

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*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор

Парамонов Геннадий Петрович

Официальные оппоненты:

Белин Владимир Арнольдович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», профессор Московского Горного института

Ларичев Анатолий Юрьевич

кандидат технических наук, федеральное казенное учреждение «Центр Управления в кризисных ситуациях Северо-Западный региональный центр МЧС России», начальник отдела материально-технического обеспечения


Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Защита состоится 27 декабря 2018 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д212.224.06 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 26 октября 2018 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



СИДОРОВ
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. 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., Бахареvич Н.С., Романов А.И., Глазкова А.П., Ганопольский 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 диссертационной работы. Нейтрализация оксидов азота при массовых взрывах достигается применением высокоактивных катализаторов в составе профилированной забойки.

Основные задачи исследований:

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

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

Методы научных 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.

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 катализатора.

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

Защищаемые 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%.

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.

Достоверность и обоснованность 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».

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.

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».

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

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения, изложенных на 121 странице 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 Геоэкологии за помощь в проведении лабораторных и промышленных экспериментах и сотрудникам кафедры взрывного дела за конструктивные замечания, высказанные при обсуждении результатов работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, ставятся цель и задачи исследований, сформулированы идея работы, защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен анализ современных представлений о механизме образования оксидов азота при взрыве промышленных взрывчатых веществ, приведен анализ процессов возникновения и выделения оксидов азота при производстве массового взрыва, представлен анализ современных способов снижения выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ на карьерах.

Во второй главе приведен анализ образования оксидов азота при взрыве промышленных взрывчатых веществ. Предложен способ снижения оксидов азота в продуктах взрыва при ведении взрывных работ на основе применения высокоактивных катализаторов. Представлены численные расчеты параметров процесса диссоциации частиц катализаторов по предложенной математической модели, установлена зависимость времени разложения катализаторов от диаметра частиц и температуры продуктов взрыва.

Третья глава включает исследование влияния высокоактивных катализаторов на снижение выбросов оксидов азота. Представлена методика проведения лабораторных исследований по определению концентрации оксидов азота в продуктах взрыва. Установлены зависимости снижения концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени от типа применяемого катализатора, его дисперсности и концентрации.

Четвертая глава включает 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». Представлена методика проведения промышленного эксперимента по определению концентрации оксидов азота в продуктах взрыва, приведены результаты натурного эксперимента.

В заключении приводятся основные выводы и результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложении представлен акт проведения опытных испытаний скважинной забойки для снижения выбросов оксидов азота в условиях карьера ООО «Рубикон» месторождения «Ильмениоки».

Основные результаты исследований отражены **в защищаемых положениях:**

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

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 удерживать газообразные продукты взрыва в зарядной полости приблизительно на 15-25 мс. После 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.

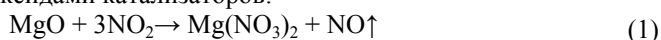
Из проведенных исследований известно, что для борьбы с оксидами азота возможно применение щелочноземельных металлов, а также веществ с их содержанием. А.П. Глазкова утверждала, что катализирующим действием характеризуются атомарные металлы или оксиды металлов, которые образуются в результате термического 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.

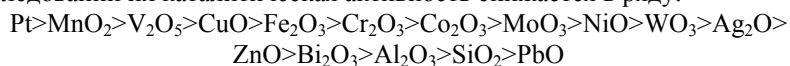
С момента начала выброса продуктов взрыва происходит медленное разложение забойки и вынос ее массы через профилированный канал. При этом температура продуктов взрыва может достигать 1500-2000 °С, что является одним из определяющих факторов для выбора катализатора с точки зрения его разложения с учетом 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 катализатора: карбонат магния ($MgCO_3$), карбонат кальция ($CaCO_3$) и карбонат цинка ($ZnCO_3$).

При разложении катализатора под действием высокой температуры выделяется его оксид, который вступает в реакцию с оксидами азота,

нейтрализует их, образуя при этом нитрат. Составим уравнения реакций оксидов азота с оксидами катализаторов:



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



С целью определения эффективности применения катализаторов для снижения выбросов оксидов азота были проведены лабораторные исследования. Исследования проводились во взрывной камере емкостью 5 л, предназначенной для испытаний взрывчатых веществ с целью определения состава продуктов взрыва и концентрации ядовитых газов. Внутри камеры устанавливался воспламенитель с навеской из модельного взрывчатого вещества массой 1,2 грамма и испытываемого катализатора. Для измерения концентрации оксидов азота использовался переносной газоанализатор. На рисунке 1 изображена полностью готовая к проведению испытаний установка.

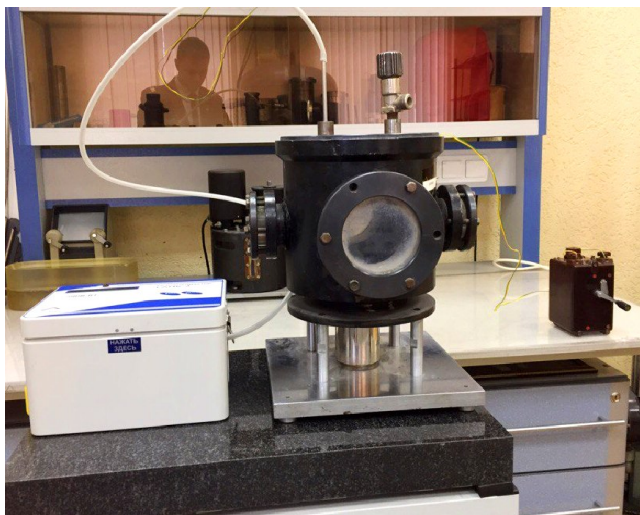


Рисунок 1 – Лабораторная установка для измерения концентрации оксидов азота

После взрыва через шуп газоанализатора автоматически производился отбор проб продуктов взрыва, а результаты выводились на дисплей и сохранялись в памяти устройства.

Для определения эффективности применения выбранных высокоактивных катализаторов с целью снижения выбросов оксидов азота проводились лабораторные исследования с каждым веществом. Все катализаторы имели одинаковую дисперсность и одинаковое процентное содержание в составе навески модельного взрывчатого вещества. Для определения дисперсности катализаторов проводился ситовой анализ веществ с использованием ситового анализатора А-30. Перед проведением исследования катализаторы предварительно измельчались, а также просушивались в тепловой камере при температуре 50°C в течение 12 часов. Для определения массовых концентраций оксидов азота, выделяемых от взрыва модельного состава без добавления катализатора, проводилась серия экспериментальных взрывов, после чего полученные данные усреднялись. Далее для определения эффективности действия катализаторов были проведены испытания с каждым из них. На рисунке 2 представлена зависимость концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени в зависимости от используемого катализатора.

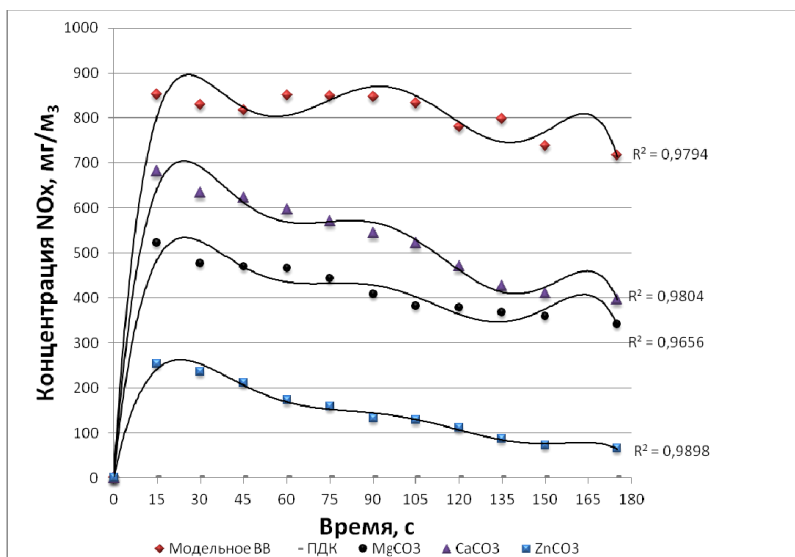


Рисунок 2 – Зависимость концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени в зависимости от используемого катализатора

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 $ZnCO_3$.

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.

Для обоснования применения высокоактивных катализаторов для нейтрализации оксидов азота необходимо решить задачу о прогреве частиц катализатора продуктами детонации при взрыве заряда ВВ. Ингибирующие свойства катализаторов могут быть проявлены только при условии их диссоциации.

Решение поставленной задачи осуществлялось методами математического моделирования.

Численная модель процесса разогрева частиц катализатора в составе продуктов взрыва состояла в следующем. Частицы катализатора

представляют собой шары одинакового размера и равномерно распределены по всему заряду взрывчатого вещества. Размеры частиц катализатора (радиус) варьировались в диапазоне от $1 \cdot 10^{-5}$ м до $15,0 \cdot 10^{-5}$ м.

Поскольку длительность задержки продуктов взрыва в скважине с помощью профилированной забойки составляет промежуток времени $\approx 15 \cdot 10^{-3} - 25 \cdot 10^{-3}$ с, что существенно больше времени детонаций заряда и распространения по нему волны разгрузки ($0,8 \cdot 10^{-3}$ с), процесс взаимодействия частиц с продуктами взрыва считался «квазистатическим». Температура и давление распределены равномерно по всему объему заряда и неизменны за все время нагружения.

Температуру продуктов взрыва в зарядной полости на время их задержки в скважине можно записать следующим образом:

$$T_0 = T_г \left(1 - \alpha_1 \frac{\rho_0}{\rho} \right) \left(\frac{d_0}{d_{скв}} \right)^{2(k-1)}, \quad (4)$$

где $T_г$ – температура продуктов взрыва чистого взрывчатого вещества,

T_0 – температура продуктов взрыва в зарядной полости, ρ – плотность катализатора, α_1 – концентрация катализатора в ВВ, ρ_0 – плотность продуктов взрыва при детонации, $k = 1,3$ – коэффициент адиабатического расширения продуктов взрыва, d_0 и $d_{скв}$ – диаметры заряда и скважины соответственно.

Предполагалось, что основным механизмом разогрева частиц катализатора будет конвективный теплообмен с обтекающими их продуктами взрыва в связи с кратковременностью их ударного нагружения детонационной волной. В данном случае диссоциация частиц произойдет в момент, когда температура достигнет критической величины во всем объеме частицы. Известно, что карбонат цинка при температуре 815 К разлагается на ZnO и CO₂, то температуру 815 К можно считать критической температурой. Данную задачу конвективного стационарного теплообмена решали с помощью применения уравнения теплопроводности, имеющего вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad t > 0; \quad 0 < r < R, \quad (5)$$

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

t – текущее время процесса;

r – текущий радиус материальной точки;

R – радиус шара;

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

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

Начальные и граничные условия имели вид:

$$T(r,0) = T_0 ; T(0,t) = \alpha z p \quad (6)$$

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial r} = 0 \quad (7)$$

$$-\frac{\partial T(R,t)}{\partial r} + \frac{\alpha}{\lambda} [T_{\text{сре}} - T(R,t)] = 0 , \quad (8)$$

где T_0 – начальная температура шара, 300 К, α – коэффициент теплообмена.

Граничное условие (8) на поверхности шара описывает закон теплообмена Ньютона.

Для решения уравнения (5) применялся метод разделения переменных Фурье. После выполнения дифференцирования и соответствующих преобразований можно записать изменение температуры в шаре во времени в виде:

$$\Theta = \frac{T(r,t) - T_0}{T_{\text{cp}} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n} \frac{R}{r\mu_n} \sin \mu_n \frac{r}{R} e^{-\mu_n^2 \frac{t}{R^2}}, \quad (9)$$

Зная закон изменения температуры в шаре во времени (9) можно не только рассчитать температуру шара в любой точке для любого момента времени, но и определить количество тепла, расходуемое на его разогрев. При этом для простоты решения достаточно определить среднюю интегральную температуру (\bar{T}) по его толщине следующим образом:

$$\bar{T}(t) = \frac{1}{R^2} \int_0^R r^2 T(r,t) dr \quad (10)$$

Подставляя в интеграл (10) зависимость температуры от времени в виде (9) и интегрируя, получим:

$$\bar{\Theta} = \frac{\bar{T}(t) - T_0}{T_{cp} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n e^{-\mu_n^2 F_0}, \quad (11)$$

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

Зная среднюю температуру разогрева шара легко определить удельный расход тепла:

$$q_{y\partial} = C\rho[\bar{T}(t) - T_0], \quad (12)$$

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

Полный расход тепла на разогрев частицы, используя выражение (12), можно записать в виде:

$$q = q_{y\partial} \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 C\rho[\bar{T}(t) - T_0], \quad (13)$$

где q – расход тепла на разогрев частицы за время t .

Учитывая, что число частиц катализатора в составе профилированной забойки (N) определяется соотношением:

$$N = \frac{\alpha_1 m_{заб}}{\frac{4}{3} \pi R^3}, \quad (14)$$

где $m_{заб}$ – масса профилированной забойки, можно определить теплотери на разогрев катализатора в виде:

$$Q_1 = \alpha_1 c m_{заб} [\bar{T}(t) - T_0] \quad (15)$$

Из формулы (15) легко определить снижение температуры (ΔT_1) в продуктах взрыва за счет теплотери на разогрев катализатора:

$$\Delta T_1 = \alpha_1 \frac{c}{c_{заб}} [\bar{T}(t) - T_0] \quad (16)$$

По представленной математической модели были произведены расчеты параметров процесса диссоциации частиц катализаторов. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

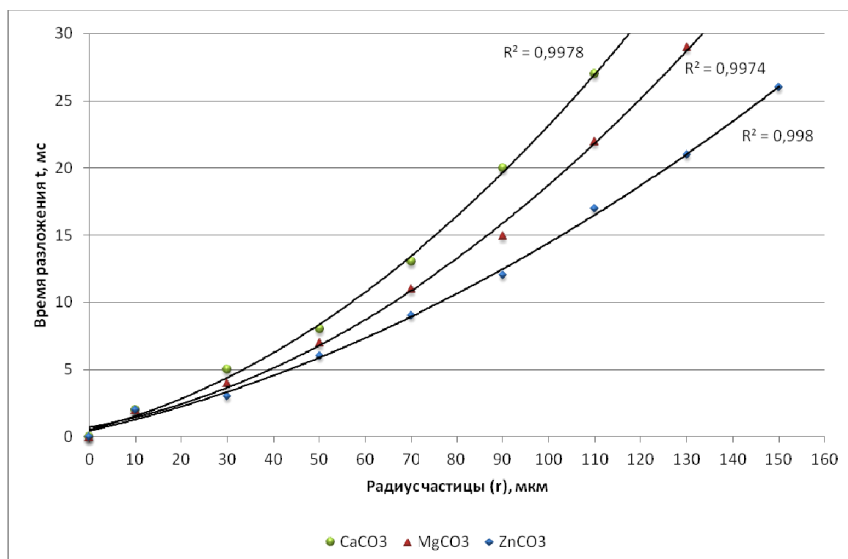


Рисунок 3 – График зависимости времени разложения частиц катализаторов от их размера

Таким образом, полученные численные результаты расчета прогрева частиц показывают, что температура и время разложения выбранных катализаторов соответствуют температуре продуктов взрыва и времени их задержки в скважине.

3. Минимальный выброс оксидов азота в продуктах взрыва обеспечивается за счет применения катализатора ZnCO₃ в составе профилированной забойки с дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20%.

Дисперсность и концентрация катализатора играет очень важную роль в процессе химической реакции с продуктами взрыва. Для определения оптимальной дисперсности и концентрации катализатора карбоната цинка ZnCO₃ были проведены экспериментальные исследования. Испытания проводились во взрывной камере емкостью 5л, представленной на рисунке 1.

Для изучения влияния дисперсности катализатора карбоната цинка ZnCO₃ на снижение выбросов оксидов азота были проведены исследования с дисперсностью его частиц: 50,100 и 150 мкм.

Карбонат цинка ZnCO₃ определенной дисперсности помещался в навеску модельного взрывчатого вещества. При исследовании разной

дисперсности катализатора концентрация в навеске была одинакова. На рисунке 4 представлены зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от дисперсности катализатора.

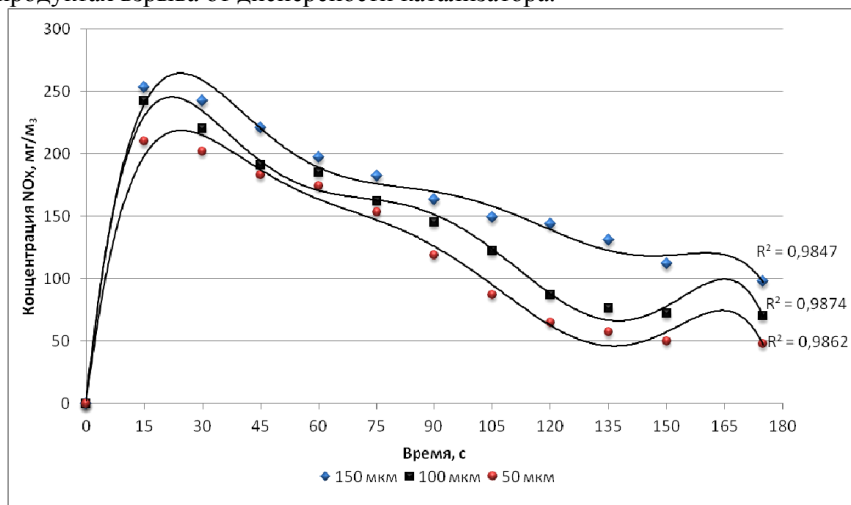


Рисунок 4 – Зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от дисперсности катализатора

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

Для определения рационального процентного содержания катализатора в составе взрывчатого вещества проводились экспериментальные исследования.

Исследования проводились с концентрацией катализатора 5%, 10%, 15%, 20%, дисперсностью 50-75 мкм. На основе полученных результатов представлен график зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от процентного содержания катализатора - рисунок 5.

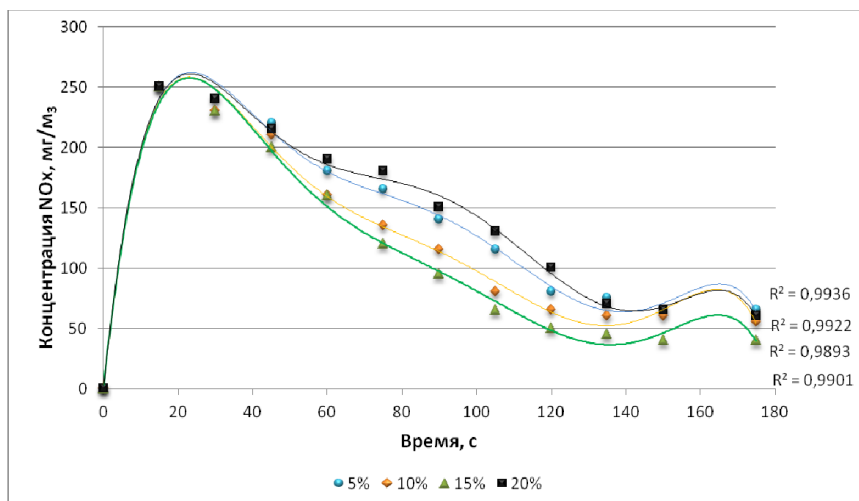


Рисунок 5 – Зависимость концентрации оксидов азота в продуктах взрыва от процентного содержания катализатора

Таким образом, полученные результаты показывают, что использование карбоната цинка дисперсностью 50-75 мкм и концентрацией 15-20% в составе модельного взрывчатого вещества, ведет к минимальным выбросам оксидов азота.

Для подтверждения результатов полученных на составах модельного взрывчатого вещества были проведены лабораторные исследования с использованием взрывчатого вещества пентаэритриттетранитрат (ТЭН). Испытания проводились для следующих конструкций зарядов: чистое взрывчатое вещество ТЭН массой 1,02 гр., взрывчатое вещество ТЭН массой 1,02 гр. с 20% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$, взрывчатое вещество ТЭН массой 1,02 гр. с 20% содержанием карбоната цинка $ZnCO_3$ в составе забойки. На рисунке 6 приведен график зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени.

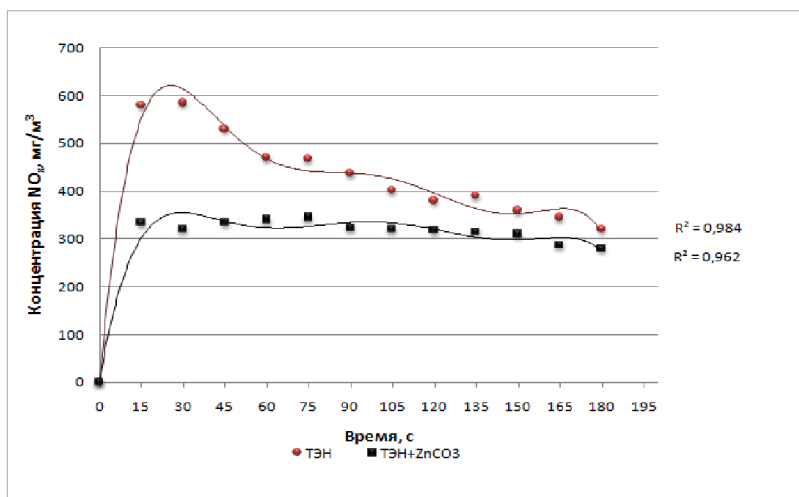


Рисунок 6 – График зависимости концентрации оксидов азота в продуктах взрыва во времени

Из приведенных выше результатов видно, что применение карбоната цинка позволяет снизить выбросы оксидов азота более чем на 40%. Также данные исследования подтверждают возможность использования карбоната цинка $ZnCO_3$ для снижения выбросов оксидов азота, как в составе взрывчатого вещества, так и в составе забойки. При этом результаты измерений концентрации оксидов азота в продуктах взрыва отличаются между собой не более чем на $\pm 10\%$.

Для апробации полученных результатов лабораторных исследований были проведены натурные исследования концентрации оксидов азота, образовавшихся при производстве взрывных работ на карьере «Ильмениоки». Объектом испытаний являлась опытная партия запирающих газодинамических устройств – скважинная забойка диаметром 115 мм с добавлением в ее состав карбоната цинка $ZnCO_3$.

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). 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. В обоих случаях использовали эмульсионное взрывчатое вещество Fortis Advantage 100. На рисунке 7 показана зависимость концентрации оксидов азота в воздухе рабочей зоны во времени для проведенных экспериментов.

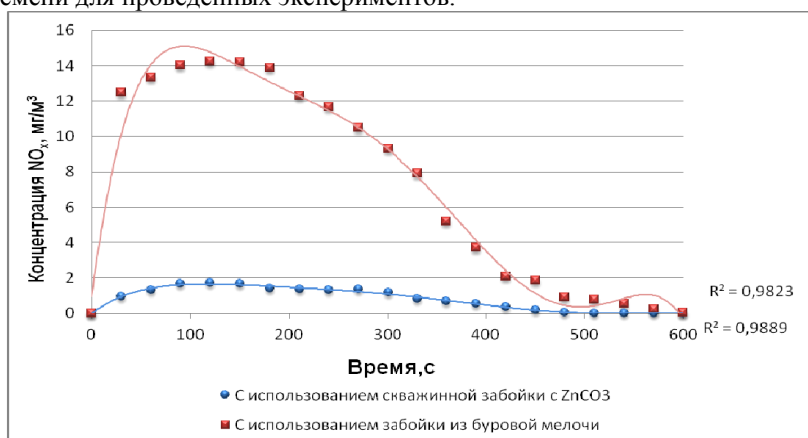


Рисунок 7 – Зависимость концентрация оксидов азота в воздухе рабочей зоны во времени

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

7. 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.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. 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.

2. Бабкин Р.С. Исследование влияния высокоактивных катализаторов на снижение выбросов оксидов азота при производстве взрывных работ / **Р.С. Бабкин**, Г.П. Парамонов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2018. – №2(35) – С. 27-30.

В прочих изданиях:

3. 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.

