



003256

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г. И. Носова»**
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)
пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, Челябинская обл., 455000
Тел.: 8 (3519) 29-84-02; Факс: 8 (3519) 23-57-59, 29-84-26
E-mail: mgtu@mgtu.ru; <http://www.mgtu.ru>
ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437,
ИНН/КПП 7414002238/745601001

Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation
Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
**«Nosov Magnitogorsk State
Technical University»**

(FSBEIHE «NMSTU»)
38, Lenin Street, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455000
Tel.: +7 3519 298 402; Fax: +7 3519 235 759, +7 3519 298 426
E-mail: mgtu@mgtu.ru; <http://www.mgtu.ru>
ОКПО 02069384, OGRN 1027402065437
INN/KPP 7414002238/745601001

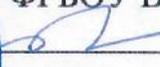
02.09.2020

№ 66.04-2881

На/To № _____ от/dated _____

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор

по научной и инновационной работе
ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова»
Олег Николаевич Тулупов

«02» сентября 2020 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации

на диссертацию Митишовой Наталии Александровны
на тему: «Обоснование технологических решений по предотвращению взрывов
сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных
руд», представленной на соискание ученой степени кандидата технических на-
ук по специальности

25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

В ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» представлена диссертация, изложенная на 157 страницах машинописного текста, включающая 43 рисунка, 15 таблиц, список литературы из 152 наименований, состоящая из введения, четырех глав, заключения, и автореферат диссертации. По результатам обсуждения материалов диссертации на расширенном научном семинаре Института горного дела и транспорта (протокол № 1 от «02» сентября 2020 г.) принято следующее заключение.

1. **Актуальность работы.** Диссертация Митишовой Наталии Александровны посвящена актуальной проблеме возникновения взрывов сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд.

Практика горных работ в России показывает, что при подземной разработке месторождений колчеданных руд в последнее время участились случаи взрыва сульфидной пыли. В современных условиях наблюдается тенденция вовлечения в процесс добычи руд с низким содержанием ценных компонентов при росте масштабов извлечения запасов из недр, изменении минерального состава вовлекаемых в эксплуатацию сульфидных руд и пород, а также технологии их разработки. В связи с этим происходит увеличение объема бурения, одновременно взрывааемой массы взрывчатых веществ, изменяются технологии ведения проходческих работ и очистных работ, все это приводит к росту количества образующейся сульфидной пыли, и как следствие, вероятности риска ее воспламенения. Следует отметить, что разработанные ранее технические решения и методические указания по обеспечению безопасности ведения взрывных работ при отработке месторождений колчеданных руд подземным способом не учитывают возможностей современного горного оборудования, а также средств взрывания и требуют адаптации к современным условиям.

Таким образом, тематика диссертации, обусловленная необходимостью обоснования технологических решений направленных на снижение риска взрывов сульфидной пыли при ведении подземных горных работ с взрывным разрушением массива горных пород при разработке месторождений сульфидных и убогосульфидных руд, является актуальной.

2. Общая характеристика работы. Диссертация посвящена изысканию технологических решений по снижению рисков взрывов сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд.

Поставленная в работе цель достигнута на основе анализа и обобщения мирового опыта безопасного ведения горных работ по фактору взрыва сульфидной пыли при подземной отработке месторождений колчеданных руд, обобщения нормативных документы по вопросам взрывобезопасности, разработки методики и проведения исследований взрывчатых свойств сульфидной пыли, выявления неучтенных ранее факторов обеспечения безопасности подземных горных работ на колчеданных месторождениях и разработки мероприятия по снижению риска возникновения взрывов сульфидной пыли. Оценена вероятность возникновения и развития аварий-

ных ситуаций, связанных со взрывом сульфидной пыли и перспективы ее снижения при реализации разработанных компенсирующих мероприятий. Автором поставлен и решен комплекс задач по заявленной тематике, что свидетельствует о завершенности представленной к защите диссертации.

В первой главе произведено обобщение опыта отработки колчеданных месторождений, выполнен ретроспективный анализ отечественной и зарубежной нормативной документации, рассмотрены методы, обеспечивающие безопасность горных работ по фактору взрыва сульфидной пыли. Рассмотрены механизм и условия формирования взрывоопасного облака сульфидной пыли в условиях подземной разработки месторождений колчеданных руд, определены необходимые и достаточные условия для воспламенения сульфидной пыли в рудничной атмосфере. Сформулированы цель и задачи, а также определены методы исследования. **Во второй главе** выполнено развитие научно-методических основ пылевзрывобезопасности, включающее уточнение понятий и определений, связанных с обеспечением взрывобезопасности, выполнено обоснование механизма формирования и распространения взрывной волны в облаке сульфидной пыли. Для исследования факторов и причин взрывов сульфидной пыли разработана программа и приведены соответствующие методики исследований. **В третьей главе** выполнено исследование факторов и процессов развития взрывов сульфидной пыли, влияющих на пылевзрывоопасность, которое включает геолого-структурную оценку исследуемых образцов, оценку взрывоопасности высокосульфидных и убогосульфидных руд и вмещающих пород, также разработан алгоритм оценки склонности сульфидной пыли к взрывоопасности. **В четвертой главе** на основании выполненных исследований предложены технологические рекомендации по обеспечению безопасности горных работ по фактору взрыва сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд. Сформулированные по результатам исследований выводы и рекомендации научно обоснованы и ясно изложены, обладают значимой научной и практической ценностью. Представленная диссертация характеризуется единой логикой и непротиворечивостью результатов.

3. Новизна исследований, полученных результатов, выводов и реко-

мендаций. Автором получен ряд новых научных знаний, имеющих важное теоретическое и практическое значение. Наиболее существенными из них являются:

1. Установлено, что пылевые частицы сульфидов, размером более 100 мкм, не являются термически активными; при меньшем размере частиц склонность их к взрывоопасности повышается с увеличением доли мелких фракций по экспоненциальной зависимости.

По данным синхронного термического анализа проба серно-колчеданной породы месторождения Сибайское с содержанием серы 42% проявила термическую активность в диапазоне температур 183-197,9°С для классов крупности: -40, -71+40, -100+71 мкм. При изучении медно-цинковой руды со средним содержанием серы 37,2%, термическая активность зафиксирована в диапазоне температур 189,9-217,5°С в идентичном диапазоне класса крупности частиц от -40 до -100+71 мкм. При нагреве частиц сульфидной пыли крупностью свыше 100 мкм на ДСК и ТГ-кривых отсутствует быстропротекающая реакция с выделением тепла, сопровождаемая резкой потерей массы. Таким образом, пыль, крупностью более 100 мкм, не является термически активной, то есть в условиях возникновения взрыва, такая пыль будет лишь поддерживать процессы взрывного горения, но не является первоисточником возникновения взрыва.

При нагреве образцов тонко измельченных сульфидов до температуры 600°С наблюдается характерная закономерность – величина остаточной массы пробы пыли прямо пропорциональна величине ее крупности и снижается с 11,61% для пробы, крупностью -125+100 мкм, до 6,71% для пробы, крупностью - 40 мкм. Это свидетельствует об увеличении интенсивности термического разложения пыли со снижением крупности частиц. Теплота взрыва обратно пропорциональна крупности пыли и увеличивается с 45,12 Дж/г для фракции -100+71 мкм до 58,4 Дж/г для фракции - 40 мкм за счет увеличения площади удельной поверхности частиц, что является характерным признаком физико-химической реакции возгорания сульфидов.

2. Доказано, что для предотвращения взрыва сульфидной пыли длина орошения водой выработки (l_{op} , м), прилегающей к месту взрыва, не является величиной постоянной, а зависит от массы взрываемого ВВ ($M_{вв}$, кг), коэффициента ше-

роховатости стенок выработки (β), площади сечения выработки ($S_{сеч}$, m^2), коэффициента неоднородности минерального состава сульфидной пыли в различных классах крупности пылевых частиц (k_s) и может быть определена по зависимости:
$$\log = 28,95 \cdot \ln(M_{вв}) - 16,26 \cdot \ln(\beta) - 24,66 \cdot \ln(S_{сеч}) + 8,72 \cdot \ln(k_s) - 121,4.$$

На основании полученных расчетов установлено, что при взрывании скважинных зарядов с массой ВВ до 200 кг обработки стенок и кровли выработок на расстояние свыше 30 м не требуется. При взрывании скважинных зарядов с массой 400 кг орошение стенок и кровли выработок за пределами 30 м требуется только для выработок с площадью сечения 10 и 16 m^2 , при площади сечения свыше 20 m^2 , достаточно орошение зоны на расстояние 30 м от места взрыва. При взрывании скважинных зарядов с массой 600-1000 кг орошение стен и кровли выработок требуется для всех рассмотренных сечений на расстояние от 37 до 80 м в зависимости от изменения вышеперечисленных параметров. Разработанные рекомендации применимы к месторождениям колчеданных руд с содержанием серы более 18%.

4. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов. К наиболее значимым и практическим результатам диссертации в области геотехнологии относят следующие:

1. Разработана и апробирована методика изучения главных факторов пылевзрывобезопасности для сульфидных руд и пород, которая рекомендована в состав системы промышленной безопасности при подземной разработке месторождений колчеданных руд. В рамках развития научно-методических и практических основ безопасного ведения подземных горных работ, методика обеспечивает возможность комплексно анализировать и оценивать состояние потенциальных источников опасности, оперативно выявлять результаты воздействия различных факторов, способствующих формированию взрывоопасной обстановки. Программа-исследований включает элементы авторских методов по оценке взрывоопасности сульфидной пыли в зависимости от содержания серы для различных классов крупности. В ходе ее реализации впервые установлено, что с уменьшением крупности частиц сульфидной пыли содержание серы в ней возрастает.

2. Определен комплекс факторов, оказывающих существенное влияние на взрывоопасность сульфидной пыли, формируемой в процессах первичной дезинтеграции колчеданных руд и пород. Доказано, что при анализе сульфидных руд и пород должны учитываться:

- минеральный состав колчеданных руд и пород, на основании которого возможно определить среднее содержание серы в различных классах крупности сульфидных пород, дать предварительную оценку взрывоопасности пыли по содержанию серы и, как следствие, определить потенциальную склонность сульфидной пыли к воспламенению;

- хрупкость минералов, слагающих породу с выявлением минералов, о склонных к первоочередному разрушению;

- размер зерен и форма нахождения сульфида в минерале, определяющих их склонность к образованию мелких пылевых частиц.

3. Установлено, что строение минерала, содержащего серу, а именно размер его зерен, определяет вероятность риска более высокого содержания серы в мелких фракциях (-40, -71+40, -100+71 мкм), образованных в результате первичного измельчения руды при техногенном воздействии на массив, и, следовательно, являются фактором, представляющим опасность взрыва сульфидной пыли. С учетом перераспределения содержания серы при первичной дезинтеграции в мелких фракциях оценен риск взрывоопасности при разработке месторождений колчеданных руд с содержанием серы свыше 18%.

4. Разработаны практические рекомендации, снижающие вероятность взрыва сульфидной пыли при разработке месторождений колчеданных руд, включающие: отказ от применения систем разработки с этажным принудительным обрушением и самообрушением в пользу систем разработки с твердеющей закладкой; отказ от проходки восстающих выработок методом VCR; сокращение массы одновременно взрывааемых ВВ; отказ от бурения скважин увеличенного диаметра.

5. Показано, что при вовлечении в отработку бедных сульфидных руд необходимо учитывать изменение вещественного состава руд и пород при переходе горных работ на участки, характеризующиеся рудами с повышенным содержанием

серы и массивной текстурой с зернистой структурой, при этом требуется корректировка принятой технологии ведения горных работ в части оценки объемов, одновременно взрывааемых ВВ, выбора их типа, определения расстояния орошения призабойного пространства и дополнительной оценки условий, при которых пыль сульфидных руд и вмещающих пород не взрывопожароопасна.

6. Разработаны технические рекомендации по снижению риска взрыва сульфидной пыли, включающие отказ от применения систем разработки с этажным принудительным обрушением и самообрушением в пользу систем разработки с подэтажным обрушением; отказ от проходки восстающих выработок методом секционного взрывания; сокращение массы одновременно взрывааемых ВВ; отказ от бурения скважин большого диаметра; установление протяженности зоны орошения выработок. При вовлечении в отработку бедных сульфидных руд необходимо учитывать, что изменение вещественного состава руд и пород и переход горных работ на участки, характеризующиеся повышенным содержанием серы и рудами массивной текстуры с зернистой структурой, требует корректировки принятой технологии ведения горных работ. При переходе на участки с повышенным содержанием сульфидов необходимо повторно провести оценку взрывоопасности пыли, формирующейся в ходе подземных горных работ, увеличить расстояние орошения призабойного пространства и оценить условия, при которых пыль сульфидных руд и вмещающих пород не взрывопожароопасна.

7. Определены основные факторы, влияющие на длину орошения выработки перед проведением взрывных работ. Уточнена длина орошения водой выработки, прилегающей к месту взрыва, которая не является величиной постоянной и для предотвращения взрыва сульфидной пыли зависит от массы взрываемого ВВ ($M_{ВВ}$), коэффициента шероховатости стенок выработки (β), площади сечения выработки ($S_{сеч}$), коэффициента неоднородности минерального состава сульфидной пыли различного класса крупности (k_s):

$$l_{оп} = 28,95 \cdot \ln(M_{ВВ}) - 16,26 \cdot \ln(\beta) - 24,66 \cdot \ln(S_{сеч}) + 8,72 \cdot \ln(k_s) - 121,4.$$

Реализация разработанных компенсирующих технологических решений сводит риск взрыва сульфидной пыли до «приемлемого уровня» и позволяет уверенно про-

гнозировать эффективность использования технологических решений по предотвращению взрывов сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд.

5. О стиле и языке диссертации и автореферата. Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Диссертация и автореферат изложены технически грамотным языком, оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автор использует общепринятую научную терминологию, что делает полученный результат доступным широкому кругу специалистов. Выводы и рекомендации работы изложены четко и лаконично. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертации.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные в диссертации результаты, оформленные в виде соответствующих методик, рекомендуется использовать в качестве единой нормативной методики по оценке взрывоопасности сульфидной пыли, формируемой в ходе основных технологических процессов при подземной разработке месторождений колчеданных руд при выполнении научно-исследовательских работ на этапе проектирования и внедрения в горное производство, а также в научно-производственные отделы горнодобывающих предприятий. Разработанные практические рекомендации, снижающие вероятность взрыва сульфидной пыли, найдут широкое применение в проектных и научно-исследовательских работах, при разработке технологических решений и мероприятий по безопасности ведения горных работ при подземной разработке месторождений колчеданных руд России.

7. Замечания по диссертации и автореферату. Рассматриваемая диссертация, безусловно, имеет практическую значимость для рудных горнодобывающих предприятий, содержащих в составе руд и пород сульфидную серу и представляет определенный интерес в научном плане. Однако по содержанию работы имеются следующие замечания:

1. В качестве практических рекомендаций максимальный диаметр буровых скважин ограничен 89 мм, не ясно, чем обусловлено данное значение и является ли оно единым для всех месторождений колчеданных руд?

2. В диссертации в соответствии с блок-схемой действий по оценке взрывоопасности сульфидной пыли (рисунок 3.30), не ясно, как обеспечивается выход из цикла после проверки условия на воспламенение образца, в случае его отсутствия?

3. На 13 стр. автореферата и 121 стр. диссертации отмечено, что для решения уравнения многочисленным методом разработана программа для ЭВМ, при этом ни в приложении, ни в опубликованных работах не указывается ее программный код или свидетельство на регистрацию.

Указанные замечания не являются принципиальными и не умаляют высокой теоретической и несомненной практической ценности диссертации.

8. Заключение. Представленная на отзыв диссертационная работа «Обоснование технологических решений по предотвращению взрывов сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд» выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью.

В полном объеме реализована и отражена в результатах и публикациях цель работы - изыскание технологических решений по снижению рисков взрывов сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд.

Основные результаты, положения и рекомендации диссертации апробированы и получили одобрение горной общественности на международных, всероссийских конференциях и симпозиумах, раскрыты в 15 статьях автора, 3 из которых - в изданиях, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России и индексируются в базах цитирования Scopus и Web of Science.

Разработанная автором методика по оценке взрывоопасности сульфидной пыли, а также практические рекомендации, направление на предотвращение взрывов сульфидной пыли применялись при разработке технологических рекомендаций по обеспечению взрывобезопасности для условий разработки месторождений Шануч, Сентачан и Сибайское.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации по всем квалификационным признакам: цели, задачам, научной новизне, практической значимости, положениям, выносимым на защиту.

Диссертация Митишовой Н.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой дано научное обоснование технологических решений по предотвращению взрывов сульфидной пыли при подземной разработке месторождений колчеданных руд, основанных на оценке параметров взрывчатости сульфидной пыли с учетом масштабов и технологии ведения буровзрывных работ, протяженности зоны орошения подготовительных выработок перед взрывом, структурно-текстурных характеристик горных пород, фракционного состава пылевых частиц, провоцирующих взрыв.

В целом, представленная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Митишова Наталья Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 - «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)».

Диссертация, автореферат и отзыв обсуждены и одобрены на расширенном научном семинаре Института горного дела и транспорта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» «02» сентября 2020 г., протокол № 1.

Директор института горного дела и транспорта, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

Доктор технических наук, доцент

Тел./факс +7 (3519) 29-85-56

e-mail: pytalev_ivan@mail.ru



И.А. Пыталев

Профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

Доктор технических наук, профессор

Тел./факс +7 (3519) 29-84-66

e-mail: prmpi@magtu.ru



В.Н. Калмыков

