

На правах рукописи



Кирсанов Александр Константинович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И
НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск, 2019

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Вохмин Сергей Антонович

Официальные оппоненты: *Тюпин Владимир Николаевич*
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет», НИУ «БелГУ», кафедра
прикладной геологии и горного дела,
профессор

Копытов Александр Иванович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени
Т.Ф. Горбачева», кафедра строительства
подземных сооружений и шахт, профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Забайкальский
государственный университет», г. Чита.

Защита диссертации состоится «07» ноября 2019 года в 09:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: www.sfu-kras.ru.

Автореферат разослан «___» сентября 2019 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бондина Светлана Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Успешное развитие горнодобывающих предприятий в условиях рыночной экономики неразрывно связано с решением комплекса задач по повышению эффективности производства за счёт снижения затрат на строительство подземных горных выработок. Это объясняется тем, что строительство новых и реконструкция действующих шахт и рудников требуют выполнения большого объёма работ по проведению горных выработок, протяжённость которых только по одному предприятию может достигать десятков километров.

На эффективность производства значительное влияние оказывает оптимизация и интенсивность буровзрывных работ. Расчёт рациональных параметров буровзрывных работ при проходке выработок является одним из наиболее сложных вопросов в современном горном деле.

В настоящее время в технической литературе имеется большое количество работ, посвящённых решению этой проблемы. Исследованиями процесса разрушения массива горных пород и разработкой методик расчёта параметров буровзрывных работ занимались С.Р. Айверсон, А.П. Андриевский, Л.В. Баранов, В.И. Богомоллов, М.Ф. Друкованный, И.Е. Ерофеев, Б.Н. Кутузов, О.Э. Миндели, С.М. Петухов, Н.М. Покровский, М.М. Протодяконов, Б.Р. Ракишев, В.М. Рогинский, Н.И. Рыбин, А.Ф. Суханов, П.Я. Таранов, В.Н. Тюпин и др.

Сформированные названными учёными представления о закономерностях и механизме разрушения горных пород, основанные на теоретических и экспериментальных работах, до настоящего времени принимаются за фундаментальные положения для дальнейших исследований по совершенствованию методик расчётов параметров буровзрывных работ.

Вместе с тем, несмотря на большое количество проведённых исследований, до настоящего времени нет единой методики определения параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок.

Существующие методики дифференцированно учитывают совокупное влияние основных факторов, таких как физико-механические свойства массива, тип применяемого взрывчатого вещества, диаметр, конструкция и длина заряда, величина недозаряда, длина и качество забойки, взаимодействие одновременно взрывааемых зарядов. Этим объясняется нестабильность показателей буровзрывных работ и низкая их эффективность.

В связи с изложенным, создание методик, направленных на повышение эффективности буровзрывных работ при строительстве горных выработок на подземных рудниках, является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – теоретическое и инженерное обоснование параметров буровзрывных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок, как условие снижения объёмов бурения и расхода взрывчатых материалов при совокупном повышении коэффициента использования шпуров.

Идея работы заключается в том, что повышение коэффициента использования шпуров при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок достигается за счёт рационального расположения взрывных шпуров по плоскости забоя, основанного на совокупном учёте горнотехнических и горно-геологических условий ведения работ.

Основные задачи исследования:

1. Выполнить анализ существующих отечественных и зарубежных методик расчёта параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок;
2. Выявить основные горно-геологические и горнотехнические факторы, влияющие на эффективность ведения буровзрывных работ при проходке горных выработок;
3. Разработать методические рекомендации для расчёта прямых призматических взрывных врубов;
4. Разработать рекомендации по обоснованию универсальной методики расчёта рациональных параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок;
5. Провести апробацию и внедрение разработанных методик расчёта параметров буровзрывных работ при проходке выработок в условиях действующих предприятий.

Методы исследований:

При выполнении работы использовался комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение научно-технической информации, аналитические исследования, графоаналитическое моделирование, эксперименты в производственных условиях, технико-экономический анализ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Снижение объёма бурения и расхода взрывчатых материалов при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок достигается использованием в расчётах паспортов буровзрывных работ методики, базирующейся на первоочередном определении размеров зон регулируемого дробления.
2. Формирование прямого призматического вруба при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок необходимо производить, учитывая вязкость горных пород и размер зоны смятия.
3. Расстановку шпуров по плоскости забоя в паспортах буровзрывных работ с прямым призматическим врубом при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок целесообразно осуществлять по разработанному расчётно-графическому методу.

Научная новизна:

1. Установлена зависимость параметров буровзрывных работ и коэффициента использования шпуров от размеров зоны регулируемого дробления при строительстве подземных горизонтальных и наклонных горных выработок.

2. Выявлена зависимость скорости детонации аммиачно-селитренных взрывчатых веществ на размеры зон регулируемого дробления и её влияния на удельный расход взрывчатого вещества при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок.

3. Установлена закономерность изменения числа заряжаемых и компенсационных шпуров (скважин) прямого призматического взрывного вруба от вязкости горных пород и размеров зоны смятия.

4. Разработан расчётно-графический метод расстановки шпуров на плоскости забоя при проектировании паспортов буровзрывных работ с прямым призматическим врубом, учитывающий размеры зон регулируемого дробления, который позволяет увеличить коэффициент использования шпуров при проходке выработок.

Практическое значение работы состоит в разработке:

– методики расчёта рациональных параметров буровзрывных работ на основе учёта основных горно-геологических и горнотехнических факторов, влияющих на размеры зон смятия и трещинообразования;

– методики расчёта прямых призматических взрывных врубов, позволяющей определить количество заряжаемых и компенсационных шпуров (скважин), а также расстояние между ними, на основе размеров зоны смятия и вязкости горных пород;

– целостной модели определения мест рационального расположения взрывных шпуров по плоскости забоя с использованием графоаналитического метода.

Реализация результатов работы.

На основе выполненных исследований разработаны и внедрены на рудниках Норильского промышленного района и ООО «Шахтострой» паспорта буровзрывных работ для проходки горизонтальных и наклонных горных выработок. Основные положения использованы также при составлении нормативно-методических документов, регламентирующих подход к проектированию паспортов буровзрывных работ.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования только в условиях рудника «Заполярный» составит более 400 руб./м³ строящейся выработки. Теоретические и практические результаты исследований использовались в учебном процессе на кафедре «Шахтное и подземное строительство» Сибирского федерального университета при подготовке специалистов по направлению «Горное дело».

Обоснованность и достоверность работы подтверждена современными методами исследования и достаточным количеством промышленных наблюдений и экспериментов, соответствующим цели и задачам диссертационной работы.

Верификация результатов опытных взрывов произведена на 6 рудниках Норильского промышленного района. Достоверность работы подтверждена актами опытно-промышленных испытаний на рудниках Норильского промышленного района.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на конференциях различного уровня, в том числе: Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Проблемы недропользования», г. Санкт-Петербург, 2014 г.; VII Молодёжный форум «Мингео Сибирь», г. Красноярск, 2014 г.; Международный Конгресс и Выставка «Цветные металлы и минералы» г. Красноярск, 2014 и 2015 гг.; Конференция АО «Атомредметзолото», г. Москва, 2013 и 2014 гг.; Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука» г. Красноярск, 2013-2017 гг.

Исследования проводились при финансовой поддержке Благотворительного Фонда культурных инициатив (Фонда Михаила Прохорова) в рамках конкурсной программы финансирования трэвел-грантов в 2014 году, а также Гранта Президента РФ МК-5475.2015.8.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; в развитии существующих представлений о зонах разрушения горной породы в момент взрыва заряда взрывчатого вещества; в сопоставлении отечественных и зарубежных методических практик в части расчётов оптимальных параметров буровзрывных работ; в сравнительном анализе факторов, значительно влияющих на эффективность взрывных работ; в разработке методики расчёта параметров прямых призматических врубов; в разработке графоаналитического метода определения схемы расположения шпуров на плоскости забоя при проектировании паспортов буровзрывных работ на проходку выработок; в проведении опытно-промышленных испытаний.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 10 печатных работ, из них 7 – в изданиях, входящих в Перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Объём и структура работы. Диссертационная работа изложена на 186 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения и 2 приложений. Содержит 121 библиографический источник, 49 таблиц, 63 рисунка и 144 формулы.

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю профессору С.А. Вохмину и доценту Г.С. Курчину, а также всем сотрудникам кафедры «Шахтное и подземное строительство» за советы и неоценимую помощь при выполнении работы. Автор признателен за содействие в проведении экспериментальных работ инженерно-техническим работникам подземных рудников ЗФ ПАО «Горно-металлургическая компания «Норильский никель».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения об апробации разработанной методики, а также об экономической эффективности.

В первой главе дан обзор существующих методик расчёта параметров БВР на основе первоочередного определения удельного расхода ВВ и зон разрушения породного массива. На примере рудников ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» показано соответствие проектных параметров БВР фактическим.

Во второй главе исследовано влияние горно-геологических и горнотехнических факторов на эффективность буровзрывных работ, достоверное определение которых может положительно сказаться на процессе строительства подземных горных выработок и существенно увеличить коэффициент использования шпура. Представлен анализ влияния взрывного вруба на эффективность отбойки.

В третьей главе приведена разработанная методика расчёта параметров буровзрывных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок, включающая в себя расчёты параметров взрывного вруба и зон смятия и трещинообразования, а также графоаналитический метод расположения шпуров на плоскости забоя. Представлены результаты проведения опытных взрывов на подземных рудниках Норильского промышленного района. Проведено сравнение результатов опытно-промышленных испытаний с фактическим исполнением взрывных работ.

В четвёртой главе приведена экономическая эффективность при использовании предлагаемой методики расчёта параметров буровзрывных работ на примере рудников Норильского промышленного района.

Основные результаты проведённых исследований отражены в следующих нижеприведённых защищаемых положениях.

Все существующие на данный момент методики расчёта параметров буровзрывных работ (БВР) можно разделить на две большие группы:

- основанные на первоочередном определении удельного расхода взрывчатого вещества (ВВ);
- базирующиеся на первоочередном определении зон разрушения породного массива вокруг взрываемого заряда ВВ.

Методики расчёта параметров БВР первой группы зачастую представляют собой вычисление по сложным эмпирическим формулам. В этом случае удельный расход ВВ определяют по данным практики, рассчитывают по эмпирическим формулам или принимают по табличным данным, приведённым в справочниках.

В настоящее время на рудниках Норильского промышленного района при проектировании паспортов БВР на проходку горизонтальных и наклонных горных выработок используются именно такие методики.

Принципиально отличаются от них методики второй группы, расчёт которых основан на определении параметров зон разрушения породного массива. Расчёт, проведённый по таким методикам, позволяет определить места расположения шпуров в забое с учётом физических характеристик разрушаемого массива и применяемого ВВ.

Для разработки методики, оптимально действующей в разнообразных горно-геологических и горнотехнических условиях, был изучен опыт ведения взрывных работ на 6 рудниках Норильского промышленного района. Краткие результаты, полученные при наблюдении за ходом выполнения основных технологических операций приведены далее.

➤ Наблюдения проводились не менее, чем в 2 различных выработках на каждом руднике.

➤ Средний фактический коэффициент использования шпура (КИШ) варьируется в диапазоне 0,71-0,86, что значительно ниже проектного показателя, равного 0,95.

➤ Согласно проведённым замерам, среднее отклонение основного комплекта шпуров по глубине составило 10-36 см.

➤ Расстояния между оконтуривающими и вспомогательными шпурами не выдерживаются, среднее отклонение от проектного – 14-35 см.

➤ Средняя величина «стаканов» при взрывах по вкрапленной руде – 30-100 см; по богатой – 40-100 см; по медистой – 30-40 см (рис. 1, а).

➤ Конструкция взрывного вруба не соответствует проектному (рис. 1, б).

➤ Плохо прорабатываются взрывом некоторые части забоя (рис. 1, в).

➤ Количество взрывных шпуров не соответствует проектному.

➤ Заблочный материал используется не во всех заряжаемых шпурах.

а)



б)



в)



Рисунок 1 – Практика ведения буровзрывных работ на рудниках

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»:

а – стакан, образованный после взрыва (40 см);

б – недобур врубовой скважины (с использованием расширителя);

в – непроработанная центральная плоскости забоя после взрыва

Неудовлетворительные результаты ведения взрывных работ обусловлены тем, что используемая методика (СНиП III-II-77) при проектировании параметров БВР на рудниках Норильского промышленного района не учитывает взаимовлияния основных горно-геологических и горнотехнических факторов, присущих определённым участкам массива горных пород.

На основе положений методики, предложенной Б.Н. Кутузовым и А.П. Андриевским, включающей в себя большое количество горно-геологических и горнотехнических факторов, автором была предложена её усовершенствованная модель.

В первую очередь определяются основные показатели:

- величина радиуса зоны смятия:

$$R_{CM} = d \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot D^2}{8 \cdot f \cdot 10^7}}, \text{ м}, \quad (1)$$

где d – диаметр шпура, м; ρ – плотность ВВ в заряде, кг/м³; D – скорость детонации применяемого ВВ, м/с; f – коэффициент крепости пород по шкале М.М. Протодьяконова.

- величина радиуса зоны трещинообразования:

$$R_{TP} = 0.2102 \cdot d \cdot \rho^{0.75} \cdot D^{1.5} \cdot \sigma_{сж}^{-0.25} \cdot \tau_{ср}^{-0.5}, \text{ м}, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород на сжатие, Па; $\tau_{ср}$ – предел прочности пород на срез, (для большинства пород $\tau_{ср}$ не превышает 20 МПа. Приблизительно $\tau_{ср}$ можно определить как $(0,1-0,02) \times \sigma_{сж}$), Па.

Анализ приведённых зависимостей показывает, что радиусы зон смятия и трещинообразования в большей мере зависят от крепости горной породы и диаметра заряда (рис. 2). Так, при увеличении крепости породы с 8 до 20, радиус зоны смятия уменьшается почти в 2 раза при любом диаметре заряда. Аналогична ситуация с зоной трещинообразования при увеличении предела прочности пород на сжатие с 80 до 200 МПа.

В результате исследований детонационной способности промышленных ВВ было установлено, что их детонационные характеристики связаны с диаметром заряжаемого шпура и плотностью ВВ.

Таким образом, расчёт скорости детонации аммиачно-селитряных ВВ с учётом влияния диаметра заряда и плотности ВВ производится по уточнённой формуле:

$$D = (11,794 \cdot \rho - 7080) \cdot d^{0,00057 \cdot \rho - 0,46}, \text{ м/сек.} \quad (3)$$

Величина линии наименьшего сопротивления (ЛНС):

$$W = R_{TP} \cdot \cos(0,5 \cdot \alpha), \text{ м}, \quad (4)$$

где α – минимальный угол образующейся взрывной воронки $\alpha=60^\circ$.

Проведённые опытно-промышленные испытания по усовершенствованной методике расчёта параметров БВР на рудниках Норильского промышленного района подтверждают факт увеличения фактического КИШ, снижение объёмов бурения и используемых взрывчатых материалов (ВМ) без снижения качества оконтуривания горной выработки (табл. 1).

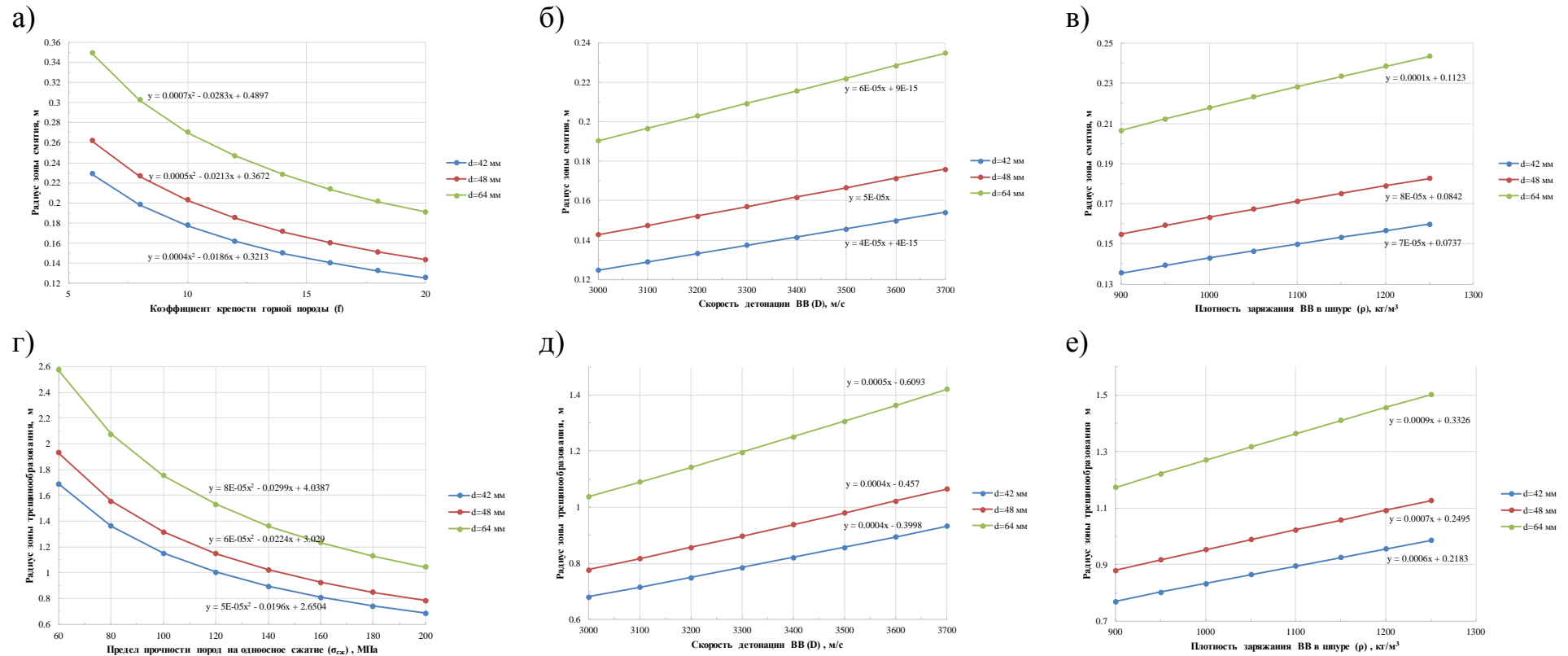


Рисунок 2 – Влияние учитываемых факторов на величины радиусов зон смятия и трещинообразования:

- а – зависимость радиуса зоны смятия от крепости горной породы (f);
- б – зависимость радиуса зоны смятия от скорости детонации ВВ (D);
- в – зависимость радиуса зоны смятия от плотности заряжения ВВ (ρ);
- г – зависимость радиуса зоны трещинообразования от предела прочности пород на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$);
- д – зависимость радиуса зоны трещинообразования от скорости детонации ВВ (D);
- е – зависимость радиуса зоны трещинообразования от плотности заряжения ВВ (ρ)

Таблица 1 – Сравнение действующих на руднике паспортов БВР с разработанными по предлагаемой методике

Показатели	РТ	РО	ШК РК	ШС РК	РМ	РЗ
Общее количество шпуров, шт.	50 / 39	51 / 38	63 / 53	43 / 39	49 / 43	61 / 51
Количество врубовых шпуров, шт.	8 / 8	8 / 8	10 / 8	8 / 8	8 / 8	16 / 8
Количество компенсационных скважин, шт.	3 / 3	3 / 3	0 / 3	3 / 3	3 / 3	3 / 3
Количество вспомогательных (отбойных) шпуров, шт.	20 / 14	20 / 11	29 / 22	14 / 14	16 / 16	18 / 22
Количество оконтуривающих шпуров, шт.	19 / 14	20 / 16	24 / 20	18 / 14	22 / 16	24 / 18
Расход ВВ, кг:						
Аммонит №6 ЖВ	27,5 / 9,0	39,25 / 8,75	20,0 / 12,5	10,0 / 9,0	20,0 / 10,0	12,75 / 12,0
Гранулит АС-8	182,4 / 167,0	-	-	155,0 / 133,0	117,0 / 104,0	300,0 / 270,0
Игданит-П	-	280,0 / 275,0	-	-	-	-
Гранулит АЗ	-	-	156,0 / 111,0	-	-	-
Всего	209,9 / 176,0	319,2 / 283,7	176,0 / 123,5	165,0 / 142,0	137,0 / 114,0	312,7 / 282,0
Объём бурения, шп.м.	189,9 / 140,9	260,5 / 195,5	152,1 / 128,1	159,2 / 144,8	120,9 / 106,5	239,8 / 200,0
Фактический КИШ	0,74÷0,84 / 0,96÷0,98	0,77÷0,84 / 0,9÷0,94	0,78÷0,83 / 0,9÷0,92	0,79÷0,8 / 0,92÷0,96	0,77÷0,83 / 0,96÷1,0	0,71÷0,78 / 0,94÷0,96

Примечание: через дробь указаны: *параметры БВР, используемые на данный момент на рудниках / параметры БВР, полученные и апробированные в промышленных условиях*

Вышеизложенное является доказательством первого научного положения, выносимого на защиту, а именно: снижение объёма бурения и расхода взрывчатых материалов при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок достигается использованием в расчётах паспортов буровзрывных работ методики, базирующейся на первоочередном определении размеров зон регулируемого дробления.

Наиболее ответственным элементом взрывного разрушения пород при строительстве горных выработок является формирование врубной полости, качественное оформление которой во многом предопределяет эффективность взрыва в целом.

В настоящее время тип взрывного вруба определяют в зависимости от площади поперечного сечения горной выработки, её ширины, а также особенностей применяемого бурового оборудования и условий залегания горных пород. Наиболее часто используемые типы врубов: 1) веерный; 2) клиновой; 3) параллельный с увеличенным диаметром скважины; 4) прямой. В свою очередь данные типы взрывных врубов объединены в две более крупные группы:

- наклонные врубы, образуемые шпурами, пробуренными под острым углом к забою (рис. 3, а);
- прямые врубы, образуемые шпурами, пробуренными параллельно друг другу под прямым углом к забою (шпуры параллельны друг другу) (рис. 3, б).

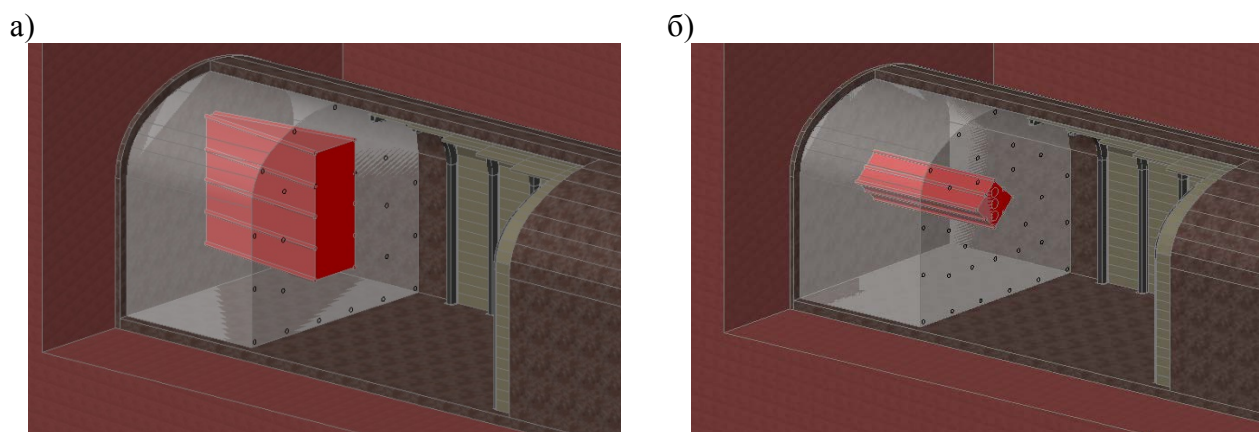


Рисунок 3 – Примеры конструкции взрывного вруба:

а – конструкция наклонного вруба

б – конструкция прямого вруба

Анализ опыта применения различных типов взрывных врубов показывает, что наибольшую эффективность использования энергии взрыва обеспечивают прямые и клиновые ступенчатые врубы, однако последние сложны в исполнении, требуют повышенных трудозатрат и практически не применимы при использовании самоходных буровых установок (СБУ).

Как показала практика ведения горных работ на рудниках Норильского промышленного района, наиболее эффективными, позволяющими обеспечить

высокий КИШ и необходимую скорость проходки, являются прямые врубы в сочетании с компенсационными (не заряжаемыми) шпурами или скважинами. Это обусловлено тем, что применение такого типа врубов наиболее эффективно при бурении СБУ на глубину более 2 м.

Предлагаемый метод расчёта конструкции прямого призматического взрывного вруба учитывает основные факторы взрывания и состоит из нескольких операций, выполняемых в определённой последовательности:

1. В зависимости от условий отбойки вруб располагают по центру или смещают от оси выработки (вправо или влево). Затем производят расчёт параметров взрывного вруба и его построение. Поскольку разрушаемый массив до начала момента взрыва имеет лишь одну открытую поверхность, то в первую очередь определяется число компенсационных шпуров (скважин) во врубе для создания дополнительной свободной поверхности и частичного перемещения энергии взрыва на эту свободную зону. На основании результатов промышленных экспериментов, проведённых на рудниках Норильского промышленного района и на Джусинском подземном руднике, установлено, что оптимальное число компенсационных шпуров (скважин) может определяться по следующей зависимости:

$$N_0 = \frac{0,5 \cdot l_0 - 0,2 \cdot d_0 \cdot l_0^2 + 1,3}{d_0 \cdot 0,1} \cdot 10^{-2}, \text{ шт.}, \quad (5)$$

где l_0 – длина компенсационного шпура (скважины), м; d_0 – диаметр компенсационного шпура (скважины), м.

2. При отклонении шпуров от проектного положения возможна некорректная работа взрывного вруба, вследствие чего может наблюдаться недостаточное разрушение и выброс плохо проработанной горной массы и уменьшение КИШ, а в случае значительного сближения происходит запрессовка соседних шпуров или повреждение зарядов, взрываемых с замедлением.

Таким образом, для этого типа взрывного вруба ключевым фактором, определяющим его работоспособность, становится выбор оптимального расстояния между заряжаемыми и компенсационными шпурами (скважинами).

По результатам промышленных экспериментов установлено, что расстояние между холостыми шпурами вруба необходимо определять по выражению:

$$h = d_0 + d - \frac{\pi \cdot d^2}{12 \cdot d_0}, \text{ м.}, \quad (6)$$

где d – диаметр заряжаемого шпура, м.

3. На основе промышленных наблюдений и изучения типовых паспортов БВР на подземных рудниках Норильского промышленного района выявлено, что наиболее качественная проработка забоя взрывом достигается при отношении площади поперечного сечения горной выработки к площади взрывного вруба, равного 3-6 %, однако максимально возможный КИШ при этом достигается при 4%.

Общее число заряжаемых врубовых шпуров, размещённых на плоскости забоя, рассчитывают по выражению:

$$N_{вр} = \frac{0,04 \cdot S \cdot k_v}{\pi R_{СМ}^2}, \text{ шт.}, \quad (7)$$

где $0,04$ – коэффициент, показывающий оптимальное отношение врубовой площади к площади забоя; S – площадь поперечного сечения, м^2 ; k_v – коэффициент, учитывающий вязкость пород; $R_{СМ}$ – радиус зоны смятия, м.

4. Так как вязкость в основном зависит от пластических свойств горной породы с участием сдвиговых усилий, коэффициент, учитывающий вязкость горной породы, можно выразить через следующую зависимость:

$$k_v = \frac{0,001 \times E \times \sigma_{сж}}{E_{деф}} = \frac{0,001 \times E \times \sigma_{сж}}{\text{tg} \alpha \times \sigma_{сж} \times l} = \frac{0,001 \times E}{l \times \text{tg} \alpha}, \quad (8)$$

где E – модуль упругости (Модуль Юнга – обычно колеблются в диапазоне $1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$ МПа); $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа; $E_{деф}$ – модуль полной деформации, МПа; α – коэффициент линейного расширения; l – средняя длина основного комплекта шпуров, м.

На рисунке 4 представлена схема построения прямого призматического вруба по предлагаемым выражениям.

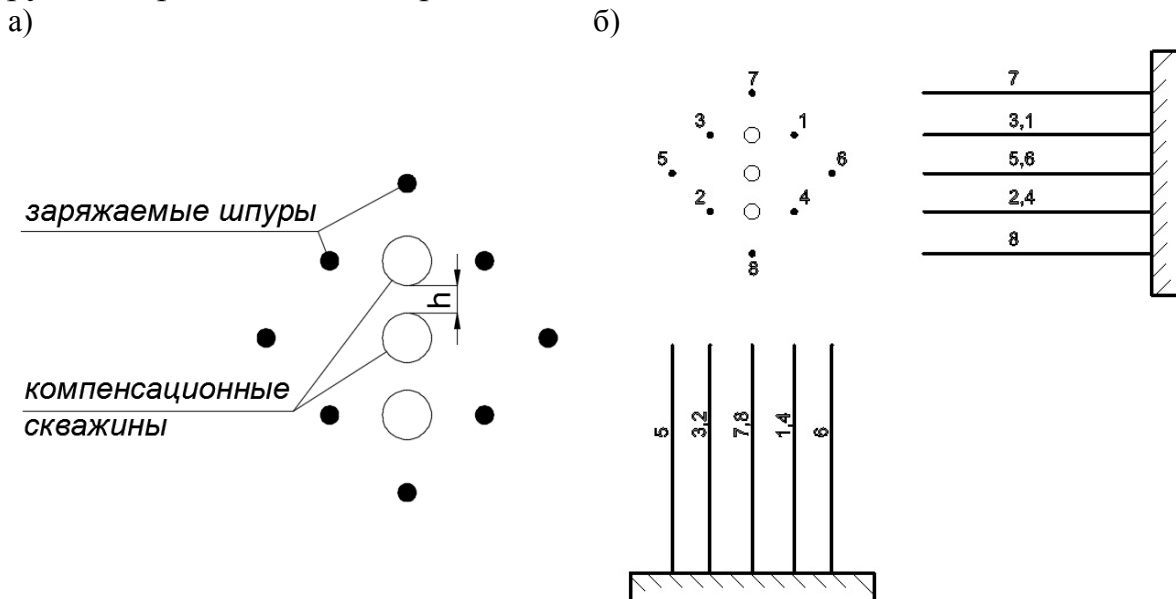


Рисунок 4 – Схема расположения компенсационных скважин и заряжаемых шпуров вруба:
 а – схема построения взрывного вруба по выведенным формулам;
 б – схема расположения взрывного вруба в забое

Вышеизложенное является доказательством второго научного положения, выносимого на защиту, а именно: формирование прямого призматического вруба при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок необходимо производить, учитывая вязкость горных пород и размер зоны смятия.

Зная расчётные значения формул 1-8, можно выполнить графическое построение фронтальной проекции паспорта БВР, начинающееся с расстановки оконтуривающих шпуров. Для этого на расстоянии $R_{СМ}$ от контура выработки определяют точку расположения первого шпура (рис. 5, а).

После этого на расстоянии R_{CM} от проектного контура по всему периметру выработки располагают оконтуривающие шпуров. Расстояние между оконтуривающими шпуров определяется величиной зоны трещинообразования R_{TP} (рис. 5, б). Если забой заряжается разными ВВ, зону R_{TP} определяют для каждого типа заряда отдельно.

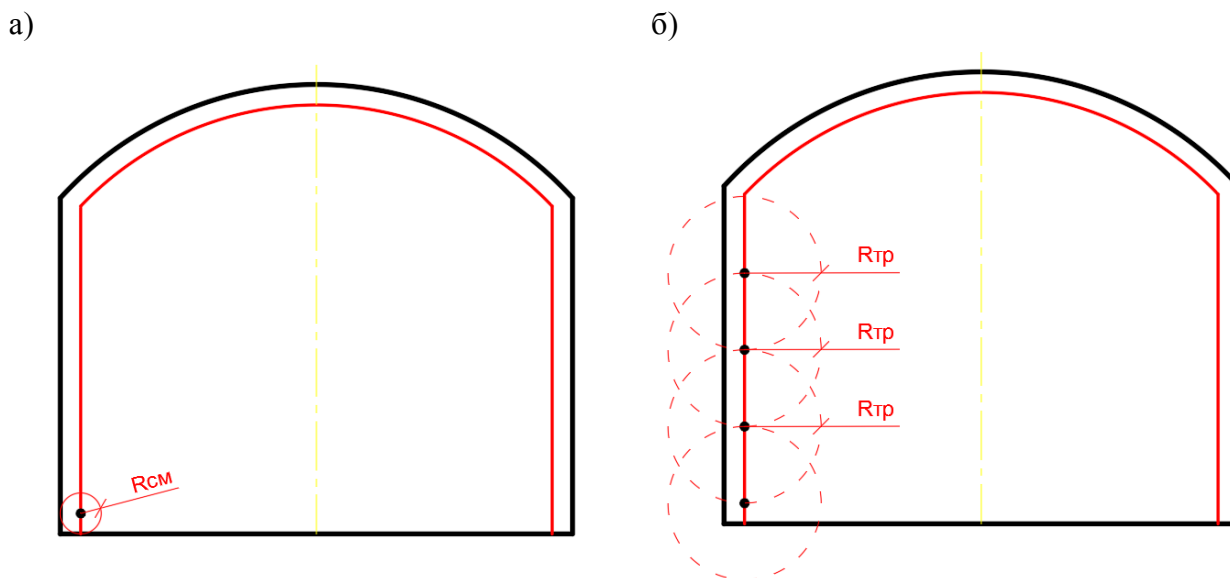


Рисунок 5 – Схема расстановки шпуров по площади забоя:
 а – расположение первого шпура
 б – расположение оконтуривающих шпуров

Расстояние между оконтуривающими и первым рядом вспомогательных шпуров определяется величиной ЛНС (рис. 6, а). Расстояние между вспомогательными шпуров по горизонтали равно величине зоны трещинообразования.

Если число шпуров при их расстановке оказывается не целым, то его округляют в большую сторону до ближайшего целого числа шпуров, а расстояния между шпуров пересчитывают так, чтобы между оконтуривающими шпуров, работающими в одинаковых условиях, они были равными.

С учётом этих параметров определяют расположение оконтуривающих и вспомогательных шпуров по сечению выработки. Далее производят расчёт и построение взрывного вруба (рис. 6, б, ф. 5-8).

Если одного ряда вспомогательных шпуров недостаточно и имеются участки, которые могут быть непроработаны, на расстоянии W располагают второй ряд вспомогательных шпуров (рис. 7, а).

В случае малого сечения выработки вспомогательные шпуров могут полностью отсутствовать.

После проведения всех необходимых расчётов и расстановки шпуров по полученным значениям, графическая часть паспорта БВР будет выглядеть следующим образом (рис. 7, б).

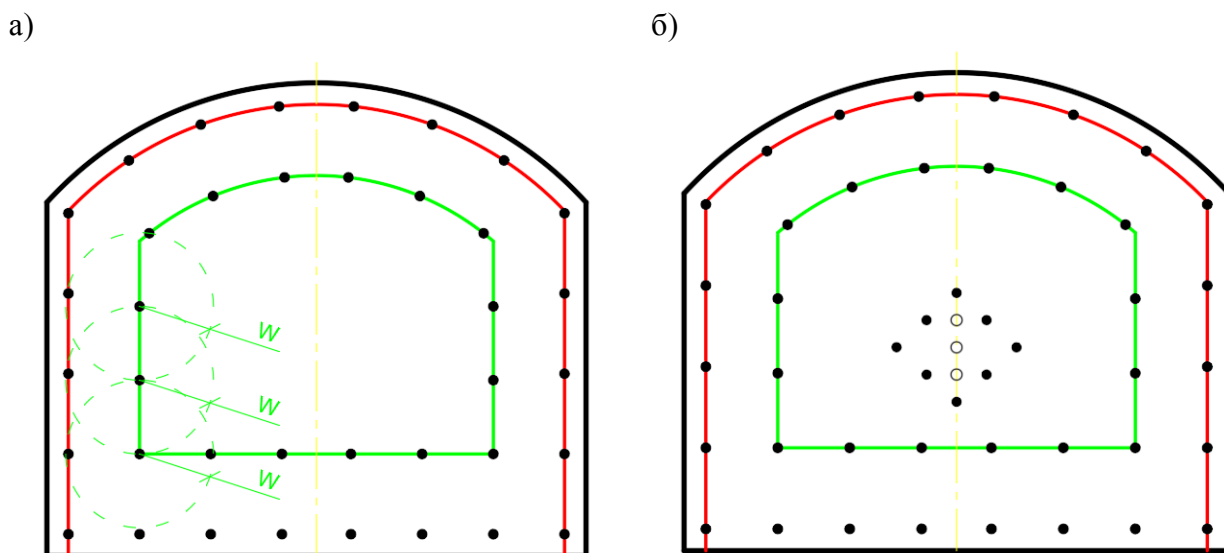


Рисунок 6 – Схема расстановки шпуров по площади забоя:
 а – расположение первого ряда вспомогательных шпуров
 б – расположение взрывного вруба

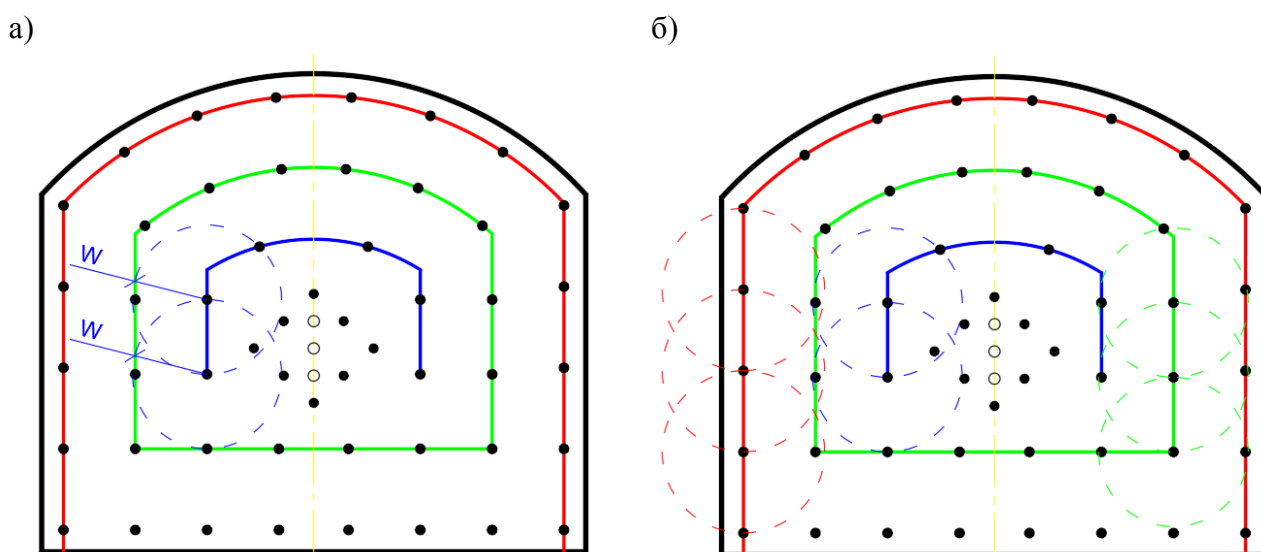


Рисунок 7 – Схема расстановки шпуров по площади забоя:
 а – расположение второго ряда вспомогательных шпуров
 б – итоговое расположение шпуров в забое

На основе предлагаемой методики на 6 рудниках Норильского промышленного района были разработаны паспорта БВР и проведены их промышленные испытания, в результате чего экономическая эффективность при отбойке 1 м^3 горной массы составила от 20,75 до 25,10% (табл. 2).

Вышеизложенное является доказательством третьего научного положения, выносимого на защиту, а именно: расстановку шпуров по плоскости забоя в паспортах буровзрывных работ с прямым призматическим врубом при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок целесообразно осуществлять по разработанному расчётно-графическому методу.

Таблица 2 – Сравнение затрат по действующим и предлагаемым паспортам БВР

Тип затрат	Затраты по рудникам					
	РТ	РО	ШК РК	ШС РК	РМ	РЗ
Итоговые затраты на ведения БВР, руб./цикл						
По действующим паспортам БВР	55090,30	81429,56	42767,44	43042,71	32909,02	100854,95
По предлагаемым паспортам БВР	48207,33	70679,58	35359,95	40936,19	30608,08	92977,08
Экономическая эффективность, руб./цикл	6882,97	10749,98	7407,49	2106,52	2300,94	7877,87
Экономическая эффективность, %	12,5	13,2	17,3	4,9	7,0	7,8
Стоимость отбойки горной массы, руб./м ³						
По действующим паспортам БВР	952,63	935,26	1144,43	888,02	1032,54	1599,33
По предлагаемым паспортам БВР	714,52	725,43	863,03	703,80	797,09	1197,96
Экономическая эффективность, руб./цикл	238,11	209,83	281,40	184,22	235,45	401,38
Экономическая эффективность, %	24,99	22,44	24,59	20,75	22,80	25,10

РТ – рудник «Таймырский»; РО – рудник «Октябрьский»; ШК РК – шахта «Комсомольская» рудника «Комсомольский»; ШС РК – шахта «Скалистая» рудника «Комсомольский»; РМ – рудник «Маяк»; РЗ – рудник «Заполярный»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача по снижению объёмов бурения и расхода взрывчатых материалов при совокупном повышении коэффициента использования шпуров за счёт рационального расположения взрывных шпуров по плоскости забоя, основанного на определении размеров зон регулируемого дробления, имеющая важное значение для развития горнодобывающей отрасли России.

Основные научные и практические результаты:

1. В результате исследования горно-геологических, горнотехнических, экономических и организационных факторов установлено их количественное и качественное влияние на эффективность ведения взрывных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок.

2. Впервые разработана методика расчёта параметров прямого призматического вруба с учётом крепости и вязкости горной породы, а также параметров заряда и типа применяемого ВВ.

3. Доказано, что на рудниках Норильского промышленного района наиболее эффективными являются прямые врубы в сочетании с компенсационными (не заряжаемыми) шпурами или скважинами. Их оптимальное число определяется в зависимости от диаметра и длины компенсационного шпура (скважины).

4. Усовершенствована существующая методика определения оптимальных параметров буровзрывных работ, применение которой обеспечивает снижение удельного расхода ВВ и объёмов бурения при одновременном повышении коэффициента использования шпуров и качества отбойки.

5. Предложен новый подход к определению схемы расположения шпуров на плоскости забоя и их количества при разработке паспортов БВР для проходки горизонтальных и наклонных горных выработок.

6. Разработаны и испытаны в промышленных условиях на рудниках Норильского промышленного района паспорта буровзрывных работ, при этом во всех случаях были получены положительные результаты опытных взрывов. Это позволило повысить эффективность БВР при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок за счёт сокращения удельного расхода ВВ и снижение объёмов бурения с одновременным повышением коэффициента использования шпуров.

7. Результаты проведённых опытно-промышленных испытаний, служат основой для разработки программного продукта, обеспечивающего определение оптимальных параметров БВР при составлении паспортов на проходку горных выработок с выводом на печать готового документа.

8. Разработаны, в установленном порядке утверждены и внедрены научно обоснованные паспорта БВР на проходку горизонтальных и наклонных горных выработок на рудниках Норильского промышленного района.

9. Ожидаемый расчётный экономический эффект от внедрения результатов исследований на шахте «Комсомольская» рудника

«Комсомольский» и руднике «Заполярный» оценивается в 281,4 руб. и 401,38 руб. на проходку 1 м³ выработки соответственно.

Проверка работоспособности предлагаемой методики была также проведена в условиях Джусинского подземного рудника на предприятии ООО «Шахтострой», где подтверждена работоспособность методики и её высокая эффективность.

Результаты исследований могут быть использованы на предприятиях горнодобывающей промышленности при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок. Это позволит значительно повысить эффективность БВР за счёт уменьшения количества используемого ВМ и снижения объёмов бурения при надлежащем качестве оконтуривания выработок.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и приравненные к ним публикации:

1. **Кирсанов, А. К.** Методика расчёта параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных горных выработок / С. А. Вохмин, Г. С. Курчин, А. К. Кирсанов, П. А. Дерягин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2014. – № 4 (48). – С. 5-9.

2. **Кирсанов, А. К.** Обзор существующих методик расчёта параметров зон разрушения породного массива / С. А. Вохмин, Г. С. Курчин, А. К. Кирсанов, Д. А. Грибанова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19369> (дата обращения: 18.06.2019).

3. **Кирсанов, А. К.** Совершенствование методики расчета параметров буровзрывных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок на примере рудников ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» / А. К. Кирсанов, С. А. Вохмин, Г. С. Курчин // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 396-405.

4. **Kirsanov, A. K.** Calculation methodology of blasting and explosion operations' parameters for construction of horizontal and inclined excavations / G. S. Kurchin, S. A. Vokhmin, A. K. Kirsanov, A. O. Shigin, A. A. Shigina // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, N. 15. – P. 35897-35906.

5. **Кирсанов, А. К.** Расчёт скорости детонации для аммиачно-селитренных взрывчатых веществ / С. А. Вохмин, Г. С. Курчин, А. К. Кирсанов // Маркшейдерия и недропользование. – 2016. – № 4 (84). – С. 36-38.

6. **Кирсанов, А. К.** Совершенствование расчёта параметров взрывного вруба / В. И. Корнейчук, С. А. Вохмин, Г. С. Курчин, А. К. Кирсанов // Взрывное дело. – Выпуск №116/73. – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 100-111.

7. **Kirsanov, A. K.** Destruction of rock upon blasting of explosive agent / S. A. Vokhmin, G. S. Kurchin, A. K. Kirsanov, A. O. Shigin, A. A. Shigina // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, No. 13. – P. 3978-3986.

В других изданиях:

8. **Кирсанов, А. К.** Совершенствование методики расчёта параметров буровзрывных работ и результаты опытных взрывов на Джусинском подземном руднике / С. А. Вохмин, Г. С. Курчин, А. К. Кирсанов // Сборник докладов VII Международного Конгресса «Цветные металлы и минералы». – Красноярск: 2015 г. – С.129-134.

9. **Kirsanov, A. K.** A brief history of the development of blasting and the modern theory of rock breaking / A. K. Kirsanov, S. A. Vokhmin, G. S. Kurchin // Journal of Degraded and Mining Lands Management. – 2016. – Vol. 3, No. 4, P. 617-623.

10. **Кирсанов, А. К.** Влияние вязкости горных пород на эффективность взрывной отбойки при строительстве горных выработок / Г. С. Курчин, П. Ю. Ефремов, А. К. Кирсанов // Проспект Свободный-2016: материалы науч. конф., посвящённой Году образования в Содружестве Независимых Государств. 2016. 15-25 апреля. – С.16-18.