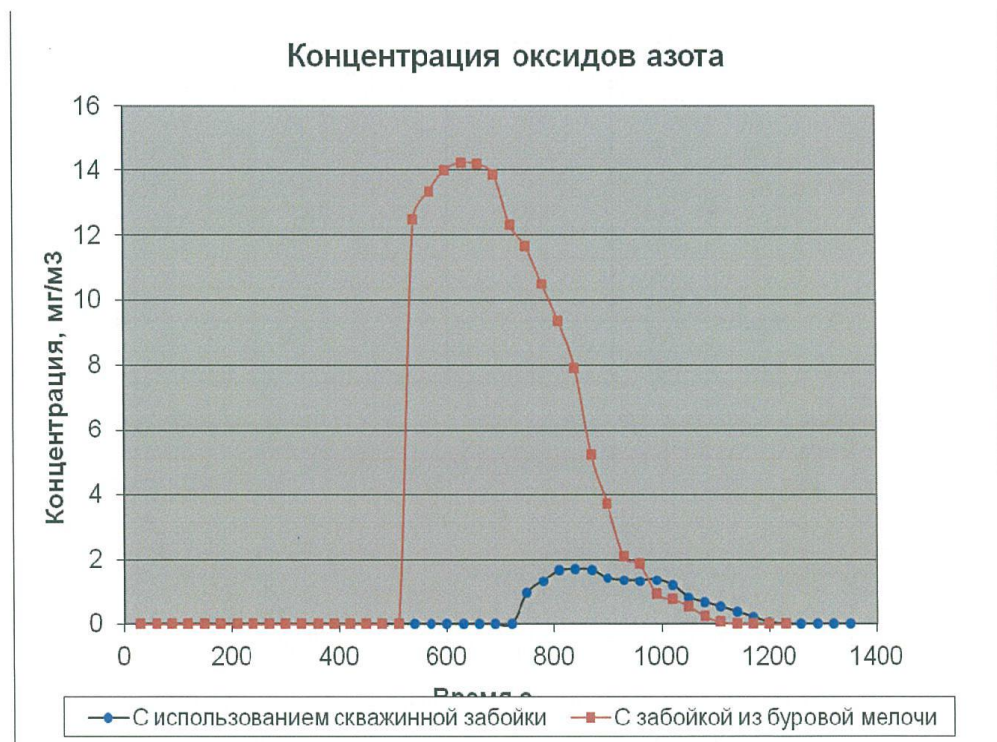


Рисунок 1. Зависимость концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны от времени

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ.

При использовании скважинной забойки с содержанием в составе карбоната цинка концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны не превысила предельно допустимых значений. На протяжении времени с момента взрыва до полного проветривания карьера газоанализатор не зафиксировал резких и высоких скачков концентрации оксидов азота. Для полного проветривания карьера понадобилось около 20 минут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания взрывного разрушения гранита скважинными зарядами с применением предлагаемой конструкции заряда показали, что использование карбоната цинка дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% в составе профилированной забойки, ведет к минимальным выбросам оксидов азота, обусловленное тем, что за счет задержки продуктов детонации в скважинах карбонат цинка участвует в химической реакции с образовавшимися после взрыва оксидами азота, нейтрализуя их.

Генеральный директор
ООО «Промстройвзрыв»



В.М. Губайдуллин

Профессор кафедры взрывного дела
Санкт-Петербургский
горный университет, д.т.н

Г.П. Парамонов

Аспирант кафедры взрывного дела
Санкт-Петербургский
горный университет

Р.С. Бабкин