

На правах рукописи

Пронин Виктор Викторович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ БУРОВЗРЫВНОЙ
ПОДГОТОВКИ ПОРОД К ВЫЕМКЕ ЭКСКАВАТОРАМИ
С ПОВЫШЕННОЙ ЕМКОСТЬЮ КОВША НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА**

Специальность

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владикавказ-2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»
на кафедре «Горное дело»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
РЫЛЬНИКОВА Марина Владимировна

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
ГАВРИШЕВ Сергей Евгеньевич

Кандидат технических наук, директор
ООО ПСК «ГИДРОСТРОЙ» (г.Новороссийск),
доцент кафедры «Горное дело» ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова

ЗЕМЛЯНОЙ Михаил Александрович

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г.Екатеринбург

Защита диссертации состоится «24» июня 2022 г. в 14⁰⁰ на заседании диссертационного Совета Д 212.246.02, созданном на базе Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), по адресу: 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, факс 8(8672) 40-72-03, E-mail: info@skgmigtu.ru , Gegelashvili@mail.ru .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) www.skgmigtu.ru .

Автореферат разослан «15» мая 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
профессор, доктор технических наук



М.В. Гегелашвили

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Анализ мирового потребления твёрдых полезных ископаемых свидетельствует о его постоянном росте. Открытым способом добывается более 50 % твердых полезных ископаемых. При этом вовлекаются в разработку запасы на все больших глубинах, что приводит к усложнению горнотехнических условий разработки месторождений открытым способом. Уголь на фоне динамичного развития альтернативных источников энергии, как один из традиционных видов ресурса, по-прежнему является востребованным и в настоящее время останется основным видом топлива в энергетической системе, например, в Азии спрос будет расти в среднем на 0,4% в год на протяжении следующих 10 лет.

В условиях постоянного усложнения влияния горно-геологических, горнотехнических, природно-климатических и социальных факторов повышение экономической эффективности и безопасности разработки месторождений угля открытым способом требует разработки новых принципов проектирования горнотехнических систем на базе внедрения инновационных открытых геотехнологий, при этом качественно изменяются значения конструктивных и технологических параметров открытых горных работ.

Мировые достижения машиностроения позволяют обеспечить высокую степень механизации горных работ на разрезах на всех этапах разработки месторождения. В настоящее время многие предприятия открытой добычи полезных ископаемых вступили в фазу развития, которая, помимо прочего, характеризуется техническим перевооружением – обновлением парка оборудования, совершенствование систем управления производством. За последние 15 лет глубина открытых работ в филиалах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» увеличилась в среднем на 40 м и достигла 227 м, при максимальной глубине 280 м на «Бачатском угольном разрезе». При этом возросли крепость вмещающих пород, дальность транспортирования, что потребовало осуществления ускоренного технического переоснащения экскаваторно-автомобильного парка с увеличением емкости ковша экскаватора и вместимости кузова самосвала. Выбор выемочно-погрузочной техники занимает важное место в технологическом процессе добычи угля открытым способом.

Эффективность добычи угля на разрезах в значительной степени предопределяется качеством подготовки горной массы к экскавации, которое оценивается, в частности, гранулометрическим составом, размером среднего куска, коэффициентом разрыхления и параметрами развала взорванной горной массы. Поэтому совершенствование существующих и разработка новых принципов и методов обоснования рациональных параметров взрывной подготовки массива горных пород, позволяющих обосновать условия эффективной работы экскаваторов увеличенной емкости ковша и автосамосвалов повышенной грузоподъемности является важной задачей современной горной науки. Выполнение исследования актуализируется необходимостью устранения накопленных противоречий между возможностями высокопро-

изводительной техникой ведения открытых горных работ, технологиями ее применения и необходимостью изыскания условий, реализующих технические возможности высокопроизводительного оборудования.

Целью исследования является обоснование рациональных параметров взрывной подготовки массива горных пород к выемке, соответствующих условиям эффективной работы экскаваторов с повышенной емкостью ковша (свыше 30 м³) на разрезах Кузбасса.

Идея работы заключается в определении рациональных параметров взрывной подготовки массива горных пород к выемке на крупных разрезах Кузбасса на основе выявления закономерностей влияния конструктивных и технологических показателей ведения буровзрывных работ на гранулометрический состав взорванной горной массы, определяющий эффективность работы экскаваторов с повышенной емкостью ковша в комплексе с автосамосвалами повышенной грузоподъемности (свыше 220 т).

Для достижения установленной цели исследования были сформированы и впоследствии реализованы следующие **задачи**:

- анализ опыта развития горных работ в перспективе технического переоснащения крупных разрезов Кузбасса;

- анализ влияния параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных уступов к выемке на характеристики гранулометрического состава взорванной горной породы;

- оценка влияния качества подготовки горной массы на технико-экономические показатели работы экскаваторов с повышенной емкостью ковша в комплексе с автосамосвалами повышенной грузоподъемности;

- разработка алгоритма и экономико-математической модели функционирования крупных разрезов Кузбасса для выбора рациональных параметров буровзрывных работ на вскрышных уступах увеличенной высоты и обеспечения эффективной работы экскаваторов большой единичной мощности в комплексе с автосамосвалами повышенной грузоподъемности;

- разработка технологических рекомендаций по совершенствованию процесса взрывной подготовки вскрышных пород к выемке на разрезах Кузбасса и оценка их экономической эффективности.

Объекты исследования: технологии и параметры буровзрывной подготовки горных пород к выемке экскаваторами с повышенной емкостью ковша на разрезах Кузбасса.

Предмет исследования: параметры буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке, обеспечивающие требуемое качество взрывной подготовки массива при применении экскаваторов с повышенной емкостью ковша в комплексе с большими автосамосвалами.

Методология и методы исследования. Достоверность выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе, подтверждает применение комплекса методов исследования: обобщение результатов ранее выполненных работ; анализ опыта разработки вскрышных пород на крупных угольных разрезах; статистический анализ технико-технологических показателей работы горного и транспортного оборудования; оценка влияния параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных уступов к выемке на характеристики гранулометрического состава взорванной горной массы; опытно-промышленные производственные эксперименты в натуральных условиях; методы прикладной математики и математической статистики; экономико-математическое моделирование, имитационно-математическое моделирование, обработка результатов методами математической статистики.

Основу теоретической и методической базы составили авторитетные мнения и экспертные заключения, отраженные в различных диссертационных работах, методических исследованиях, научных публикациях, отраслевых журналах, выступлениях на тематических конференциях и пр.

Информационно-эмпирическая база исследования была сформирована на основе обобщения данных при разработке месторождений Кузбасса.

Положения, выносимые на защиту. Защите подлежат следующие результаты, полученные в рамках данного научного исследования:

1. Для обеспечения эффективной работы экскаваторов с повышенной емкостью ковша (свыше 30 м³) необходим мониторинг качества подготовки взорванной горной массы по всему сечению развала, основанный на оценке гранулометрического состава в режиме реального времени.

2. Экспериментальные зависимости изменения плотности горных пород в ковше экскаватора, времени черпания и цикла экскавации, а также производительности экскаватора, оснащённого ковшом повышенной емкости, от средневзвешенного размера кусков раздробленной горной массы позволяют определить рациональные энергетические и технологические показатели буровзрывных работ, что обеспечивает рост технико-технологических показателей работы экскаваторов-погрузчиков и горно-транспортных комплексов на угольных разрезах Кузбасса.

3. Переход вскрышных уступов на двоякую высоту обеспечивает повышение качества дробления горной массы при сокращении среднего размера куска на 20 %, что способствует росту производительности экскаваторов при взрывании горной массы двумя подступами на 15% и производительности транспортных средств повышенной грузоподъемности на 10%.

Научная новизна диссертационного исследования

1. Установлена закономерность изменения рационального качества взрывного дробления вскрышных пород от глубины заложения, конструкции заряда и типа применяемого взрывчатого вещества, параметров сетки скважин, позволяющая определить оптимальный удельный расход ВВ при ведении взрывных работ на вы-

соких уступах, что обеспечивает рост производительности горнотранспортного оборудования.

2. Экономико-математическая модель выбора параметров буровзрывных работ при применении экскаваторов с повышенной емкостью ковша, отличающаяся учетом энергетических характеристик современных взрывчатых веществ, средств инициирования и технических характеристик экскаваторов и большегрузных самосвалов, использование которой позволяет выбрать рациональные параметры буровзрывных работ на вскрышных уступах повышенной высоты и повысить эффективность работы экскаваторов с повышенной емкостью ковша, работающих в комплексе с автосамосвалами повышенной грузоподъемности.

3. Установлена область оптимальной приведенной глубины заложения заряда, которая лежит в интервале $h_{пр} = 0,9-1,1 \text{ м/кг}^{1/3}$ и зависит от требуемых значений среднего размера куска взорванной горной массы, объема воронки выброса и среднего расхода ВВ для всех применяемых типов взрывчатых веществ, не зависимо от их вида

Личный вклад автора заключается в постановке целей и задач исследования; формулировании основной идеи, организации сбора и в обработке результатов натурных замеров натурных замеров гранулометрического состава горной массы и хронометражных наблюдений, разработке структуры модели выбора параметров взрывной подготовки массива к выемке, в обобщении результатов исследования, формулировании выводов и рекомендаций.

Практическая ценность работы заключается в использовании выводов, рекомендаций и методических положений диссертации при выборе рациональных параметров буровзрывных работ на вскрышных уступах повышенной высоты для условий угледобывающих предприятий, что позволяет повысить эффективность работы экскаваторов с увеличенной емкостью ковша в комплексе с автосамосвалами большой грузоподъемности.

Реализация выводов и рекомендаций. Основные положения диссертационной работы нашли эффективное промышленное применение на крупных разрезах Кузбасса.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные идеи и принципы диссертационной работы докладывались на научных семинарах, научно-технических советах, международных конференциях: Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН (г. Москва, 2019-2011гг.), ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск, 2019-2021гг.), «Неделя горняка-2021».

Публикации. Результаты проведенных исследований были опубликованы в 7 научных работах, в том числе 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключительных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы, насчитывающего 202 наименования. Работа изложена на 163 страницах машинописного текста, содержит 37 таблицы и 30 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу особенностей горно-геологических и горнотехнических условий освоения угольных месторождений Кузбасса, тенденций развития открытой угледобычи и изменения типоразмера парка выемочно-погрузочной и горнотранспортной техники, систематизации нормативно-правовые требования и ограничений в проектировании буровзрывных работ на угольных разрезах, а также методов и средств управления качеством буровзрывной подготовки пород к выемке.

Значительный вклад в научное обоснование параметров технологии буровзрывной подготовки пород к выемке внесен в работах ученых: А.И. Арсентьев, К.Ю. Анистратов, Ю.И. Анистратов, В.А. Галкин, Н.Г. Домбровский, П.Э. Зурков, Н.В. Мельников, Н.Н. Мельников, М.Г. Новожилов, В.В. Ржевский, Б.П. Тартаковский, П.И. Томаков, К.Н. Трубецкой, Г.А. Холодняков, В.С. Хохряков, М.И. Щадов, Б.П. Юматов, В.Л. Яковлев, И. Андреева, Н.Г. Домбровский, Т.И. Красникова, А.Г. Морозов, Р.Ю. Подэрни, В.И. Русихин, В.А. Хажиев., А.И. Шадрин, Д.А. Шибанов и многих других отечественных и зарубежных авторов. Проведенные ранее исследования, практический опыт, анализ проектных и научных решений свидетельствует, что на повышение эффективности работы угольных разрезов влияют следующие факторы: горно-геологические, погодно-климатические условия, качество подготовки забоя и горной массы, организация ведения горных работ, управление экскаваторами, что является одной из наиболее важных, актуальных и сложно решаемых задач.

При этом отсутствуют решения по обоснованию эффективной работы экскаваторов с увеличенной емкостью ковша на разрезах Кузбасса и определения рациональных параметров взрывной подготовки массива горных пород к выемке.

В настоящее время на разрезах Кузбасса наблюдается два основных направления совершенствования выемочно-погрузочных работ: применение экскаваторов с увеличенной емкостью ковша в сочетании с большегрузными автосамосвалами и масштабное внедрение обратных гидравлических лопат. Технически достижимый уровень производительности экскаватора определяется условиями работы, типом выемочной техники и совокупно реализуется через параметры экскавации. Поэтому для оптимизации работы экскаваторно-автомобильного комплекса важное значение приобретает обоснование параметров буровзрывной подготовки пород к выемке экскаваторами с ковшом большой емкости.

Анализ состояния изученности проблемы позволил сформулировать цель, задачи и определить методы исследований.

Во второй главе диссертации изучен механизм разрушения горных пород, исследованы показатели и методы определения качества взрывной подготовки в условиях применения экскаваторов с увеличенной емкостью ковша, а также ограничения объема взорванной горной массы по условиям негативного воздействия взрыва на массив горных пород и охраняемые объекты, обоснована целесообразность применения различных типов взрывчатых веществ и изменение высоты уступа для максимального коэффициента заполнения ковша за один цикл черпания экскаваторов с увеличенной емкостью ковша.

Изучение механизма разрушения горных пород позволило установить, что повышение эффективности использования энергии взрыва зарядов ВВ при взрывании уступов, высотой до 30 м, достигается за счет снижения диссипативных потерь и факторов, влияющие на характер и качество разрушения массива горных пород. Принципиальное значение имеет количество энергии взрыва зарядов ВВ, затрачиваемой на разрушение пород ударной волной и расходуемой на работу разрушения энергии расширяющихся газов. Между воздействием ударной волны и расширяющихся газов проявляется определенная последовательность, зависящая от ряда характеристик заряда и взрывающей среды. Для повышения степени использования энергии взрыва необходимо рационально использовать сочетание этих энергий. Каждая из двух составляющих влияет на характер взрывающего массива, который зависит также и от свойств массива горных пород, нагрузки на заряд (высота уступа, количество обнаженных поверхностей) и параметров заряда. Установлено, что ударная волна обуславливает качественные, а расширяющиеся газы взрыва - количественные характеристики разрушающего действия колонкового заряда ВВ. В работе предложены способы управления энергией взрыва при ведении взрывных работ при высокоуступной технологии, создавая эффективный режим отбойки и дробления горных пород. Данные способы предусматривают регулирование: энергии взрыва за счет изменения граничных условий; параметрами взрывного импульса и управление напряженно-деформированным состоянием массива горных пород.

В условиях высокоуступной технологии при использовании экскаваторов с увеличенной емкостью ковша оценка параметров взрывной подготовки массива, степени и качества дробления пород, а также типа применяемых при взрыве взрывчатых веществ проводилась с использованием следующих методов проведения экспериментов:

- модельные испытания, в том числе включая прозвучивание кернов и монолитных кубиков горных пород;
- полупромышленные испытания на разрезах Кузбасса, включая Талдинский АО «УК «Кузбассразрезуголь»;
- промышленные эксперименты на разрезах Кузбасса, включая Талдинский угольный разрез АО «УК «Кузбассразрезуголь».

В соответствии с целью диссертации критериями при оценке взрывов приняты качество дробления взорванной горной массы и критические скорости смещения горных пород при взрыве.

Качество взрывания горных пород характеризуется степенью их дробления, которое обычно оценивается критериями кусковатости. Критерии кусковатости могут быть простыми, если используется численный показатель и сложными, если используется комплекс из нескольких показателей. В зависимости от целевого назначения и применяемого способа измерений в качестве критерия кусковатости, как правило, используют: выход негабарита или гранулометрический состав взорванной горной массы.

В работе для вскрышных экскаваторов, применяемых на Галдинском угольном разрезе АО «УК «Кузбассразрезуголь» установлено, что максимально допустимый размер взрывающего куска соответствуют:

- для экскаваторов САТ-385 – 1,3 м.
- для экскаваторов ЭКГ-15 – 1,8 м;
- для экскаваторов ЭКГ-18Р – 1,9 м.

Показатель выхода негабарита рассматривается как критерий оценки технологичности взрывных работ и их соответствия поставленным производственным целям, а не в виде критерия оценки качества дробления.

В диссертации доказано, что именно гранулометрический состав взорванных пород наиболее полно отражает качество взрывного дробления, определяемое ситовым анализом (грохочением), фотопланометрическим методом, а также непосредственными замерами по поверхности. Ситовый анализ является наиболее точным методом определения гранулометрического состава, но он весьма трудоемок и требует значительных затрат на сооружение специальных установок для грохочения и устройств для взвешивания замеров выхода отдельных фракций.

На основании приведенных значений среднего (медианного) куска взорванных пород построены кривые распределения и накопленного выхода для двух вариантов параметров БВР и при среднем размере структурного блока в массиве $\mu_{cp} = 0,6$ и $\sigma = 0,85$, а соответственно и значений среднего (медианного) куска взорванной горной массы. На основе теоретических кривых распределения для БВР с диаметрами скважин 216 и 270мм построены гистограммы гранулометрического состава песчаника ($f=9$) в развале (рис. 1).

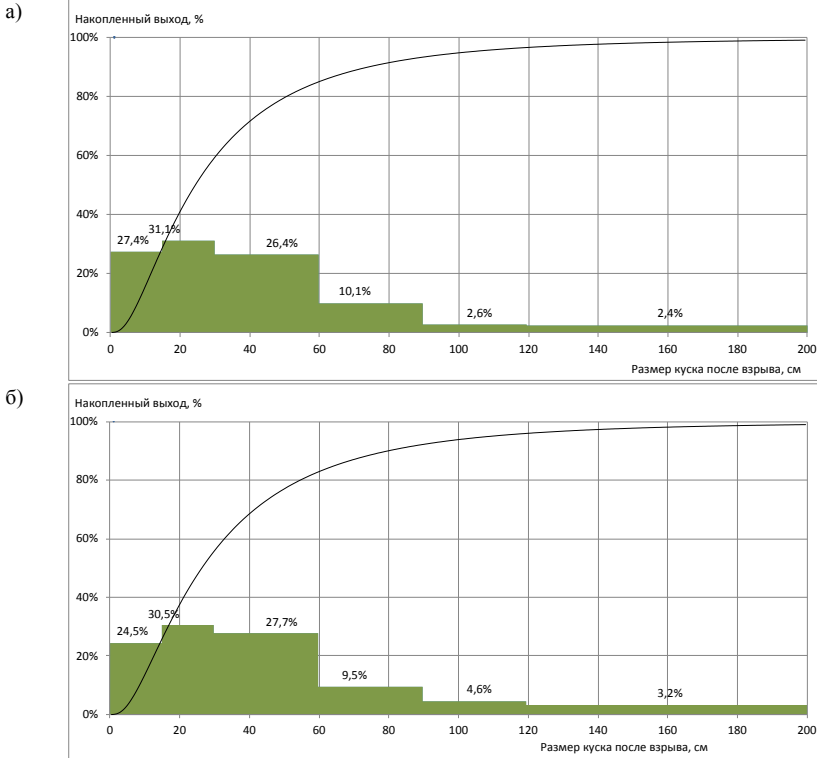


Рисунок 1 – Распределение гранулометрического состава взорванных пород при диаметре скважин 216 мм (а) и 270 мм (б)

В результате анализе гранулометрического состава взорванной горной массы установлено, что при взрывании скважин диаметром 216 мм расчётное количество кусков крупных фракций – более 120 см составляет 2,4%, что является допустимой долей негабарита. При взрывании скважин диаметром 270 мм расчётное количество кусков более 120 см составляет 3,2%. И в первом, и во втором случае выход негабарита не превышает допустимую величину 5%. Если исключить негабаритные фракции из расчета и принять оставшиеся за 100%, то данная величина будет характеризовать теоретическое распределение гранулометрического состава горной массы, отгружаемой на дробильно-сортировочную фабрику или в отвал.

На основе теоретического распределения гранулометрического состава горной массы рекомендуется следующая кусковатость (таблица 1).

Таблица 1 – Теоретическое распределение гранулометрического состава горной массы при взрывании скважин диаметром 216 и 270 мм

Диаметр скважин, мм	Выход фракций (%), крупностью, мм				
	0 – 15	15 – 30	30 – 60	60 – 90	60 – 120
216	30	30	30	10	-
270	25	30	30	-	15

В условиях применения высокоуступной технологии для энергетической оценки скважинных зарядов различной мощности и глубины заложения допустимо применение метода энергетического подобия при определении критических скоростей смещения горных пород для их разрушения, поскольку расстояния до обнаженных поверхностей значительно и энергии продуктов расширения газов недостаточно для разрушения массива, особенно слабо трещиноватого, то разрушающая энергия переходит в волны сжатия и растяжения.

В работе доказано, что переход на высокоуступную технологию требует корректировку параметров буровзрывных работ с использованием методов управления энергией взрыва с целью повышения качества дробления пород. Выход негабарита увеличивается вследствие роста высоты уступа и диаметра скважины. При этом структура массива определяет качество взрывных работ. Установлено, что склонность пород к хрупкому разрушению оценивается коэффициентом грунтовых условий, величина которого для пород Талдинского угольного разреза варьирует в диапазоне $K_v = 9,5 \div 12,3 \text{ м/с(м/кг}^{-1/3})^v$. Коэффициент грунтовых условий необходимо учитывать при оценке влияния негативных факторов, ограничивающих объем массового взрыва.

Поражающими факторами при ведении взрывных работ являются разлет кусков породы при взрывании зарядов рыхления оценка включает разлет отдельных кусков породы при взрывании на сброс (выброс), сейсмическое действия и ударно-воздушно волновое воздействие.

В качестве критерия сейсмической опасности, связанного с повреждениями зданий и сооружений, в работе принята максимальная (пиковая) скорость колебаний земной поверхности в основании охраняемых объектов. Данный критерий показал наиболее высокую корреляцию с повреждением зданий по сравнению с характеристиками максимальных ускорений или смещений массива горных пород.

В диссертации, для прогнозирования скорости колебаний использовались сейсмограммы девяти массовых опытных промышленных взрывов, проведенных на Талдинском поле филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез», проведенных в 2019 г. (мощность применяемых ВВ указана в тортиловом эквиваленте, а общая масса ВВ в натуральную величину) (рис. 2):

- два взрыва 13.08.2019 $Q_{BB1} = 176742/183540 \text{ кг}$; $Q_{BB2} = 184960/189434 \text{ кг}$;
- два взрыва 23.09.2019 $Q_{BB1} = 117680/136344 \text{ кг}$; $Q_{BB2} = 192692/203508 \text{ кг}$;
- два взрыва 01.10.2019 $Q_{BB1} = 49852/64687 \text{ кг}$; $Q_{BB2} = 125780/161531 \text{ кг}$;
- один взрыв 16.10.2019 $Q_{BB1} = 112153/108086 \text{ кг}$;
- один взрыв 22.10.2019 $Q_{BB1} = 214260/203506 \text{ кг}$.

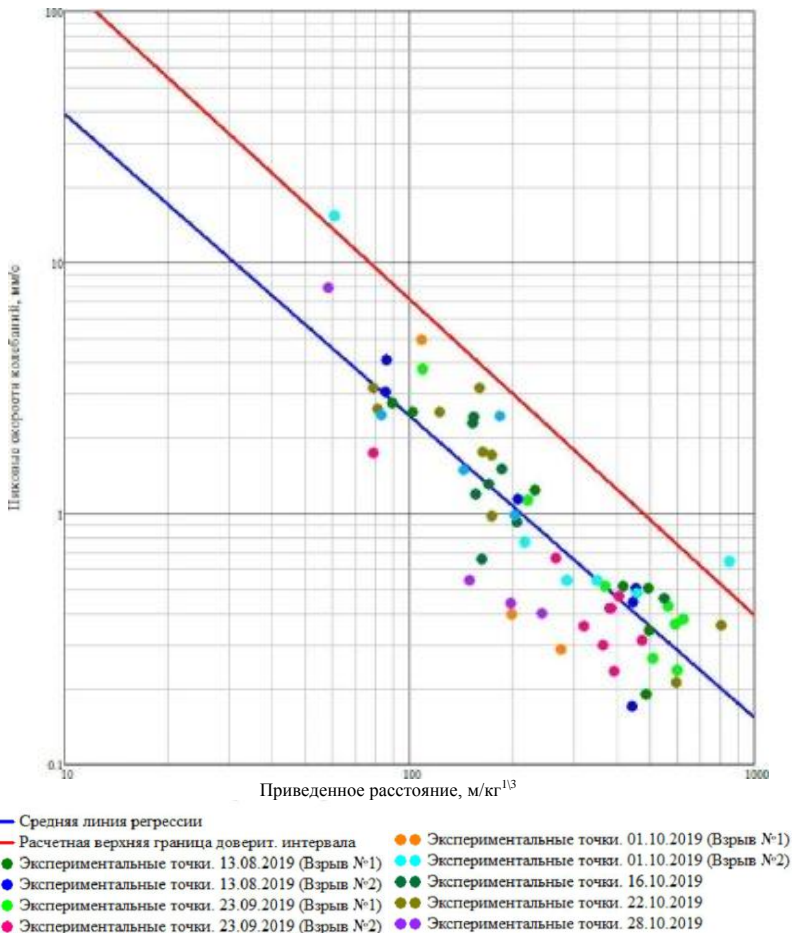


Рисунок 2 – Зависимости максимальных (пиковых) скоростей колебаний массива от приведенного расстояния для экспериментальных массовых взрывов

Для оценки параметров использовался 4-х каналный прибор Вибран-3.0, изготовленный и прокалиброванный ОАО НПП «Интерприбор» г. Челябинск. Датчики устанавливались на массивную металлическую панель, к которой крепились с помощью магнитных устройств. Технические характеристики Вибран-3.0.

В результате исследований определены минимальные безопасные расстояния при взрывах в филиале АО «УК «Кузбассразрезголь» «Талдинский угольный разрез», рассчитанные по методике АРБУСВ (Автоматизированный расчёт безопасных условий сеймики взрывов).

Доказано, что при переходе на высокоуступную технологию основными негативными факторами являются сейсмическое и ударное воздушно волновое воздействие. Радиус поражения при производстве БВР зависит от массы заряда в замедляемой группе. Ограничивающим фактором по заданной массе заряда в блоке является

содержание ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода. Определение оптимальных параметров буровзрывных работ необходимо осуществлять с учетом применяемых типов взрывчатых веществ.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует единая научно-методическая база определения оптимальных параметров БВР для эффективной реализации высокоуступной технологии. На практике это приводит к негативным результатам: не проработка подошвы уступа и не равномерный гранулометрический состав при высоком выходе негабарита (рис. 3).

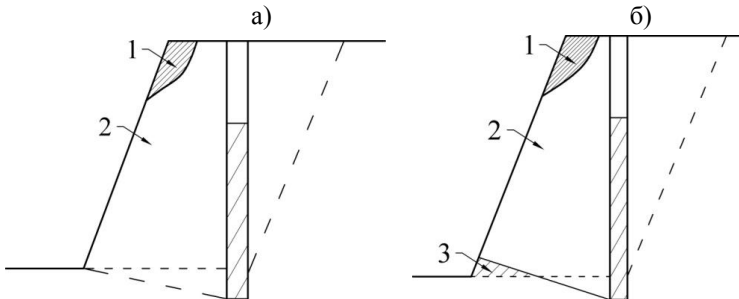


Рисунок 3 – Зоны регулируемого и нерегулируемого дробления при взрывании скважинных зарядов при высоте уступа до 15 м (а) и более 15 м (б): 1 – нерегулируемое дробление с повышением выхода негабарита; 2 – регулируемое равномерное и неравномерное дробление; 3 – не проработка подошвы уступа с образованием порогов

На практике для снижения указанных негативных последствий БВР предложены следующие мероприятия (рис. 4):

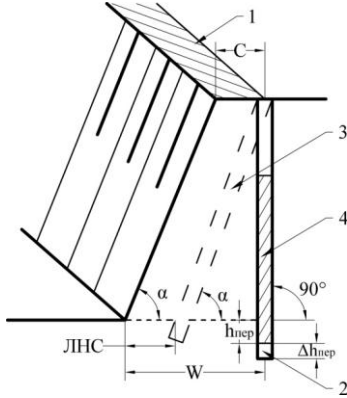
- приближение первой скважины к верхней бровке на минимально возможное расстояние, исходя из технических характеристик бурового станка;
- увеличение перебура;
- изменением угла наклона скважин к горизонту;
- регулирование взрывного импульса.

В условиях угольных разрезов, несмотря на значительный набор технических мероприятий, направленных на повышение качества дробления при высокоуступной технологии, достичь требуемых показателей качества дезинтеграции пород зачастую не представляется возможным, либо становится экономически не эффективным.

С целью обеспечения требуемых показателей взрывной подготовки на уступах высотой более 15 м предложено использовать принципы регулирования плотностью эмульсионными взрывчатыми веществами в процессе заряжания скважин.

Моделирование изменения плотности по длине заряда проводилось на ЭВВ «Сибирит-1200». Согласно ТУ 7276-019-05608605-2005 плотность «Сибирит-1200» изменяется в диапазоне от 0,8 до 1,25 кг/м³ в зависимости от процесса газогенерации.

Однако, при проектировании параметров БВР принимается среднее значение плотности равное $1,1 \text{ кг/м}^3$.



c – минимально допустимое рассояние от верхней бровки уступа до скважины; ЛНС – линия наименьшего сопротивления; W – линия сопротивления по подошве; $h_{пер}$ – величина перебура скважины ниже отметки подошвы уступа; $\Delta h_{пер}$ – увеличение перебура для качественной проработки подошвы уступа

Рисунок 4 – Схема к реализации технических мероприятий для повышения качества взрывной подготовки пород при высоте уступа более 15 м

Современные смесительно-зарядные машины в процессе заряжания скважин на основе программного управления способны обеспечить регулирование режима смешивания эмульсии и газогенерирующей добавки (нитрита натрия), что позволяет достичь требуемой плотности в соответствующей части по всей длине колонки скважинного заряда. При этом необходимо учитывать, что в условиях высоких уступов в процессе заряжания происходит естественное гравитационное уплотнение эмульсионных взрывчатых веществ в нижних слоях заряда, что положительно сказывается на проработке подошвы уступа (рис. 5).

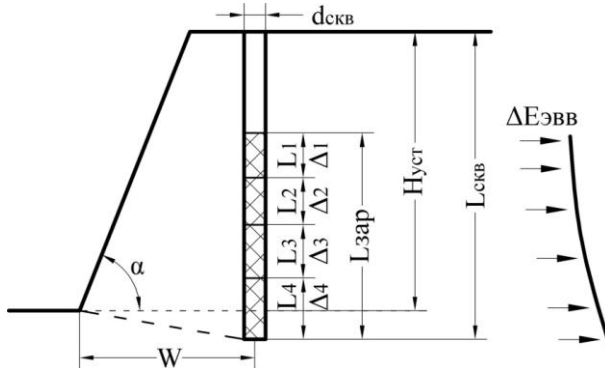


Рисунок 5 – Схема для расчета плотности по длине скважинного заряда ЭВВ и эпюра распределения энергии взрыва: W – линия сопротивления по подошве, м; α – угол откоса уступа, градус; $d_{скв}$ – диаметр скважины, м; L_1, L_2, L_3, L_4 – длины участков колонки заряда с дифференцированной плотностью соответственно $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$; $L_{зар}$ – длина колонки заряда ВВ, м; $H_{уст}$ – высота уступа, м; $L_{скв}$ – длина скважинного заряда, м; $\Delta E_{эвв}$ – изменение энергии ЭВВ по длине скважинного заряда

В качестве ограничивающего критерия формирования дифференцированной плотности заряда принят градиент плотности эмульсионного взрывчатого вещества, величина которого на рассматриваемом участке длины колонки заряда должна быть постоянной.

Доказано, что при переходе на высокоуступную технологию, основными негативными факторами являются сейсмическое и ударное воздушно волновое воздействие. Радиус поражения при производстве БВР зависит от массы заряда в замедляемой группе. Ограничивающим фактором по массе заряда в блоке является содержание ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода. Определение оптимальных параметров буровзрывных работ необходимо осуществлять с учетом типа взрывчатых веществ.

Третья глава посвящена разработке методики определения параметров технологии буровзрывной подготовки пород к выемке экскаваторами с увеличенной мощностью ковша, учету влияния условий заглубления скважинных зарядов на качество взрывного дробления горных пород, исследованию влияния удельного расхода ВВ на себестоимость выемочно-погрузочного комплекса и обоснованию рациональных параметров буровзрывных работ, обеспечивающих требуемые показатели качества дробления пород для выемочно-погрузочного комплекса с экскаваторами с увеличенной мощностью ковша.

В современных экономических условиях повышение эффективности угледобывающего предприятия достигается увеличением производственной мощности разреза за счет применения высокопроизводительного горнотранспортного оборудования, и, как следствие, перехода на высокоуступную технологию с высотой уступов 15 м и более.

В этом случае процесс буровзрывной подготовки горных пород к выемке необходимо рассмотреть с точки зрения технологичности, качества и безопасности. При увеличении высоты уступа до 15 м и более, бурение первого ряда скважин не всегда обеспечивает условие безопасного бурения, так как расчетные значения линии сопротивления по подошве не удовлетворяют условию безопасного бурения первого ряда скважин. Для выполнения данного ограничения рекомендованы следующие меры производства буровзрывных работ:

- применение скважин большего диаметра;
- применение котловых зарядов (сложность в создании котловых полостей, неравномерность дробления) или механических расширений по длине скважины, что приводит к повышенному расходу материалов при бурении первого ряда скважин;
- применение наклонных скважин, пробуренных параллельно откосу уступа; при этом возникает сложность в обеспечении сохранности наклонных скважин при больших объемах буровзрывных работ, а также проблемы заряжания и монтажа взрывной сети, особенно при отсутствии средств механизации;

- увеличение энергии заряда ВВ за счет выбора типа ВВ и повышения их удельного расхода;
- применение парно-сближенных скважин, что предполагает повышенный расход материалов при бурении первого ряда скважин.

Исследованиями свойств горных пород Талдинского угольного разреза установлено, что критические скорости смещения массива, при которых происходит разрушение среды, находятся в диапазоне от 1 до 22 м/с, приведены на рис. 6.

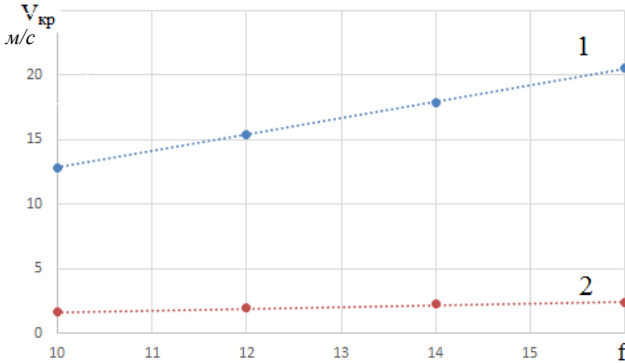


Рисунок 6 – Зависимость критических скоростей смещения массива от крепости пород при действии: 1 – сжимающих напряжений; 2 – растягивающих напряжений

В зависимости от крепости горных пород и соответствующей ей критической скорости смещения массива определено оптимальное эквивалентное приведенное расстояние при взрыве (рис. 7).

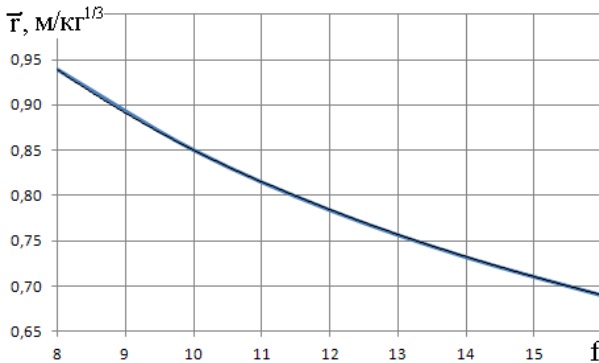


Рисунок 7 – Зависимость эквивалентного приведенного расстояния от крепости пород

С учетом крепости горных пород и соответствующей ей критической скорости смещения массива определена оптимальная величина приведенной линии сопротивления по подошве уступа (м/кг³) для разных типов ВВ (рис. 8).

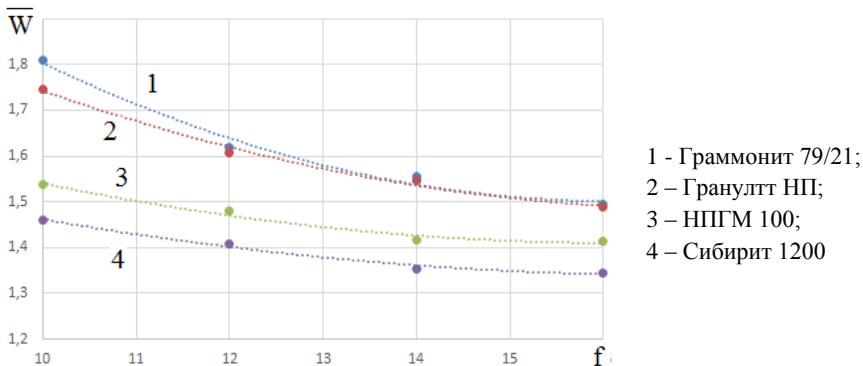


Рисунок 8 – Зависимость приведенной ЛСПП от коэффициента крепости пород

На основании результатов исследований введено понятие оптимальной глубины заложения заряда ВВ, при которой происходит эффективное разрушение массива при минимальном разлете кусков разрушения и минимуме потерь энергии на звуковую волну.

Установлены зависимости среднего размера куска, объема взорванной горной массы и удельного расхода ВВ от приведенной глубины заложения скважинных зарядов для различных типов взрывчатых веществ (рис. 9). Результаты исследований показали наличие области оптимальной приведенной глубины заложения ($h_{opt} = 0,9-1,1$ м/кг^{1/3}), зависящей от среднего размера куска взорванной горной массы, объема воронки выброса и среднего расхода ВВ, независимо от применяемых их типов.

Увеличение высоты вскрышного уступа с 15 м до 30 м при использовании экскаваторов с большой емкостью ковша оказывает существенное влияние на все технологические процессы открытых горных работ, особое место в котором занимают работы по буровзрывной подготовке пород к выемке.

Удельный расход взрывчатых веществ является одним из основных параметров, оказывающим наиболее значительное влияние на технико-экономические показатели буровзрывных работ, в первую очередь, на операционные затраты. В условиях открытой разработки уступов высотой 10-15 м при сложившейся технологии буровзрывных работ величина удельного расхода взрывчатого вещества, определяющая энергетические затраты на дробление, является наиболее эффективным практическим средством управления степенью дробления горных пород. Через качество взорванной горной массы данный параметр воздействует и на показатели выемочно-погрузочных (экскаваторных) работ, транспортирования, механического дробления и измельчения горной массы, определяя эффективность всего горно-технологического комплекса.

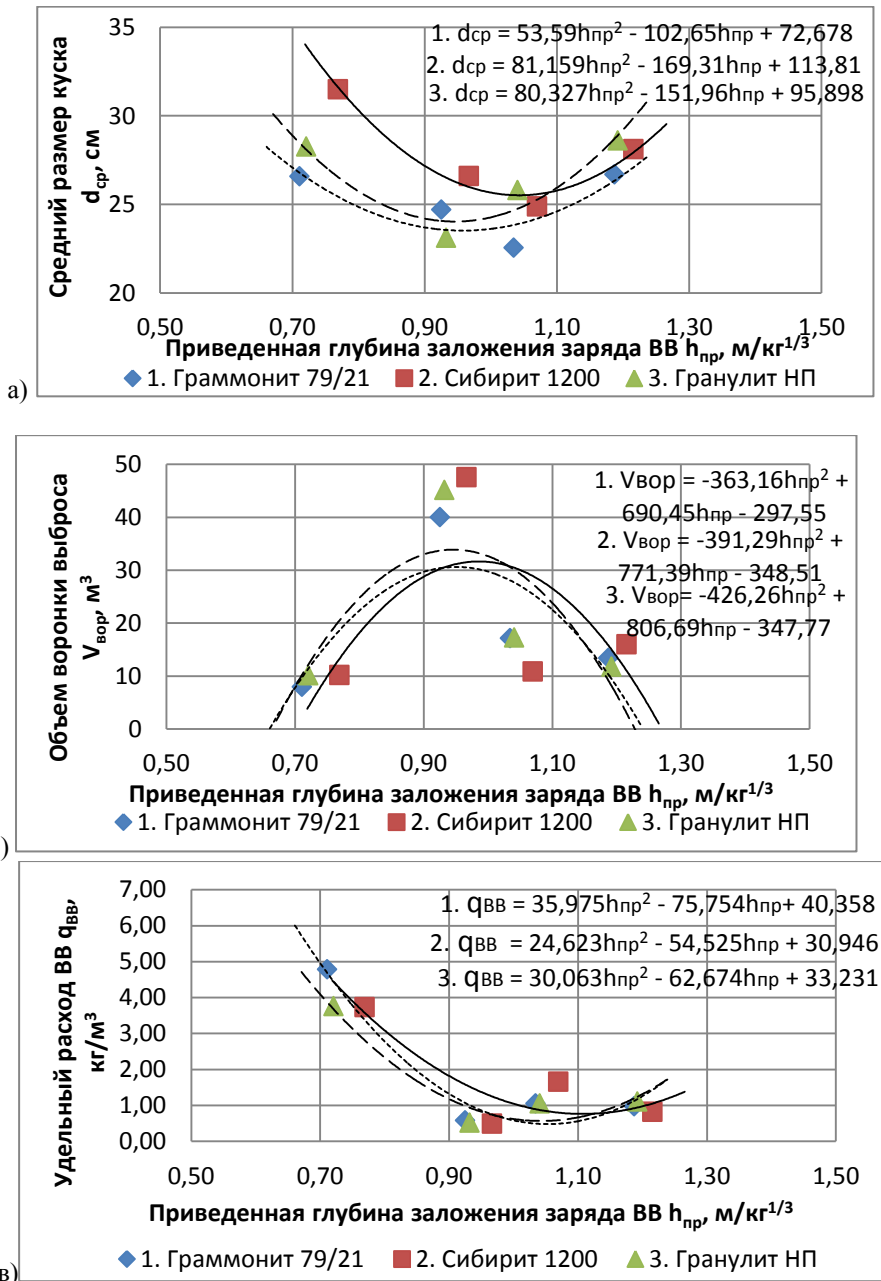


Рисунок 9 – Зависимости среднего размера куска (а), объема взорванной горной массы (б) и удельного расхода ВВ (в) от приведенной глубины заложения скважинных зарядов для различных типов взрывчатых веществ.

Исследования влияния диаметра скважинного заряда при применении экскаваторов с большой емкости ковша на рациональный удельный расход ВВ представлены в таблице 2. Наблюдается обратно пропорциональная зависимость изменения удельного расхода в зависимости от увеличения конструктивных размеров ковша применяемого выемочного оборудования

Таблица 2 –Типы экскаваторов, применяемые на Талдинском угольном разрезе при выемке вскрышных пород

Емкость ковша	Типы экскаваторов					
	Прямая мехлопата				обратная гидравлическая лопата, ЭГО	шагающий драглайн, ЭШ
	с нормальным рабочим оборудованием, ЭКГ		с удлиненным рабочим оборудованием, ЭКГ-у (ЭКГ-ус)			
$E, \text{ м}^3$	от 5 до 20	от 20 до 35	56	от 5 до 15	от 5,2 до 28	от 5 до 20

Газодинамическая и волновая картина при производстве промышленных массовых взрывов пород высоких уступов скважинной отбойкой носит чрезвычайно сложный характер. Причинами этого являются как совокупность изменяющихся физико-механических свойств взрываеваемого массива и горно-геологических условий на пути распространения ударных волн сжатия и растяжения, так и характеристики промышленного взрыва, как источника образования продуктов детонации и упругих волн.

Таким образом, ударная волна обуславливает качественное, а расширяющиеся газы взрыва - количественное сторону взрывное воздействия скважинного колонкового заряда ВВ при высокоуступной технологии. Этим действием возможно управлять, создавая эффективный режим отбойки и дробления горных массивов высоких уступов.

С целью определения параметров БВР при высокоуступной технологии ведения горных работ разработан алгоритм обоснования параметров технологии буровзрывной подготовки пород к выемке экскаваторами с повышенной емкостью ковша на разрезах Кузбасса, базирующийся на учете выявленных закономерностей разрушения вскрышных пород при высокоуступной геотехнологии.

В четвертой главе на основании выполненных исследований предложены технологические рекомендации по ведению буровзрывных работ для экскаваторов с ковшом большой емкости на разрезах Кузбасса и дана оценка экономической эффективности их реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, изложено научное обоснование геотехнологических решений по обоснованию параметров технологии буровзрывной подготовки пород к выемке экскаваторами с повышенной емкостью ковша на разрезах Кузбасса, при применении экскаваторов с увеличенной емкостью ковша, что имеет важное значение для безопасного и устойчивого функционирования угледобывающего комплекса России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе обобщения мировой практики повышения эффективности угледобычи систематизированы и разработаны новые геотехнологические решения по повышению эффективности взрывной подготовки пород к выемке в условиях угольных разрезов при использовании экскаваторов с увеличенной емкостью ковша (свыше 30 м^3) и автосамосвалов грузоподъемностью свыше 220 т.

2. Установлено, что механизм разрушения горных пород для высокоуступной технологии подготовки вскрышных пород к выемке при использовании экскаваторов с увеличенной емкостью ковша базируется на принципах управления взрывным импульсом с учетом граничных условий и особенностей напряженного состояния массива горных пород. Основным определяющим параметром, влияющим на эффективность буровзрывных работ, является приведенная глубина заложения скважинного заряда.

3. Установлено, что переход на высокоуступную технологию требует корректировки параметров буровзрывных работ на основе совершенствования методов управления энергией взрыва, при этом вследствие роста высоты уступа и диаметра скважины выход негабарита увеличивается. Выявлено, что склонность пород к хрупкому разрушению оценивается коэффициентом грунтовых условий, величина которого для пород Талдинского угольного разреза варьируется в диапазоне $K_v = 9,5 \div 12,3 \text{ м/с(м/кг}^{-1/3})^v$. Установленное значение коэффициента грунтовых условий должно учитываться при оценке факторов, ограничивающих объем массового взрыва при освоении угольных месторождений Кузбасса.

4. Доказано, что при переходе на высокоуступную технологию, основными негативными факторами воздействия на массив горных пород являются сейсмическое и ударное воздушно-волновое воздействие взрыва. Радиус поражения массива горных пород взрывной волной при производстве БВР зависит от массы заряда в группе замедления. Ограничивающим фактором по массе заряда в блоке является содержание ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода. Объем массового взрыва ограничивается массой заряда во взрывном блоке до 250 т для эмульсионных взрывчатых веществ.

5. Установлены экспериментальные зависимости изменения плотности горных пород в ковше экскаватора, времени черпания и цикла экскавации, а также произво-

дительности экскаватора от средневзвешенного размера кусков раздробленной горной массы, подтверждающие рост технико-технологических показателей работы экскаваторов-погрузчиков и горно-транспортных комплексов на угольных разрезах Кузбасса не менее чем на 20%.

6. В результате проведения опытно-промышленных испытаний по регулированию плотностью заряда эмульсионного взрывчатого вещества подтверждено улучшение показателей качества дробления горных пород и достигнуто снижение выхода негабарита в среднем по блокам на 1,5%, а также полная проработка подошвы уступа при увеличении времени на зарядание блока в 2,5 раза. Доказано, что применение эмульсионных ВВ обеспечивает рост производительности экскаваторов при взрывании горной массы двумя подступами на 15% и производительности транспортных средств повышенной грузоподъемности на 10%.

7. Разработана методика выбора рациональной высоты уступа, которая учитывает качество добываемых полезных ископаемых, взорванной горной массы, типы современных ВВ и средств инициирования. Реализация методики позволит увеличить угол рабочего борта карьера, а также достигнуть рационального соотношения скоростей подвигания и понижения горных работ, что обеспечит повышение экономических показателей разреза. Доказано, что требуемое качество дробления взорванной горной массы при взрывании уступов, высотой 15-30 м, зависит от среднего размера естественного структурного блока, емкости выемочного оборудования (линейных размеров ковша), относительной эффективности применяемого взрывчатого вещества.

8. Определение параметров механических расширителей скважинных зарядов и парно-сближенных скважин при высокоуступной технологии на разрезах Кузбасса основано на принципе автомодельности и предусматривает сравнение критических скоростей смещения массива горных пород и рекомендуемых параметров заряда. Реализация методики на разрезах Кузбасса позволила увеличить выход взорванной горной массы с одного погонного метра скважин, особенно в средне и трудно-взрываемых горных породах, на 15-26% при применении механических расширений скважинных зарядов и на 10-18% при применении парно-сближенных скважин. Это обеспечивается увеличением сетки скважин, как при взрывании на свободную поверхность, так и при взаимодействии смежных зарядов, взрывааемых с замедлением. При этом снижается удельный расход взрывчатых веществ на 8-23% в крупноблочных крепких породах.

9. Результаты исследований позволили определить приведенную глубину заложения заряда $h_{пр} = 0,9-1,1 \text{ м/кг}^{1/3}$, которая зависит от среднего размера куска взорванной горной массы, объема воронки выброса и среднего расхода взрывчатого вещества независимо от применяемых типов ВВ. Исследованиями доказано влияние диаметра скважинного заряда при применении экскаваторов с большой емкости ковша на рациональный удельный расход ВВ, которое имеет обратно пропорциональную зави-

симось изменения удельного расхода в зависимости от увеличения конструктивных размеров ковша применяемого выемочного оборудования.

10. Экономический эффект при реализации предложенных технологических решений по ведению буровзрывных работ для экскаваторов с увеличенной емкостью ковша в условиях Талдинского угольного разреза за счет увеличения сетки скважин, снижения удельного расхода ВВ и применения эмульсионных взрывчатых веществ рассредоточенной конструкции скважинного заряда составил 268,3 млн. руб.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора Пронина В.В.:

В изданиях, рекомендуемых ВАК России:

1. Пронин В.В. Реализация программы проведения экспериментальных взрывов в филиалах АО «УК «Кузбассразрезуголь» на период 2020-2021 гг. / С.В. Кокин, Д.М. Пархоменко, В.В. Пронин, А.В. Бервин // Горная промышленность. 2020. №5. С.44-46.

2. Пронин В.В. Способ повышения качества подготовки пород к выемке при использовании эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах с высокими уступами / И. А. Пыталев, Д. В. Доможиров, Е. Е. Швабенланд, В.В. Пронин // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 62-67. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-62-67.

3. Пронин В.В. Обоснование методики определения оптимальной высоты уступа на угольных разрезах с применением экскаваторов большой единичной мощности / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, В.В. Пронин., А.А. Прохоров // Маркшейдерский вестник. 2021. № 5-6 (144-145). С. 55-61.

4. Пронин В.В. Обеспечение высокого качества взрывной подготовки пород к выемке при открытом способе добычи в сложных горно-геологических условиях и существенном росте масштабов работ / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, А.А. Прохоров, В.В. Пронин // Маркшейдерский вестник. 2021. № 5-6 (144-145). С. 116-121.

5. Пронин В.В. Обоснование области и опыта применения однорядного взрывания в условиях повышенных требований к качеству полезного ископаемого / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, Е.Е. Швабенланд, А.А. Прохоров, В.В. Пронин // Горная промышленность. 2022. № 1. С. 110-115.

Прочие:

6. Пронин В.В. Требования к качеству буровзрывной подготовки горных пород при переходе на экскаваторы с увеличенной емкостью ковша / В.С. Федотенко, В.В. Пронин // XI Международная конференция «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу». Магнитогорск: МГТУ. 2021. С. 88-90.

7. Пронин В.В. Развитие системы управления безопасностью взрывных работ на предприятиях АО «УК «Кузбассразрезуголь» / В.С. Федотенко, С.В. Кокин, Д. Пархоменко, В.В. Пронин // Стандарт качества. С. 110-111.