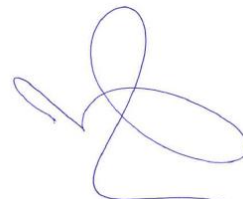


**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.
Носова»**

На правах рукописи



БОРИСЕНКО ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ
ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА НА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ
РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА**

Специальность

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук

Зубков Антон Анатольевич

Магнитогорск - 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 ОБОБЩЕНИЕ ПРАКТИКИ БУРОВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ, ПЕРСПЕКТИВА НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
1.1 Специфика перехода мощных угольных разрезов Кузбасса на применение горнотранспортных комплексов нового поколения	10
1.2 Требования к качеству подготовки вскрышных пород к выемке при применении горнотранспортных комплексов нового поколения.....	19
1.3 Факторы, влияющие на качество дробления горных пород при выполнении вскрышных работ на угольных разрезах	25
1.4 Закономерности изменения показателей эффективности работы погрузочно-транспортных комплексов на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов	33
Выводы по главе 1.....	43
Глава 2 РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА БУРОВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ	45
2.1 Анализ современного состояния и перспективы совершенствования процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород на угольных разрезах Кузбасса.....	45
2.2 Оценка энергетических затрат буровзрывной подготовки в общем энергобалансе выемки вскрышных пород при высокоуступной геотехнологии.....	55
2.3 Исследование и обоснование выбора способов изготовления и доставки эмульсионных взрывчатых веществ на угольных разрезах Кузбасса	62
2.4 Методика выполнения экспериментальных исследований по перспективам внедрения нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса	71
Выводы по главе 2.....	75
Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА МОЩНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА.....	77
3.1 Экспериментальные исследования оценки гранулометрического состава при взрывной подготовке вскрышных уступов на мощных угольных разрезах Кузбасса	77

3.2 Исследование влияния гранулометрического состава взорванных пород вскрыши на продолжительность экскавации во взаимосвязи с коэффициентом наполнения емкости ковша экскаватора и кузова транспортных средств.....	82
3.3 Исследование влияния подпорной стенки на качество подготовки вскрышных пород к выемке при разработке высоких вскрышных уступов	93
3.4 Исследования энергетических параметров буровзрывных работ при применении бурового оборудования нового поколения на мощных угольных разрезах Кузбасса	105
3.5 Разработка методики обоснования параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса при внедрении нового технологического уклада ..	111
Выводы по главе 3.....	114
Глава 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	
4.1 Рекомендации по обоснованию мобильных технологических комплексов изготовления ЭВВ при переходе к новому технологическому укладу в условиях Бачатского угольного разреза.	117
4.2 Рекомендации по повышению качества буровзрывной подготовке при дроблении вскрышных пород в условиях разреза «Кедровский»	123
4.3 Технико-экономическая оценка рекомендаций исследований по повышению производительности выемочного оборудования большой единичной мощности за счет оптимизации параметров БВР в условиях Краснобродского угольного разреза	128
Выводы по главе 4.....	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Анализ состояния минерально-сырьевой базы угольной промышленности России свидетельствует о том, что в современных условиях наибольшие перспективы освоения угольных месторождений связаны с районами Кузбасского угольного бассейна, где работают крупные угольные компании – Сибирская угольная энергетическая компания, «Кузбассразрезуголь» и мн. др. Около 70% запасов полезных ископаемых добываются с применением открытых горных работ. При этом запасы угля Кузбасского бассейна находятся в сложных горнотехнических условиях, характеризуются изменяющейся мощностью угольных пластов и находятся под залеганием мощной толщи вмещающих пород. Поэтому разработка месторождений требует выемки значительных объемов вскрышных пород.

Анализ состояния выемочно-погрузочной и горнотранспортной техники свидетельствует о постоянном росте доли применения экскаваторов с большой единичной мощностью 30 м³ и более, что предъявляет особые требования к состоянию буровзрывной подготовке горных пород. При этом сформированные парки горнотранспортной техники, применяемые на угольных разрезах Кузбасса в полной мере обеспечивают требуемые объемы производительности. Но в современных условиях остро стоит вопрос по увеличению динамики подготовки вскрышных уступов для обеспечения роста производственной мощности разрезов, что обуславливает целесообразность проведения исследований по оптимизации совместной работы погрузочно-транспортного комплекса и параметров буровзрывных работ (БВР). При этом многие горные предприятия, ведущие в современных условиях добычу полезного ископаемого открытым способом, находятся в состоянии технического перевооружения на основе обновления парка горнотранспортного оборудования высокопроизводительной техникой.

Поэтому при внедрении нового технологического уклада актуальным является задача обоснования параметров БВР при подготовке пород вскрыши к выемке для повышения эффективности работы высокопроизводительного

горнотранспортного комплекса, где необходимо устранить накопленные противоречия в научно-методической базе между параметрами открытой геотехнологии и возможностями применяемого высокопроизводительного оборудования.

Цель работы: обоснование параметров БВР при подготовке пород вскрыши к выемке для повышения качества ее дробления и эффективности эксплуатации высокопроизводительного горнотранспортного оборудования при внедрении нового горнотранспортного оборудования на мощных угольных разрезах Кузбасса.

Идея работы: повышение эффективности эксплуатации высокопроизводительного экскаваторно-автомобильного комплекса на мощных угольных разрезах достигается совершенствованием высокоуступной геотехнологии при подготовке пород вскрыши к выемке, обеспечивающей требуемую степень дробления и гранулометрический состав за счет управления энергоемкостью смежных процессов взрывного дробления и выемки, применения подпорной стенки.

Задачи исследования:

- анализ состояния, опыта и тенденций технического перевооружения в условиях разработки крупных угольных месторождений Кузбасса при ведении открытых горных работ;
- анализ параметров буровзрывных работ и характеристик горной массы при внедрении нового горнотранспортного оборудования на угольных разрезах;
- оценка качества подготовки вскрышных пород к выемке при работе высокопроизводительных выемочно-транспортных комплексов;
- оценка энергоемкости буровзрывных работ при высокоуступной геотехнологии;
- разработка методики обоснования параметров буровзрывных работ при применении высокопроизводительных выемочно-транспортных комплексов и высокоуступной геотехнологии;

- разработка рекомендаций по повышению эффективности внедрения оборудования нового поколения на угольных разрезах Кузбасса;
- промышленная апробация рекомендаций и оценка их экономической эффективности.

Объект исследования: технологический комплекс буровзрывных работ на вскрышных уступах

Предмет исследования: параметры буровзрывных работ на вскрышных уступах угольных разрезов.

Методы исследования. В работе применен комплексный метод исследований, включающий: статистический анализ характеристик работы высокопроизводительного выемочно-транспортного комплекса; опытно-промышленные испытания; каркасное и имитационное моделирование смежных технологических процессов подготовки и выемки горных пород; симуляции физических процессов при проведении подтверждающих экспериментов в опытно-промышленных условиях; технико-экономические расчеты.

Положения, выносимые на защиту:

1. Минимальная продолжительность времени черпания экскаватора с увеличенной емкостью ковша (30 м^3 и более) достигается при наличии во фракционном составе подготовленной горной массы не менее 50% кусков среднего размера и не более 2% негабаритов.

2. Достижение рационального фракционного состава подготовленных пород вскрыши обеспечивается за счет использования на буровзрывных работах мобильных технологических комплексов для изготовления эмульсионных ВВ типа «вода в масле» при дифференцировании плотности по колонке скважинного заряда и обосновании оптимальных конструкционных и геометрических параметров БВР.

3. При коэффициенте наполнения ковша экскаватора повышенной емкости (более 30 м^3) не менее 0,85 в комплексе с автосамосвалом увеличенной грузоподъемности (свыше 200 т) оптимальное соотношение

вместимости кузова автосамосвала и емкости ковша экскаватора составляет $V_a/E_k = 3-5$.

4. Повышение качества буровзрывных работ достигается снижением зоны нерегулируемого дробления вскрышных пород при применении высоких уступов с взрыванием на подпорную стенку путем рационального перераспределения энергии взрыва, где максимум расходуется на дробление и минимум на диссипативные потери в виде сейсмического эффекта при оптимальных геометрических параметрах: ширины подпорной стенки, приведенных линии сопротивления по подошве и сетки скважин. В частности, для вскрышных пород III категории по трещиноватости, увеличение ширины подпорной стенки с 5 до 20 м приводит к уменьшению приведенной ЛСПП на 25–27%, приведенной сетки скважин на 18% при снижении средней кусковатости горной массы на 28–30% и сейсмоэффекта в 5–7 раз ($K_{\text{сейсм}}^B = 0,14-0,86$).

Научная новизна диссертационного исследования:

1. Систематизация основных технологических, технических и организационных факторов повышения эффективности процесса подготовки вскрыши угольных разрезах Кузбасса, при внедрении нового горнотранспортного оборудования, учитывающая оценку энергетических затрат буровзрывной подготовки в общем энергобалансе открытой геотехнологии. Установлено, что увеличение энергоемкости с 2 до 5,3 МДж/м³ повышает степень взрывного дробления вскрышных пород I категории по трещиноватости с 1,2 до 1,6; II и III – с 1,8 до 2,6 и с 3,1 до 5,1 соответственно.

2. Установлена параболическая зависимость между фракционным составом горной массы высоких вскрышных уступов и продолжительностью заполнения кузова автосамосвала экскаватором. Средний фракционный состав развала взорванной горной массы составляет 100–150 мм при времени наполнения автосамосвала 2,5 минуты.

3. Классификация современных технологических комплексов по изготовлению эмульсионных составов взрывчатых веществ, учитывающая

энергетические характеристики, сырьевые ресурсы и позволяющая обосновывать конкурирующие варианты при внедрении новых типов ЭВВ и адаптации параметров БВР на различных этапах разработки мощных угольных разрезов Кузбасса.

4. Методика обоснования технологии взрывания на подпорную стенку и параметров БВР на угольных разрезах, базирующаяся на закономерностных изменениях энергетических, конструктивных и геометрических параметров скважинных зарядов в зависимости от требований к качеству подготовки горной массы и условий сейсмической безопасности.

Личный вклад автора состоит в постановке целей и задач исследования; формулировании идеи; организации натурных замеров фракционного состава горной массы и хронометражных наблюдений; разработке методики обоснования параметров взрывной подготовки горных пород к выемке; в обобщении результатов, формулировании выводов и рекомендаций.

Практическая ценность работы заключается в разработке: методики определения оптимальных параметров буровзрывных работ на вскрышных уступах при применении высокопроизводительных выемочно-транспортных комплексов; номограммы для оперативного расчета ширины подпорной стенки при применении высокоуступной геотехнологии; классификации современных технологических комплексов по изготовлению ЭВВ при адаптации параметров БВР на разрезах Кузбасса.

Эффективность технологических решений по обоснованию параметров БВР подтверждена актами внедрения результатов на разрезах «Кедровский» и «Бачатский» АО «УК Кузбассразрезуголь».

Реализация выводов и рекомендаций. Результаты и научно-практические рекомендации использованы в проектах на разрезах Кузбасса: «Кедровский», «Калтанский», «Краснобродский», «Бачатский», «Талдинский», что подтверждено актами внедрения с достигнутым экономическим эффектом. Материалы диссертации использованы в учебном

процессе по дисциплинам: «Технология и комплексная механизация открытых горных работ», «Процессы открытых горных работ», «Технология и безопасность взрывных работ», «Разработка рудных и угольных месторождений», специальности 21.05.04. – Горное дело (ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»).

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения и результаты исследования докладывались на научных семинарах, международных конференциях: XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2023 г.); научно-производственном семинаре по взрывным работам «Технология и безопасность взрывных работ» (г. Екатеринбург, 2023 г.); научно-технических советах АО «Кузбассразрезуголь» (г. Кемерово, 2022-2023 гг.) и ООО «КРУ-Взрывпром» (г. Кемерово, 2022-2023 гг.); научных семинарах ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (Магнитогорск, 2022-2024 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6 научных работах, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 159 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 34 таблицы, библиографический список из 177 наименований и 3 приложения.

Глава 1 ОБОБЩЕНИЕ ПРАКТИКИ БУРОВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ, ПЕРСПЕКТИВА НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Специфика перехода мощных угольных разрезов Кузбасса на применение горнотранспортных комплексов нового поколения

Развитие открытого способа добычи угля сопровождается ростом масштабов производства, увеличением глубины разрезов и коэффициентов вскрыши, уменьшением рабочей зоны, усложнением горно-геологических условий эксплуатации основного технологического оборудования [36, 76, 116, 159, 11, 54, 58, 24, 161, 175, 177]. К основному технологическому оборудованию, применяемому на угольных разрезах, относят буровые станки, экскаваторы, автосамосвалы, подвижные составы железнодорожного транспорта, перегружатели, конвейерные станы, бульдозеры и т.д.

На открытых горных работах с переходом к новому технологическому укладу началось масштабное техническое переоснащение производства и перехода на применение новых технологий [52]. Для наиболее полного и экономичного использования горнотранспортных комплексов при разработке угольных месторождений требуется качественная взрывная подготовка горной массы, представленной углями и вскрышными породами.

На угольных разрезах Кузбасса вскрышные породы представлены аргиллитами, алевролитами, конгломератами и песчаниками с разными физико-механическими свойствами, поэтому необходимая энергия для их дробления, существенно различается. В настоящее время увеличение объемов выемки вскрышных пород привело к применению тяжелых шарошечных буровых станков и, как следствие, к увеличению диаметра скважин, расширению сетки скважин и снижению качества ее буровзрывной подготовки [81].

Для производства буровзрывных работ на разрезах и карьерах при отбойке сухих, частично и полностью обводненных горных пород успешно

применяются водоустойчивые эмульсионные взрывчатые вещества, представляющие собой механическую смесь холодной эмульсии, газогенерирующих добавок и гранул аммиачной селитры [54, 175]. Основное преимущество этой смеси [175] это механизация при изготовлении, транспортировке и зарядке невзрывчатых компонентов ВВ (эмульсии) и сравнительно низкая стоимость изготовления.

Повышению рационального использования пробуренных скважин, а также увеличению КПД дробления способствует применение высокоуступной технологии. Кроме того, исследованиями установлено, что наименьшие затраты на БВР соответствуют высоте уступов 15-45 м, в зависимости от способа взрывания и типа взрывчатого вещества [92, 129, 145].

Наряду с процессом подготовки горной массы, на угольных разрезах совершенствуются и процессы технологии ее выемки и транспортирования [79, 177]. Осуществляется техническое перевооружение: происходит замена электрических экскаваторов типа ЭКГ-5А и ЭКГ-8И на дизельные гидравлические Komatsu PC-1250 ($E_k=6,5 \text{ м}^3$), электрогидравлические Komatsu PC-3000 ($E_k=15 \text{ м}^3$), а также на выемочно-погрузочное оборудование с емкостью ковша 41,3 и 56 м^3 .

АО «УК Кузбассразрезуголь» является крупнейшей угольной компанией по добычи угля разрезами: «Кедровский», «Моховский», «Бачатский», «Краснобродский», «Галдинский» и «Калтанский», где эксплуатируются порядка 270 единиц выемочно-погрузочного оборудования отечественного и импортного производства различных конструкций и марок [56, 62]. При этом экскаваторы типа «мехлопата» составляют наибольшую часть (64,8%), шагающие драглайны – 20,5% и гидравлические экскаваторы – 14,7% [22, 82, 170].

ЭКГ – прямая механическая лопата верхнего черпания, характеризуется наиболее высоким усилием черпания и прочностью рабочего оборудования. Для ЭКГ характерна высокая удельная масса,

которая составляет порядка 39,5–52 т/м³. Допускается возможность ведения выемочных работ в стопорном режиме при обработке негабаритов и при обрушении козырьков [141].

Предприятие АО «УК Кузбассразрезугль» ведет техническое перевооружение выемочно-транспортного комплекса, приобретая новое высокопроизводительное оборудование.

Применительно к разнообразным условиям перспективных месторождений Кузбасса доказана целесообразность и правомерность комплексного обоснования рациональной технологии горного производства, главных параметров мощных экскаваторов и сопряженного автотранспорта, позволяющего получить оптимальные решения с учетом использования экскаваторов во всем диапазоне высот разрабатываемых уступов с применением различных технологических комплексов.

В исследованиях [79, 108] рассмотрена возможность повышения производительности одноковшовых экскаваторов в результате создания новых типов ковшовых рабочих органов путем синтеза технических решений по улучшению транспортирующих функций днища с переходом трения скольжения в трение качения.

Повысить производительность экскаваторов возможно путем использования, прежде всего, рабочих органов рациональных конструкций и параметров [79, 162], что определяется конструктивным совершенством как машины в целом, так и его ковша [37, 93, 112].

Предложенная конструкция ковша представлена на рисунке 1.1 [102], где днище 3 состоит из совокупности роликов 4, вращающихся по оси 5, закрепленных на боковых стенках 2. На рисунке 1,1, б показано положение ковша перед штабелем кусковой горной массы.

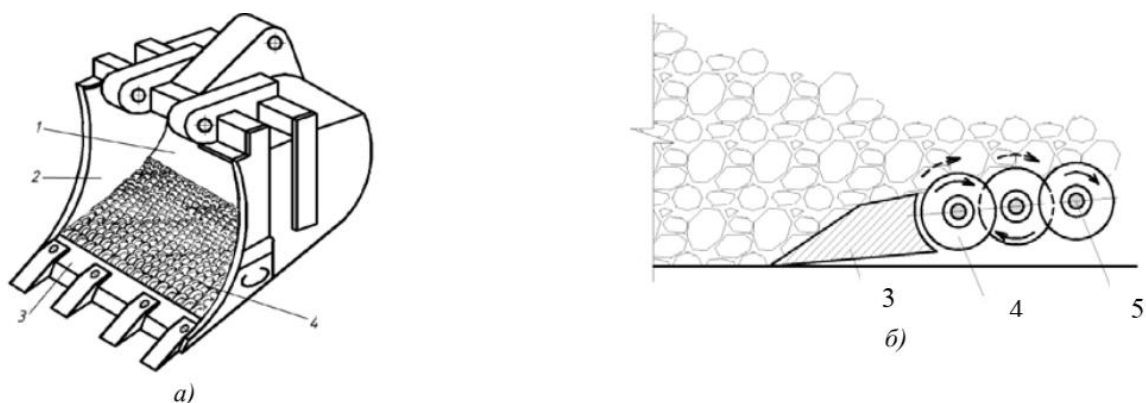


Рисунок 1.1 – Конструкция ковша с конвейерным днищем в виде роликовой поверхности (а) и его положение перед штабелем кусковой горной массы (б):
1 – емкость ковша; 2 – боковые стенки; 3 – днище; 4 – совокупность роликов;
5 – ось вращения

Использование ковша с днищем в виде замкнутой ленты (рисунок 1.2) [103] исключает просыпание и заклинивание горной массы.

Авторы утверждают, что данные конструкции ковшей позволяют существенно повысить производительность экскаваторов за счет снижения сопротивления трению, повышения коэффициента наполнения ковша и снижения времени цикла погрузки. При внедрении нового технологического уклада данные преимущества будут проявляться при применении выемочно-погрузочного оборудования с увеличенной емкостью ковша.

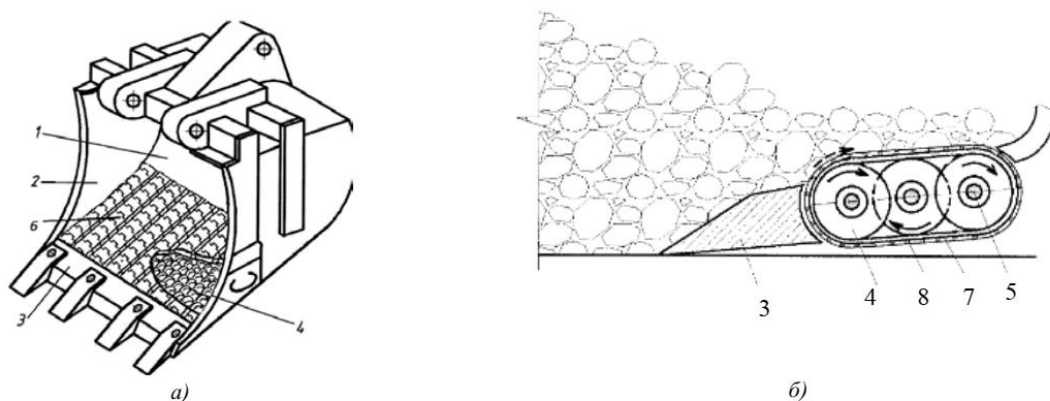


Рисунок 1.2 – Ковшовый рабочий орган с конвейерным днищем в виде замкнутой ленты (а) и его положение перед штабелем кусковой горной массы (б):
1 – емкость ковша; 2 – боковые стенки; 3 – днище; 4 – ролики; 5 – ось вращения; 6 – лента; 7 – пластины; 8 – пальцы

В исследованиях [104, 108] представлена конструкция ковша, позволяющего без изменения характеристик гидропривода зачерпывать больший объем грунта (рисунок 1.3).

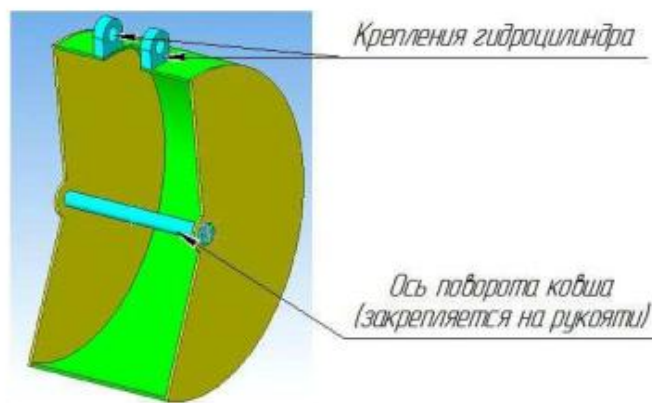


Рисунок 1.3 – 3d-модель нового ковша одноковшового гидравлического экскаватора

Данная конструкция ковша, по мнению авторов [108], позволяет увеличить объем зачерпываемого грунта без внесения изменений в конструкцию, за исключением системы рычагов привода ковша. Увеличение объема ковша экскаватора позволит повысить производительность одноковшовых гидравлических экскаваторов [64].

Оригинальной конструкцией отличается новая модель экскаваторов фирмы «Marion Power Shovel» MPS 194M-HR-1 и MPS 203M-HP-1R с ковшами емкостью соответственно 16 и 19,9 м³, где ковш экскаватора внедряется в разрыхленную горную массу непосредственно на уровне подошвы уступа. Конструкция имеет сочетание управления подъема ковша, напорного механизма и наклона ковша, что позволяет значительно повысить усилие черпания на 33% и увеличить емкость ковша экскаватора при неизменной мощности машины на 15–20% и сократить продолжительность цикла погрузки.

Фирмой «Vucyrus» создана модель на базе мехлопат (150-B, 190-B и 280-B) с качающейся рукоятью и ковшом емкостью 19,8 м³ и мотор-генераторным приводом, имеющая большое усилие черпания, что позволяет

качественно проработать подошву уступа. Это экскаватор, где сочетаются положительные качества колесных погрузчиков и мехлопат.

В настоящее время гидравлические экскаваторы являются основной и наиболее важной частью горного оборудования на ряде карьеров (разрезах) за счет повышенной маневренности и более высокой производительности. Наибольшее распространение получил экскаватор HC-300 французской фирмы «Roclain», который оборудуется как прямой, так и обратной лопатой.

Ярким представителем гидравлических экскаваторов является RH-300 компании «Orenstein & Koppel» с емкостью ковша в стандартном исполнении 22,9 м³. Это самый мощный экскаватор в мире среди машин подобного типа. Гидравлический привод обеспечивает усилие резания на концах зубьев, равное 2180 кН, при удельном давлении на грунт – 190 кПа.

Для драглайнов направление совершенствования конструкции заключается в увеличении длины стрелы и тем самым повышении эффективности машины. В настоящее время выпускают серийно стрелы, длиной 110 м и более, возможен выпуск стрел длиной до 122 м. Стрелы большой длины позволяют драглайнам осуществлять погрузку вскрышных пород при снижении удельных затрат на экскавацию.

Расчет производительности драглайна выполняется для цикла черпания с поворотом на 90°, при этом обеспечивается производительность несколько более 250 тыс. м³ /год на 1 м³ емкости ковша. Высота вскрышных уступов составляет 40–43 м при вылете стрелы 110 м и радиуса разворота 105 м. Однако достижение необходимой производительности связано со значительными трудностями и затратами. Так, на поворотно-разворотные операции приходится 55% времени цикла экскавации, а при большей глубине черпания время подъема ковша превышает время поворота ковша с грузом. Установлено, что общая производительность драглайна снижается за счет роста продолжительности цикла при больших углах поворота ковша и большой высотой подъема, что компенсируется путем оптимизации радиуса черпания и длины стрелы. В настоящее время на угольных разрезах применяются

драглайны с размерами длин стрел порядка 100 м при емкости ковша 53 м³. На разрезах с 1978 года в эксплуатации шагающий экскаватор 3270-W фирмы «Vucugus-Erie» с емкостью ковша 134,5 м³ и длиной стрелы 100 м.

В настоящее время вскрышные механические лопаты могут обрабатывать уступы с высотой до 27 м. При этом особое внимание изготовителями уделяется повышению универсальности мехлопат, увеличению радиуса действия и глубины черпания при совершенствовании конструкции ковша. В настоящее время серийно выпускаются вскрышные механические лопаты с емкостью ковша от 19 до 53 м³, длиной стрелы и рукояти до 72 м и до 43 м соответственно.

Таким образом, в настоящее время в России, согласно авторитетным источникам [43, 44], применяется выемочно-погрузочное оборудование с техническими характеристиками, представленными в широких диапазонах. Так емкость ковша варьируется от 2 до 64 м³.

Машиностроение в России постоянно увеличивает выпуск экскаваторов большой единичной мощности. Данная тенденция связана с выпуском автосамосвалов соответствующей повышенной грузоподъемностью и вместимостью кузова транспортного средства. В настоящее время модернизация экскаваторов и изменения в их комплектации формируется часто в зависимости от требований заказчика [168].

В комплексе с экскаваторами выбираются автосамосвалы, такие как БелАЗ и Komatsu, грузоподъемностью от 40 до 320 т при оптимальном соотношении емкостей кузова и ковша экскаватора 3–4. Предметом исследований становятся параметры и показатели основных смежных технологических процессов выемочно-транспортного комплекса. Совершенствование технологических процессов и комплексов горнотранспортного оборудования осуществляется с использованием принципа потока, обеспечившего устранение нерациональных перемещений машин, грузов и ресурсов, что способствует повышению удельной годовой производительности экскаваторов.

На угольных разрезах Кузбасса намечена тенденция применения выемочно-погрузочного оборудования большой единичной мощности: экскаваторов с емкостью ковша 30–56 м³ (гидравлические лопаты обратного черпания) и большегрузные автосамосвалы с грузоподъемностью 220–320 т. Производительность обратных гидравлических экскаваторов при экскавации взорванных горных пород зависит в первую очередь от качества их подготовки к выемке и степени разрыхления, а также выхода негабарита (+1,4 м), что не допускает работы в стопорном режиме.

Таким образом, при подготовке скальных и полускальных горных пород к выемке необходимо качественное выполнение буровзрывных работ (БВР), что на прямую влияет на их стоимости затрат, а также на параметры и стоимость смежного процесса экскавации [141]. При этом перевозка горной массы является также ключевым звеном открытой технологии добычи угля. Более 50% транспортирования горной массы осуществляется большегрузными автосамосвалами, несмотря на широкое применение других видов транспорта [5, 133].

Научно-практические, теоретические и методические основы организации выемочно-погрузочно-разгрузочных работ и эффективности карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов широко изложены в трудах академиков Н.В. Мельникова, К.Н. Трубецкого, профессоров М.В. Васильева, В.С. Хохрякова, М.И. Щадова, А.С. Ташкинова, Ю.И. Анистратова, К.Ю. Анистратова, А.Б. Исайченкова, Б.В. Яковенко и многих других ученых и исследователей. В работах определены условия применения карьерного автотранспорта, рациональная область его применения, приведены особенности его организации на горнодобывающих предприятиях при открытой геотехнологии.

Развитие процесса транспортирования горной массы на открытых горных работах характеризуется совершенствованием режимов работы и схем его движения на основе обеспечения коэффициента использования экскаваторов и автосамосвалов по грузоподъемности и во времени [133].

Сложность горно-геологических и горнотехнических и условий, а также увеличение грузоподъемности применяемого карьерного автотранспорта при усложнении его конструкции привело к необходимости разработки рекомендаций по определению оптимальной степени использования автосамосвалов по грузоподъемности для соотношения вместимости кузова автосамосвала и ковша экскаватора при регулировании кусковатостью.

Выбор рациональной структуры комплексной механизации при комплектовании горнотранспортного оборудования открытых горных работ свидетельствует о том, что выбор сочетаний производится в единой системе бурового, выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, где в первую очередь определяют выемочно-погрузочную технику с учетом объема производственной мощности и параметров разреза (глубины) и его рабочей зоны (высоты уступа), а также наличие энергии и т.д. [63]. При этом буровое оборудование должно обеспечивать необходимый объем и требуемое качество подготовки горной массы к выемке при его увязке с экскавацией. Наиболее жесткой связью характеризуются процессы выемки и транспортирования горной массы, поэтому обоснованный выбор комплекса горнотранспортного оборудования требует обязательного соблюдения принципа системности.

Параметры БВР и совокупность перечисленных факторов определяют производительность выемочно-погрузочного комплекса и предопределяет повышение требований к качеству подготовки вскрышных пород к выемке и, как следствие, эффективность работы горного предприятия.

Таким образом, необходимо выполнить исследования для устранения накопленных противоречий в научно-методической базе между параметрами открытой геотехнологии и возможностями применяемого высокопроизводительного оборудования.

1.2 Требования к качеству подготовки вскрышных пород к выемке при применении горнотранспортных комплексов нового поколения

Буровзрывная подготовка горного массива к экскавации является одним из основных, наиболее ответственных и опасных производственных процессов при разработке месторождений открытым способом, и от качества дробления массива горных пород, проработки подошвы уступа, формы развала раздробленной горной массы в значительной степени зависят производительность труда горного, транспортного и дробильного оборудования, его износ. В свою очередь, степень и равномерность дробления зависит от свойств массива горных пород и технологии буровзрывной подготовки ее к выемке, поэтому существенное влияние оказывают горнотехнические условия разработки месторождения. При увеличении глубины разреза и понижении горных работ уменьшается ширина рабочих площадок на нижних горизонтах открытых горных работ, что приводит к сокращению многорядного короткозамедленного взрывания (КЗВ) и к снижению качества дробления массива горных пород, где предъявляются дополнительные требования к управлению шириной развала в стесненных условиях [53, 58].

При производстве буровзрывных работ необходимо соблюдение следующих основных условий:

- разрушение пород уступа на куски, не превышающие заданных размеров и отвечающих требуемым характеристикам грансостава;
- получение размеров развала взорванной породы уступа необходимой ширины и высоты;
- качественная проработка подошвы уступа;
- создание определенного запаса разрыхленной породы, обеспечивающего устойчивую работу погрузочных средств;
- обеспечение безопасности, экологичности и экономичности работ.

Параметры развала горной массы и качество взрывного дробления (проработка подошвы уступа, снижение зоны нерегулированного дробления,

переизмельчение) определяют производительность последующих смежных процессов экскавации и транспортирования. При применении современных высокопроизводительных выемочно-транспортных машин предъявляются жёсткие требования к качеству взрывной подготовки массива горных пород, так как оно напрямую оказывает влияние на производительность всего горнотранспортного комплекса. В настоящее время большое внимание уделяется буровзрывным работам, так как является основным препятствием увеличения производительности горного оборудования и объёмов добываемого полезного ископаемого, а также снижения себестоимости выемки за счет неравномерного дробления (повышенным выходом негабарита и несоответствие параметров уступа проектным решениям) [90].

Значительный вклад в исследования процессов разрушения горных пород на карьерах и разрезах внесли академики Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, В.В. Ржевский, профессора С.Д. Викторов, В.А. Падуков, М.Ф. Друкованный, Б.Н. Кутузов, Ю. П. Галченко, Н.П. Сеинов, В.С. Федотенко, Е.И. Шемякин, В.В. Адушкин, Л.И. Барон, Г.П. Парамонов, В.Н. Сытенков, А.Б. Штейнберг А.Б. и др. Авторами рассмотрены и предложены различные способы взрывного разрушения, в том числе разнопрочных породных массивов с крепкими включениями. Выполнен большой объем исследовательских работ по регулированию крупности кусков горной массы взрывом, где величина максимально допустимого размера куска d_{\max} зависит от вида и мощности горнотранспортной техники [129, 157].

Так, для вскрышных экскаваторов, применяемых в филиале АО «УК «Кузбассразрезуголь», установлено, что d_{\max} при оптимизации производительности экскаваторов большой единичной мощности соответствуют [116]: для САТ-385 – 1,3 м, ЭКГ-15 – 1,8 м и ЭКГ-18Р – 1,9 м.

В работе [10] обоснованы основные безразмерные критерии кусковатости при БВР, которыми являются:

- степень дробления (измельчения) массива горных пород;
- показатель равномерности дробления;

– показатель кондиционности дробленной горной массы.

В работе [157] доказано, что качество взрыва (негабарит, средний размер куска и параметры развала горной массы) влияют на продолжительность цикла черпания и находится в прямой функциональной зависимости. При этом выход негабарита определяется косвенными способами [75]:

- расход бурения на вторичное дробление;
- расход взрывчатых материалов (ВМ) на вторичное дробление.

В работе [82] выделено три основных фактора, влияющих на сопротивления при погрузке взорванной горной массы из забоя: физико-механические свойства разрабатываемых пород; качество подготовки забоя; конструктивные параметры рабочего оборудования.

Одним из главных показателей разрушения вскрышных пород взрывом является удельный расход ВВ (взрывчатого вещества), характеризующийся количеством ВВ (кг), которое требуется для разрушения 1 м³ породы с заданной степенью дробления. В работе [68] определены конструкция и параметры скважинных зарядов исходя из требований, которые предъявляются к гранулометрическому составу горной массы, полученной в результате взрывного разрушения, при условии максимального снижения последующих затрат на их дробление.

Так, на разрезах Кузбасса для повышения качества дробления горной массы принимают повышенный удельный расход ВВ до 1,2–1,5 кг/м³, но при этом выход негабарита достигает 10–15%. В работе [8] доказано, что КПД взрыва обеспечивается при рациональном удельном расходе ВВ путем совершенствования конструкции заряда ВВ.

В настоящее время на крупных горных предприятиях изготавливают ВВ собственными силами. Это так называемые ВВ местного изготовления [31], имеющие невысокую стоимость по сравнению со штатными ВВ, наиболее безопасные в обращении при изготовлении, доставке на разрез и зарядании скважин. Данные ВВ не устойчивые при детонации, обычно с

низким КПД механической работы, что негативно сказывается на качестве взрывного дробления горной массы и на технико-экономические показатели работы горнодобывающих предприятий. Автором [31] рассмотрены условия детонации зарядов ВВ местного изготовления в сухих и обводненных скважинах.

В работе [142] д-р техн. наук А.С. Ташкинов предложил метод управления качеством подготовки пород, учитывающий динамику изменения текстурно-структурных и прочностных свойств горных пород при неоднородности уступов по высоте и по площади для обеспечения полного энергонасыщения взрываеваемого массива дробящим действием заряда. Автор, рассмотрев совокупность закономерностей изменения текстурно-структурных и прочностных свойств горных пород в массиве, дал описание характеристик состояния взорванной горной массы, что позволяет эффективно обеспечивать управление качеством взрывной подготовки пород с заданными характеристиками. Установленные закономерности позволяют определять количественные значения структурно-прочностных свойств пород угольных месторождений Кузбасса и формировать в границах карьерных полей частные структурно-информационные модели месторождений.

В работах [32, 33] д-р техн. наук Я.М. Додис рассмотрел текстурно-структурные и прочностные свойства массивов пород, изменяющиеся в широком диапазоне, а также условия взрывания и доказал, что степень дробления и разрыхление развала пород по ширине экскаваторных заходов и по высоте разные подчиняются установленным закономерностям. При этом производительность экскаватора и продолжительность цикла черпания зависит от большого числа факторов, основными из которых являются:

- угол поворота платформы экскаватора от забоя к кузову;
- качество развала горной массы;
- высота развала горной массы.

В процессе отработки развала данные факторы изменяются по площади и по высоте взорванного массива.

Данные факторы занимают $2/3$ от времени цикла черпания. В то же время в работе [9] определено, что процесс черпания в наибольшей степени зависит от качества взрывной подготовки массива пород к выемке, где коэффициент экскавации имеет важное значение и находится в прямой взаимосвязи с числом циклов черпания при постоянной емкости кузова.

В работе [32] рассмотрено влияние параметров развала на производительность выемочно-погрузочного оборудования с позиций структуры развала. Так, работа экскаватора в 1-й заходке квалифицируется как подбор горной массы нижней части развала, образованного взрывом 1-го и частично 2-го рядов скважинных зарядов ВВ, где производительность определяются средним размером куска, а на черпание расходуется около 30% всего времени цикла. Работа экскаватора во 2-й и 3-й заходках квалифицируется как доработка забоя (отработку подошвы уступа с соблюдением правил технической эксплуатации), где производительность экскаватора определяется коэффициентом экскавации горной массы и средним размером куска, а затраты времени на черпание составляют только 16–18% от общего времени цикла.

При некачественной взрывной подготовке пород к выемке часто возникают предельные нагрузки, выраженные удельными затратами энергии процесса экскавации при разработке забоя. Так, надежность подготовки горной массы может быть спрогнозирована по распределению прочностных свойств в массиве горных пород и его неоднородности массива, оцененных, например, по энергоемкости бурения, также можно произвести оценку качества взрывной подготовки по величине удельной энергоемкости черпания (разработки забоя) при экскавации.

При районировании карьерного поля по текстурно-структурным особенностям и прочностным характеристикам взрываемого массива и

определении оптимальных параметров буровзрывных работ качество и надежность взрывной подготовки могут быть приближены к 1.

Из анализа практики горных работ известно, что совокупность погрешностей (техническая, технологическая и организационная) приводит к снижению надежности технологических процессов. Автор [32] считает, что надежность БВР определяется правильным подбором сетки расположения скважин, типом ВВ и его удельным расходом.

Таким образом, для эффективности выполнения процесса экскавации и повышения эксплуатационной производительности качество подготовки вскрышных пород к выемке является одним из важнейших условий. Так, средний размер куска, являющийся показателем качества БВР, зависит от ряда факторов:

- физико-механические свойства горных пород (трещиноватость, крепость, плотность, вязкость и т.д.);
- обводненность массива;
- параметры буровзрывных работ;
- климатические условия.

Все данные факторы в совокупности влияют на надежность работы большегрузного погрузочно-доставочного комплекса на мощных разрезах Кузбасса [22, 42]. Увеличение выхода негабарита и переизмельчения ведет к повышению перегрузок выемочно-погрузочного оборудования. То есть должно выполняться условие – максимальный размер куска взорванной горной массы не должен превышать $2/3$ минимального линейного размера ковша экскаватора, при этом негабаритная фракция в развале ведет к простоям выемочно-погрузочного оборудования. Поэтому изучение факторов, оказывающих влияние на качество буровзрывной подготовки пород вскрыши на угольных разрезах при применении выемочно-погрузочного оборудования большой единичной мощности, является весьма актуальной задачей.

1.3 Факторы, влияющие на качество дробления горных пород при выполнении вскрышных работ на угольных разрезах

Качество буровзрывной подготовки массива горных пород к выемке предопределяет эффективность выполнения процесса выемки вскрышных пород на угольных разрезах [116, 142]. При этом повышению эффективности БВР посвящено большое количество исследований о влиянии различных факторов на результаты взрывной подготовки: тип и конструкция зарядов ВВ, средства инициирования и схемы скважинного, межскважинного и группового КЗВ и др.

Д-р техн. наук, проф. Б.Н. Кутузов [69] на основе принципов регулирования степени взрывного дробления массива выделил основную группу факторов: физико-механические свойства (трещиноватость); число обнаженных свободных поверхностей массива (взрывание уступа или проходка траншей); удельный расход ВВ; распределение ВВ в массиве (конструкция заряда ВВ, ЛСПП, сетка скважин); свойства взрывчатого вещества (тип ВВ и энергетические характеристики ВВ); способы инициирования и последовательность взрывания (мгновенное, замедленное и КЗВ). То есть эти факторы, условно делятся на: неуправляемые природные и управляемые технологические параметры БВР.

В работах [28, 29, 116, 157] исследовано влияние физико-механических и физико-технических свойств массива горных пород на их разрушение (взрываемость). В работе Г.П. Демидюка [29] выполнено ранжирование степени влияния свойств горных пород на их взрываемость:

Ранг 1 – *прочностные свойства горных пород* (силы сцепления и пределы прочности сопротивления растяжению, сжатию и сдвигу).

Ранг 2 – *пластические деформации* (сжимаемость и пористость).

Ранг 3 – *увеличение затрат энергии ВВ на разрушение* (вязкость).

Ранг 4 – *силы инерции* (плотность).

Ранг 5 – *макро- и микродефекты в массиве* (зернистость, слоистость, сланцеватость).

Ранг 6 – *трещиноватость (блочность)*.

При этом прочностные свойства горных пород находятся в прямо пропорциональной взаимосвязи с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодяконову (f). Поэтому с увеличением прочности горных пород увеличиваются затраты энергии ВВ на их разрушение [18, 21, 40, 153, 154]. Разрушение горных пород происходит по ослабленным плоскостям [57, 58, 132], поэтому необходим правильный учет его анизотропных свойств, а именно изменение механической прочности массива горных пород, напластований и трещиноватости. Так, наличие в массиве напластований и включений с различающимися физико-механическими характеристиками, где наиболее важными и определяющими факторами являются геометрические размеры (линия наименьшего сопротивления (ЛНС) и глубина заложения заряда ВВ, размеры блока), физико-механические свойства горных пород, слагающих массив и показатели, характеризующие нагрузку на заряд.

Чаще всего при массовых взрывах применяются сплошные скважинные заряды из однородного ВВ. В этом случае качество взрыва во многом определяется удельным расходом и типом ВВ [68].

Одним из основных методов управления качеством взрывного дробления является короткозамедленное взрывание (КЗВ) – разновременное с миллисекундными замедлениями взрывание зарядов или группы зарядов ВВ, где образуются остаточные напряжения и деформации, а также намечающиеся дополнительные свободные поверхности от взрыва предыдущего заряда ВВ [48, 49, 65, 78, 66, 144]. Положительный эффект от КЗВ следующий: снижение сейсмического действия взрыва; изменение направления и формы развала (уменьшение ее ширины); снижение зоны заколов и остаточных деформаций и увеличение угла откоса уступа; обеспечение проработки подошвы уступа.

Качественная буровзрывная подготовка при КЗВ достигается путем увеличения времени действия взрыва заряда ВВ на разрушаемый массив,

образования новых поверхностей обнажения, а также за счет соударения кусков горных пород и направления энергии зарядов ВВ.

В работе [116] исследования посвящены повышению эффективности использования энергии взрывного дробления, которая, по их мнению, зависит от свойств взрываемого массива, нагрузки на заряд (ЛСПП, ЛНС, высота уступа и количество свободных поверхностей) и параметров заряда ВВ. Установлено [116], что расширяющиеся газы взрыва определяют количественные характеристики разрушающего действия колонкового заряда ВВ, а ударная волна – качественные характеристики дробления. Предложены способы управления энергией взрыва при высокоуступной геотехнологии за счет создания эффективных режимов отбойки. При этом применение высокоуступной технологии требует корректировки параметров БВР с учетом ее основных достоинств, которыми является: обеспечение больших объемов взорванной горной массы; снижение объёма буровых работ за счет уменьшения суммарного перебура при совмещении уступов; сокращение переездов станка; повышение производительности выемочно-погрузочного и транспортного оборудования [25, 27, 49, 114, 140]. С целью увеличения коэффициента полезного использования энергии скважинных зарядов ВВ при проработке подошвы высоких вскрышных уступов эффективно внедрение способа парно-сближенного взрывания скважинными зарядами ВВ [49].

В работе [156] определены оптимальные энергетические затраты взрывного дробления для обеспечения требуемой его степени за счет изменения удельного расхода зарядов ВВ на основе энергетических и детонационных характеристик. Определено, что существует оптимальная область рационального удельного расхода заряда ВВ, где максимум используется на полезные формы механической работы (дробление и перемещение), а применение подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы позволяет повысить коэффициент использования энергии

зарядов ВВ и, как следствие, степень дробления среднеблочных (малотрещиноватых) горных пород..

Не всегда увеличение удельного расхода ВВ дает положительный эффект за счет неэффективного использования энергии взрыва и переизмельчения взорванной горной массы. В результате повышение удельного расхода ВВ сверх оптимально обоснованной величины становится экономически невыгодным и резко увеличивает выделение пыли [53, 156]. Так, при повышении удельного расхода зарядов ВВ сначала происходит более интенсивное увеличение степени дробления массива, а затем наступает так называемое состояние насыщения массива энергией взрыва, когда массив пород не может поглотить большего количества энергии и она расходуется бесполезно. Изменение интенсивности дробления при этом снизится. По этой причине повышение удельного расхода ВВ эффективно при взрывании на подпорную стенку из неубранной взорванной горной массы. Эффективность данного способ взрывания проявляется только при многорядном КЗВ [19, 98, 130, 132, 136].

Существует несколько способов взрывания в зажатой среде, отличающихся друг от друга наличием обнаженных плоскостей и формой подпорной стенки: 1 – взрывание в абсолютно зажатой среде (проходка траншей); 2 – взрывание на ранее взорванную горную массу. Авторами [99] рассмотрены вопросы прогнозирования грансостава взорванной горной массы при оптимизации использования энергии взрыва зарядов ВВ при применении подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы.

Взрывание на подпорную стенку из неубранной взорванной горной массы, по мнению авторов [20,84, 156], является одним из основных методов повышения эффективности действия взрыва скважинного заряда ВВ и производительности смежных технологических процессов.

Тип и состав ВВ [156] является также одним из факторов, влияющих на качество взрывного дробления горных пород. Исследования применения эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) доказали повышение

эффективности взрывных работ за счет низкой стоимости, полной механизации приготовления ЭВВ, транспортирования, заряжания [23, 81, 96]. Несмотря на широкое применение ЭВВ, при проведении научных исследований отечественными и зарубежными учеными остались вопросы, требующие дополнительного изучения. К ним относится оценка влияния прочности пород и высоты столба эмульсионных взрывчатых веществ на качество взрывного дробления горной массы, связь переменной плотности ЭВВ по колонке заряда и удельного энерговыделения ВВ с формированием грансостава горной массы в развале, установление закономерностей и особенностей механизма влияния вида, состава и свойств взрывчатых веществ, конструкции заряда на качество подготовки вскрышных пород к выемке. Недостаточно обоснованы методики расчета параметров БВР с применением ЭВВ.

Автор [81] считает, что управление параметрами взрывного импульса и получение заданного качества дробления горных пород следует проводить на основе учета уменьшения давления продуктов детонации в зарядной полости, плотности и массы ЭВВ.

В работе [96] также рассмотрены вопросы качества взрывного дробления массива горных пород зарядами ЭВВ. Матрица эмульсии при плотности в среднем 1300 кг/м^3 является невзрывчатым компонентом ЭВВ. Детонационные свойства ЭВВ приобретает в процессе ввода в эмульсию газогенерирующей добавки (ГГД) специальным аппаратом на смесительно-зарядной машине (СЗМ) примерно около 2% или других пористых материалов. По мнению авторов статьи, введение в состав эмульсии стеклянных микросфер около 2% является безальтернативным средством повышения эффективности процесса дробления пород. В то же время качество взрывного дробления горных пород может быть неудовлетворительным, если вводятся неправильная пропорция пористых или ГГД. При этом доказано, что детонационные свойства ЭВВ с использованием ГГД существенно зависят от величины заряда в скважине по

длине. Заряд ЭВВ плохо инициирует и некачественно проработает в области подошвы уступа за счет переуплотнения под действием силы тяжести. Управление динамическим воздействием взрыва на горный массив при применении скважинного заряда ЭВВ достигается за счет изменения диаметра заряда и его массы (плотности).

Разрушение породного массива удлиненными зарядами более подробно изучены д-ром техн. наук А.П. Андриевским [2]. Автором получены закономерности развития нарушенных зон (формы и размеров) и исследованы факторы процесса трещинообразования при обосновании физических и технических параметров взрывного дробления (физические свойства взрываемого массива, характеристики ВВ, геометрические размеры и места инициирования удлиненных зарядов ВВ). На этой основе АП Андриевским разработаны базовые теоретические положения расчета рациональных параметров БВР.

В исследованиях И.Ф. Жарикова, Л.П. Марченко, Н.П. Сеинова, В.С. Прокопенко, И.В. Тимошина и др. предложено при управлении качеством взрывной подготовки горной массы использование зарядов с воздушными промежутками и продольными полостями. Так, слой породы в верхней части уступа мощностью до 4 м, как правило, разрушенный от перебуров предыдущего взрыва верхнего уступа, который способствует затуханию волн напряжений, образует так называемую зону нерегулируемого дробления, являющуюся источником формирования негабаритных фракций [53].

В работе [76] предложены рациональные средства, методы и параметры взрывного рыхления скальных горных пород при безразлетном их взрывании на основе сочетания рассредоточенных скважинных зарядов взрывчатых веществ, эффективных забоек с локализацией массовых взрывов, а также при последующем дроблении взорванной горной массы. Повышению КПД взрыва, по мнению автора, в значительной мере способствует применение воздушных промежутков во взрывных скважинах. При рассредоточении зарядов ВВ по длине скважины воздушными промежутками

достигается более мелкое и равномерное дробление, чем при сплошных зарядах ВВ. Наиболее технологичным и дешевым в настоящее время является выполнение воздушного промежутка из вспененного полистирола.

Авторами работ [53, 60, 68] предложены различные конструкции усиленных комбинированных забоек при подготовке вскрышных пород взрывом скважинных зарядов ВВ для повышения его качества. В работе [53] предложено использовать забойку из низкоплотных пористых материалов на основе пеногелеобразующих составов, а для подавления пыли, инициируемой взрывом, применять жидкий компонент забойки. Применение жидкой забойки позволяет в процессе детонации ВВ предотвратить химические потери, управлять развалом, снижает выход негабаритных кусков, обеспечивает возможность взрывным разрушением управлять горными породами за счет дифференцированного изменения конструкции и расхода ВВ по длине заряда, снижает УВВ, повышает КПД взрыва, увеличивает зону ослабления во взрываемом массиве горных пород, сокращает объемы выделения ядовитых газов [49].

В работе [90] рассмотрено влияние газодинамической запирающей забойки (ЗГДУ) над колонкой скважинного заряда на изменение параметров взрывного импульса при получении заданного развала и гранулометрического состава горных пород. Автор утверждает, что применение ЗГДУ и управление давлением в зарядной полости за счет создания воздушного промежутка между забойкой и зарядом позволяет получить заданные параметры качества взрывного дробления и развала путем изменения конструкции удлиненного скважинного заряда. Это доказывает взаимосвязь между размерами развала разрушенной горной массы, характеристиками качества дробления горных пород и давлением газов в зарядной полости с учетом выбранной конструкции заряда. В удлиненных скважинных зарядах ВВ при взрыве происходят сложные газодинамические процессы, что позволяет устанавливать качественные и количественные связи конструктивных параметров удлиненных зарядов ВВ

с энергетическими и геометрическими параметрами БВР. В работах [117, 125, 135, 146, 148, 159] показано, что при применении рассредоточенного заряда воздушным промежутком идет процесс запираания продуктов детонации заряда ВВ за счет увеличения продолжительности взрывного воздействия на массив.

В исследованиях, представленных в работах [59, 88, 94, 147], доказано, что применение наклонных скважин для взрывания вскрышных пород на разрезах и карьерах обеспечивает повышение качества дробления массива горных пород и проработки подошвы уступа за счёт равномерного распределения энергии заряда ВВ при взрыве по высоте уступа и, как следствие, позволяет увеличивать ЛСПП, уменьшать перебур и расширять сетку скважин.

Таким образом, обобщение анализа и результатов исследований, позволяет сделать следующие выводы:

- большинство факторов, оказывающих воздействие на качество взрывного дробления массива горных пород, являются взаимосвязанными, а это усложняет оценку их влияния на выбор оптимальных решений по каждому из рассматриваемых вариантов параметров БВР. В настоящее время методы расчета параметров паспорта БВР базируются преимущественно на определении удельного расхода ВВ;

- тип и состав ВВ, диаметр скважин, пространственное размещение заряда в массиве, схемы инициирования зарядов, величина, конструкция и материал забойки определяют обеспечение качества требуемой подготовки горной массы к экскавации;

- на производительность выемочно-погрузочного оборудования при выемке вскрышных пород в большей степени оказывают влияние: физико-механические свойства взрывающего массива (крепость и трещиноватость); конструктивные, технические и технологические параметры оборудования (емкость ковша, коэффициент экскавации, время черпания, показатель относительной эффективности работ) и конструктивные, геометрические и

энергетические параметры БВР (удельный расход ВВ, тип ВВ и конструкция его заряда, сетка скважин), определяющие качество гранулометрического состава горной массы.

В свою очередь, изучение закономерностей изменения показателей эффективности работы погрузочно-транспортных комплексов является важным аспектом для обоснования параметров БВР при взрывной подготовке вскрышных горных пород к выемке на угольных разрезах.

1.4 Закономерности изменения показателей эффективности работы погрузочно-транспортных комплексов на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов

Эффективность работы разреза (карьера) достигается за счет обоснования параметров БВР с учетом принятой технологией горных работ, особенно на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов, где должна обеспечиваться интенсивная и качественная буровзрывная подготовка массива горных пород для обеспечения производительности оборудования и надежной работы выемочно-погрузочного и транспортного комплексов. То есть в настоящее время весьма актуальной является задача обоснования области эффективного применения современного высокопроизводительного горнотранспортного оборудования при учете закономерностей изменения показателей эффективности работы погрузочно-транспортных комплексов на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов.

В исследованиях [63, 127] Д.В. Кузнецовым, Г.К. Саменовым обоснованы области рационального использования выемочно-транспортных комплексов в зависимости от параметров разрезов и глубины разработки.

А.В. Федоровым [158] исследована эффективность работы комплексов горнотранспортного оборудования при разработке мощных буроугольных разрезов и предложена технология горных работ с заменой комплексов оборудования.

В работе [63] предложено применять технико-экономическую оценку для сравнения конкурентных вариантов открытой геотехнологии и комплексной механизации, где в качестве основных критериев используются такие известные экономические показатели, как чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутренняя норма доходности (ВНД), индекс доходности и срок окупаемости вложений. При этом оптимальная производственная мощность разреза по горной массе должна соответствовать минимуму удельных эксплуатационных затрат на выполнение технологических процессов (бурение, выемка, транспортирование и отвалообразование или складирование). Определено, что для заданной производственной мощности разреза можно подобрать выемочный комплекс оборудования, где удельные затраты по технологическим процессам минимальны, а увеличение производительности приводит к увеличению емкости ковша при совместной оптимизации диаметра бурового станка и грузоподъемности транспорта.

Известно, что в технологическом комплексе открытой добычи твердых полезных ископаемых на долю экскавации приходится до 40% общих расходов. При этом производительность выемочного оборудования зависит также от естественной блочности взрываемого массива и может различаться на 10–20% [157]. С увеличением глубины разрезов карьеров, как показывают наблюдения, блочность пород увеличивается, что требует для качественного дробления повышения расхода ВВ в сочетании с применением наклонных скважин уменьшенного диаметра (100–150 мм).

Автор [26] отмечает, что при выполнении БВР простои горнотранспортного оборудования составляют до 40% от планируемых простоев экскаваторов, а резерв взорванной горной массы формируется на период от нескольких дней до трех месяцев работы выемочно-погрузочного оборудования. При расчетах резерва взорванной горной массы для открытой геотехнологии заложен технико-экономический критерий и принцип минимизации затрат на создание и хранение резерва взорванной горной массы (затраты на консервацию или замораживание оборотных средств) и

затраты на простои горнотранспортного оборудования. Данный критерий является актуальным и сегодня, так как простои мощной выемочно-погрузочной техники и оборудования смежных процессов неравнозначны с такими же простоями погрузочно-транспортного оборудования меньшей единичной мощности. Предложено производить распределение резерва с учетом их производительности и времени индивидуальных простоев за цикл создания резерва по отдельным экскаваторам. Ю.А. Беляевым и В.М. Матушенко [12] показано, что производительность экскаватора увеличивается с ростом коэффициента разрыхления пород.

П.Р. Хаспков [164] рассмотрел перспективу расширения диапазона технологических возможностей и повышения энергосилового ресурса вновь осваиваемой экскавационной техники на действующих угольных разрезах с целью повышения производительности выемочно-погрузочных работ, минимизации заделживаемых материально-сырьевых ресурсов, сокращения издержек в процессе эксплуатации при обеспечении качества и полноты выемки запасов полезных ископаемых на основе системного подхода для решения технических и технологических задач при оптимизации линейных и силовых параметров карьерных гидравлических экскаваторов.

С.А. Хорошавиным [166] предложен алгоритм системы управления процессом черпания, который, по мнению автора, обеспечивает эквидистантную траекторию движения ковша гидравлического экскаватора и равномерную загрузку основных приводов при снижении стопорных режимов в подготовленном забое. Автором доказано, что гидравлические экскаваторы по сравнению с канатными имеют ряд преимуществ:

- металлоемкость меньше в 1,8-2,2 раза;
- большое усилие черпания в 1,3-1,5 раза;
- селективная добыча полезных ископаемых;
- возможность зачистки подошвы уступа;
- минимальные динамические воздействия при разгрузке горной породы в транспорт.

Усилия копания гидравлического экскаватора зависят не только от усилий напора, но и от усилий отрыва [167, 171, 173].

Установление влияния технологических параметров эксплуатации обратных гидравлических лопат на эффективность вскрышных работ акцентировано в работе [77]. Автор утверждает, что обратные гидравлические экскаваторы по сравнению с базовыми моделями прямых механических лопат при разработке вскрышных пород угольных разрезов требуют более высокого качества взрывной подготовки, которая в меньшей степени зависит от вместимости ковша, а зависит от удельного расхода ВВ, который увеличивается на 4–15%. Эти затраты компенсируются снижением эксплуатационных затрат на выемочно-погрузочные работы за счет увеличения эксплуатационной производительности оборудования.

В исследовании [141] приведены доводы, что механические лопаты циклического действия наиболее эффективны при экскавации взорванных скальных и полускальных пород при сочетании с любым видом транспорта. В сложных горно-геологических, технических и технологических условиях разработки угольных месторождений Кузбасса на операцию черпания затрачивается 25–40% общего времени экскавации в зависимости от условий работы. При этом эффективная производительность экскаваторов типа «мехлопата» выше в сравнении с гидравлическими экскаваторами на 7–23% в зависимости от условий работы [141].

Применение мощного выемочного оборудования на крупных угольных разрезах Кузбасса влечет за собой резкий рост времени на поворотно-разворотные операции при увеличении продолжительности цикла экскавации [55]. Так, отношение забойной производительности к емкости ковша экскаватора ($Q_{заб}/q$), являющегося основным эксплуатационным показателем, уменьшается при емкости ковшей экскаваторов типа «мехлопата» от 5 до 15 м³ в среднем до 8%, для гидравлических экскаваторов – до 5%. В итоге фондоотдача для ЭГО по сравнению с ЭКГ оказывается примерно в 1,5 раза выше. Эта тенденция характерна и для рубежных ЭГО.

При этом угол наклона активного участка к траектории движения ковша карьерного гидравлического экскаватора целесообразно варьировать в диапазоне $32\text{--}35^{\circ}$ в зависимости от грансостава горной массы и степени ее разрыхления в забое [55], где обеспечивается наибольший коэффициент наполнения ковша, а внедрение ковша в забой целесообразно осуществлять под углами от 10 до 15° , так как существенно сокращаются требуемые усилия черпания скальной взорванной горной массы ЭГО с емкостью ковша до 20 м^3 .

В работе [6] К.Ю. Анистратовым доказано преимущество ЭГО при отработке вскрыши в контактных зонах с угловыми пластами за счет экскавации вскрышных пород в автономном режиме работы (работа в обводненных условиях, отсутствие простоев из-за отсутствия электроэнергии и пр.). Практика работы ЭГО на угольных разрезах показала, что суммарные капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с канатными экскаваторами сопоставимой надежности в $1,5\text{--}2,5$ раза выше (часовая техническая надежность >30 тыс. ч после 5-го года эксплуатации) [113, 137]. Однако проведенный анализ [16] показал, что валовая выемка вскрышных скальных и полускальных пород отечественными канатными мехлопатами с емкостью ковша $18\text{--}35\text{ м}^3$ при погрузке в автотранспорт и сроке службы карьера более 7 лет, эффективнее по сравнению с аналогичными по емкости ковша ЭГО, так как рабочие параметры канатных мехлопат и, в частности, ЭКГ-18 (22 м^3) по сравнению с гидравлической прямой лопатой РС-4000 позволяют более эффективно и безопасно вести погрузку в автотранспорт с двухсторонней погрузкой (рисунок 1.4).

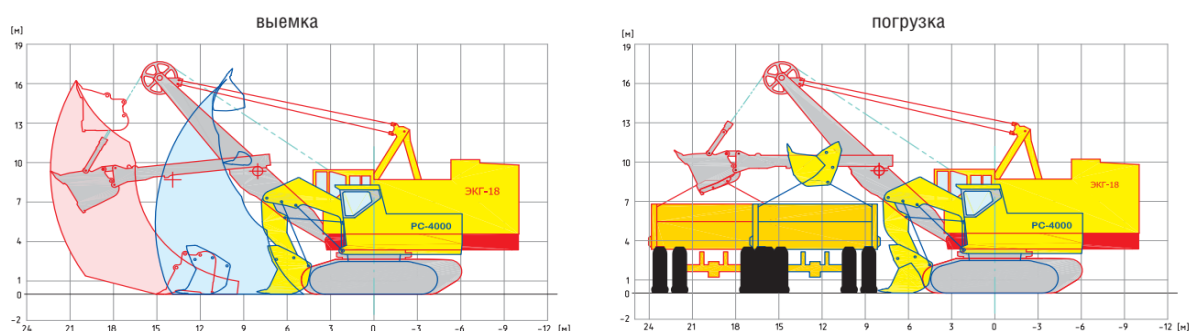


Рисунок 1.4 – Рабочие параметры ЭКГ-18 и РС-4000

Эффективность работы карьерной техники оценивалась по удельной накопленной совокупной стоимости приобретения и эксплуатации [4], при этом износ ЭГО происходит в 2,5–3 раза быстрее, чем ЭКГ. Эффективный срок службы ЭГО не превышает 70 тыс. ч, а для ЭКГ – более 170 тыс. ч (7000 ч/год), это соответствует общему сроку эксплуатации службы 23 года.

Автором доказано, что к 6-му году удельные накопленные затраты становятся сопоставимыми, а преимущества ЭКГ становятся очевидными, поэтому эффективная область применения ЭГО – это отработка месторождений с небольшим сроком эксплуатации.

Таким образом, эксплуатационная производительность ЭКГ зависит от:

- времени цикла экскавации;
- вместимости ковша экскаватора;
- конструктивных рабочих параметров разреза (карьера);
- физико-механических свойств экскавируемых пород;
- грузоподъемности транспорта;
- времени операции маневра.

Исследования также показали, что в условиях импортозамещения и высокой организации технологических процессов вскрышных работ на угольных разрезах Кузбасса применение отечественных мехлопат типа ЭКГ-18 ($E = 22 \text{ м}^3$) при насыпной плотности пород 1,7–1,8 т/м³ и ЭКГ-35Р производства ПАО «Уралмашзавод» обеспечит эффективность применения горнотранспортных комплексов большой единичной мощности [6].

Применение нового выемочно-погрузочного оборудования (до 30–35 м³ и более) при высокоуступной геотехнологии [11, 116, 159], позволило обеспечить рост глубины карьера и сроков его эксплуатации на 18-23 %, увеличение скорости фронта горных работ, улучшение качества дробления горной массы на 10-15%, сокращение протяженности транспортных путей и коммуникаций до 15% и уменьшение количество транспорта. К основным особенностям отработки высоких вскрышных уступов относятся превышение высоты уступа, высоты черпания экскаваторов и отработка подступами.

В работе [49] установлены эмпирические зависимости изменения затрат по технологическим процессам (буровзрывная подготовка, выемка и транспортирование) от величины средневзвешенного размера кусков пород в развале. При этом эффективность работы экскаваторов большой единичной мощности достигается мониторингом качества БВР по всему сечению развала путем совместного использования эталонных и фактических фотопланов с расположенной на поверхности забоя масштабирующей линейкой и дополнительными хронометражными замерами процесса экскавации.

Исследования в условиях Тугнуйского разреза показали, что удельный расход ВВ увеличен по сравнению с нормативным расходом ВВ ($1,0 \text{ кг/м}^3$) и составляет $1,3 \text{ кг/м}^3$ для пород III и IV категории по взрываемости, а при этом, удельные затраты на БВР возрастают соответственно при уменьшении $D_{\text{св}}$: 8 руб./м^3 ($D_{\text{св}} = 0,7 \text{ м}$); 14 руб./м^3 ($D_{\text{св}} = 0,4 \text{ м}$) и 31 руб./м^3 ($D_{\text{св}} = 0,2 \text{ м}$). Оптимальные параметры данных смежных процессов подготовки и выемки обычно определяются путем минимизации удельных затрат при условии обеспечения необходимых требований к качеству продукции [110]. Так, оптимизация параметров выемочно-транспортного комплекса заключается в минимизации суммарных удельных затрат на разработку вскрышных пород с учетом всей технологической цепочки процессов и комплекса оборудования [61, 70, 172, 176]. Средневзвешенный размер кусков взорванных вскрышных пород $D_{\text{св}}$ характеризует всю совокупность фракций, гранулометрический состав взорванных пород [10, 79, 124, 155, 156] и определяет технологические параметры БВР и, как следствие, затраты [66, 71, 74, 119, 121, 123].

Следует отметить способ определения планируемой эксплуатационной производительности выемочного оборудования с учетом качества взрывной подготовки горной массы к выемке, что в большей мере соответствует условиям эксплуатации оборудования в сравнении с общепринятыми методиками [30, 41]. Грансостав взорванных горных пород является определяющим фактором в процессе экскавации, при этом коэффициент

экскавации, время черпания и производительность экскаватора зависят от кусковатости взорванной горной массы [13, 50, 122, 128].

В работе [133] рациональный выбор выемочно-автотранспортного комплекса оценивается ресурсом несущих систем автосамосвалов при их загрузке и продолжительностью простоя автосамосвалов под погрузкой, где степень загрузки автосамосвалов оказывает основное влияние на их производительность. Доказано, что наблюдается экстремум зависимости суммарной сменной производительности от степени загрузки автосамосвалов, при котором суммарная производительность максимальна и составляет при различных горнотехнических условиях и условиях движения 0,67–0,81 при перевозке пород вскрыши [133]. Автор также отмечает, что на величину оптимальной степени загрузки автосамосвалов оказывает влияние плотность горной породы и ее грансостав.

Выполненный анализ ранее проведенных научных исследований и практического опыта эксплуатации карьерного выемочно-транспортного оборудования большой единичной емкости выделил научно-практические подходы к повышению его эффективности работы на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Направления исследований по повышению эффективности буровзрывной подготовки вскрышных уступов на угольных разрезах

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
И.Н. Лапиков	Прогнозирование качества дробления массива горных пород скважинными зарядами в карьерах	Установлены зависимости для определения линейных размеров, объемов и поверхностей кусков псевдокубической и псевдотетраэдрной форм
М.Н. Оверченко	Разработка способа взрывания высоких уступов для повышения эффективности взрывного дробления горных пород	Установлены закономерности дробления горных пород высоких уступов в разных горно-геологических условиях в зависимости от состава ЭВВ и параметров сетки скважин
И.А. Добрынин	Совершенствование способа обеспечения эффективного дробления горных пород скважинными ВВ при взрывании их в сложных горно-геологических горнотехнических условиях	Разработан метод определения полноты выделения энергии при взрывании скважинных зарядов в карьерах с использованием предложенного коэффициента относительной реализации теплоты взрыва

Продолжение таблицы 1.1

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
А.П. Андриевский	Изучение закономерностей развития зон нарушенности и установление факторов, влияющих на процессы трещинообразования для физико-технического обоснования параметров взрывного разрушения горного массива удлиненными зарядами	Разработан методологический подход определения схемы расположения скважинных зарядов и их параметров для проектирования взрывных работ, учитывающий физические свойства горных пород массива, характеристики ВВ
А.В. Лещинский	Обоснование рациональных средств и методов для определения параметров взрывного рыхления скальных горных пород при открытых горных работах	Установлены область эффективного применения и параметры комбинированных забоек скважин в зависимости от формы и нарушенности стенок взрывных скважин
В.С. Федотенко	Обоснование расширения области применения открытого способа разработки мощных угольных месторождений путем установления временных и пространственных параметров своевременного перехода действующего разреза к выемке вскрышных пород высокими уступами	Предложена технология эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими уступами, различными комплексами выемочно-погрузочного и горнотранспортного оборудования
В.В. Пронин	Обоснование рациональных параметров взрывной подготовки массива горных пород к выемке, соответствующих условиям эффективной работы экскаваторов с повышенной емкостью ковша	Предложена методика выбора рациональной высоты уступа, которая учитывает качество добываемых полезных ископаемых, взорванной горной массы, типы современных ВВ и средств инициирования
Т.М. Магомедов	Совершенствование способа управления параметрами взрывного импульса и получения заданного дробления горной массы следует проводить на основе учета уменьшающегося давления продуктов детонации в зарядной полости, плотности и массы ЭВВ	Предложена методика расчета параметров БВР при применении эмульсионных ВВ, обеспечивающих заданное качество дробления горной массы
И.Б. Катанов	Обоснование и разработка способов и средств повышения качества подготовки вскрышных пород взрывным способом при одновременном снижении его негативных экологических последствий	Установлены зависимости изменения радиусов зоны разрушения массива горных пород различных категорий по блочности, позволяющие увеличить параметры сетки скважин, обоснованы рациональные параметры буровзрывных работ при использовании пеногелеобразующих составов для забойки скважин
А.Б. Исайченков	Обоснование применения выемочно-автотранспортного комплекса при использовании в качестве критерия средневзвешенного размера кусков взорванной горной массы	Установлены эмпирические зависимости изменения затрат по технологическим процессам (буровзрывная подготовка, выемка и транспортирование) от величины средневзвешенного размера кусков пород в развале

Продолжение таблицы 1.1

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
Р.А. Возгрин	Обоснование параметров зарядов эмульсионных ВВ при переходе на скважины уменьшенного диаметра, обеспечивающих рациональное дробление скальной горной породы на карьерах	Установлены закономерности изменения скорости детонации ЭВВ в зависимости от диаметра заряда и массы промежуточного детонатора
Д.В. Молдован	Исследования влияния конструкции заряда и других параметров БВР на дробление горной массы и формирования развала	Установлена количественная зависимость выхода негабарита и заданного среднего куска горной массы при использовании новых конструкций зарядов
С.А. Хорошавин	Повышение эффективности карьерных одноковшовых экскаваторов за счет совершенствования рабочего оборудования и внедрения систем управления	Предложена методика оптимизации параметров рабочего оборудования, основанная на использовании модуля расчета напряженно-деформированного состояния
П.Р. Хаспекоев	Повышение технико-экономических показателей выемочно-погрузочных работ при внедрении экскавационной техники нового поколения, обеспечивающей в сложной горнотехнической обстановке интенсификацию производства на действующих угольных разрезах с циклической технологией отработки	Предложен системный подход при решении задач оптимизации линейных и энергосиловых параметров гидравлических экскаваторов, основанный на установленных взаимосвязях этих параметров с прочностными и структурными характеристиками разрабатываемых породно-угольных массивов, а также с параметрами технологических систем их отработки
А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, И.А. Ташкинов	Совершенствование выемочно-погрузочных работ на разрезах Кузбасса: применение экскаваторов большой единичной мощности в сочетании с большегрузными автосамосвалами и масштабное внедрение обратных гидравлических лопат в сложных горно-геологических условиях	Дана количественная оценка параметров экскавации различных типов выемочной техники на основе изучения поведения экскаваторов в промышленных условиях
К.Ю. Анистратов	Обоснование принципов формирования структуры комплексной механизации горных работ на карьерах, соответствующих современному конструктивному уровню горной техники и широкому ассортименту ее предложений на рынке	Установлены зависимости изменения удельных накопленных затрат на владение, эксплуатацию, технический сервис и материально-техническое снабжение различных типов карьерной техники от срока ее эксплуатации
О.И. Литвин	Обоснование технологических параметров производства вскрышных работ с использованием гидравлических лопат	Установлены закономерности изменения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов и затрат на их эксплуатацию в различных горно-технических условиях

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
К.А. Голубин	Обоснование состава технологических факторов, которые влияют на общий резерв взорванной горной массы для группы экскаваторов	Предложена методика обоснования резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ

Из представленных в таблице 1.1 результатов анализа следует, что на современный момент успешно решены многие актуальные вопросы в области повышения качества буровзрывной подготовки вскрышных уступов при применении горнотранспортных комплексов нового поколения. Анализ трудов отечественных и зарубежных ученых по вопросам технико-экономической оценки эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов, определения рационального удельного расхода взрывчатого вещества показал, что сложились устоявшиеся принципы и методики обоснования параметров БВР для применения выемочного оборудования циклического действия. Вопросы оптимизации параметров и показателей работы погрузочно-транспортного комплекса возникали постоянно, по мере развития и совершенствования основных технологических процессов и механизации горных работ на карьерах при оценке снижения экологической нагрузки на окружающую среду при реализации технологических рекомендаций.

Выводы по главе 1

1. Проведен анализ, который свидетельствует, что на производительность выемочно-погрузочного оборудования оказывают совокупность факторов и параметров БВР и при этом находится в прямой зависимости от качества и надежности буровзрывной подготовки горных пород к выемке.

2. Выбор технологического горнотранспортного комплекса оборудования следует производить при одновременном обосновании открытой геотехнологии для разработки угольного месторождения.

3. Факторы, оказывающие влияние на качество взрывного дробления горной массы, являются, как правило, взаимосвязанными, что усложняет оценку при выборе оптимальных параметров БВР. В настоящее время методы расчета параметров паспорта БВР базируются преимущественно на определении удельного расхода ВВ.

4. Состав и тип взрывчатого вещества, диаметр скважин, пространственное размещение заряда в массиве, схемы инициирования зарядов, величина, конструкция и материал забойки определяют обеспечение качества требуемой подготовки горной массы к экскавации.

5. На производительность выемочно-погрузочного оборудования при выемке вскрышных пород в большей степени оказывают влияние: физико-механические свойства взрываемого массива (крепость и трещиноватость); конструктивные, технические и технологические параметры оборудования (емкость ковша, коэффициент экскавации, время черпания, показатель относительной эффективности работ) и конструктивные, геометрические и энергетические параметры БВР (удельный расход ВВ, тип ВВ и конструкция его заряда, сетка скважин), определяющие качество гранулометрического состава горной массы.

Глава 2 РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА БУРОВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

2.1 Анализ современного состояния и перспективы совершенствования процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород на угольных разрезах Кузбасса

Горно-геологические условия залегания угольных пластов месторождений Кузбасса характеризуются очень широким спектром, фактически вобравшим в себя весь возможный диапазон изменяющихся параметров: мощность пласта – от 0,5 до 60 м, угол падения – от 0 до 90°, дизъюнктивная нарушенность – от 0 до 300 м/га, глубина залегания пласта – от первых метров до 2 км. Марочный состав углей включает в себя все марки, предусмотренные к выделению государственным стандартом.

Общие ресурсы углей Кузбасса до глубины 600 м оцениваются в 218,5 млрд т, до глубины 300 м (горизонт ± 0 м) – 100,4 млрд т.

В Кузбасской области угольный бассейн разрабатывают множество предприятий, одно из них является «Кузбассразрезуголь», в который входят такие разрезы, как: «Краснобродский» с маркой угля Т, «Кедровский» с маркой СС, «Калтанский» с маркой Т. Годовой объем добычи в среднем составляет 7,8 млн т, 5 млн т и 4,25 млн т угля соответственно.

Вскрышная толща в основном представлена двумя литологическими разностями коренных пород балахонской серии – песчаниками и алевролитами. В небольшом количестве среди них распространены аргиллиты и углистые аргиллиты. Вся толща продуктивных отложений покрыта четвертичными отложениями. По инженерно-геологической классификации горных пород ТИСИ выделено три класса пород. Первый класс – породы без жестких структурных связей (глинистые породы); второй – породы с жесткими, но ослабленными процессами выветривания, связями (полускальные породы из зоны выветривания); третий – породы с жесткими связями (скальные породы).

В первый класс объединены четвертичные отложения, представленные суглинками и глинами. Мощность суглинков изменяется от нескольких сантиметров до 20 м. Глины в толще четвертичных отложений встречаются в подчиненном количестве в виде прослоев и линз.

Второй класс включает породы с жёсткими ослабленными структурными связями, они представлены выветрелыми песчаниками, алевролитами и углями, распространёнными до глубины 50–60 м. Преобладают в этом классе песчаники, мощность их изменяется от нескольких сантиметров до 50 м. Текстура пород – массивная и слоистая, преимущественно мелкозернистая. В меньшей степени развиты алевролиты. Мощность слоёв последних изменяется от нескольких сантиметров до 30 м. Текстура пород – массивная и слоистая, в отдельных пробах содержатся включения углистого вещества.

Третий класс объединяет незатронутые выветриванием песчаники, алевролиты, аргиллиты и угли. Песчаники, не затронутые выветриванием, являются наиболее распространёнными породами в пределах месторождения. По гранулометрическому составу они подразделяются на тонко-, средне- и крупнозернистые разновидности. Текстура – слоистая и массивная. Структура алевролитов, незатронутых выветриванием, – от тонко- до крупнозернистой, текстура – массивная и слоистая. Аргиллиты пользуются незначительным распространением, они встречаются в виде маломощных прослоев и линз. Текстура – массивная и тонкослоистая.

Абсолютные отметки поверхности на территории месторождения изменяются от 476 м до 226 м.

Климат района резко континентальный с максимальной температурой воздуха $+38^{\circ}\text{C}$, минимальной -40°C . Среднегодовое количество осадков изменяется от 500 до 870 мм.

Вмещающие породы представлены средне- и крупнозернистыми песчаниками и темно-серыми алевролитами (коэффициент крепости 6–10), категория по буримости VIII–XI, что также не вызывает серьезных осложнений при подготовке вскрышных пород к выемки.

Средневзвешанные значения коэффициентов крепости на Краснобродском, Калтанском и Кедровском угольных разрезах составляют в породах:

- в зоне выветривания – $f = 3-7$;
- ниже зоны выветривания – $f = 8-11$;
- в наиболее твердых включениях – $f = 12-13$.

В таблице 2.1 систематизированы и представлены основные параметры буровзрывных работ по трем угольным разрезам.

Таблица 2.1 – Основные параметры БВР угольных разрезов Кузбасса

Наименование разреза	Применяемый тип ЭВВ	Коэффициент крепости по М.М. Прото-дьяконову	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м	Применяемые средства инициирования
Кедровский	НПГМ-П-П-М (ТУ 20.51.11-016-37945333-2017), Бластит, Нитронит-П марка «С»	4–13	0,81–1,03; 0,7–1,58; 0,66–1,03	127, 149, 200–270	2,5×2,5 5,8×5,8 6,2×6,2	ИСКРА-СТАРТ, ДИН-П-0, Rionel X-0 и ДШ
Калтанский		3–14	0,8–1,0; 0,85–1,2; 0,6–0,65	216	2×2, 3×3, 4×4, 5,5×5,5	
Краснобродский	Бластит (ТУ 7276-026-07511502-2016), Нитронит-П марка «С» (далее Нитронит-П) (ТУ 7276-019-58995878-2015), Сферит-ДП (далее Сферит-П) (ТУ 7276-006-07511005-2016)	3–10	0,81–1,39	127, 152, 203–269,9	2×2, 3×3, 4×4 5×5 6×6	ИСКРА, «Коршун» и «Rionel»

Несмотря на то, что границы залегания исследуемых угольных разрезов находятся в пределах одних и тех же продуктивных отложений, принимаемые параметры БВР отличаются в зависимости от характеристик массива. На рисунках 2.1–2.3 представлены результаты выполненного анализа параметров БВР (типовых проектов и проектов на массовые взрывы) разрезов Кузбасса в виде аппроксимированных зависимостей.

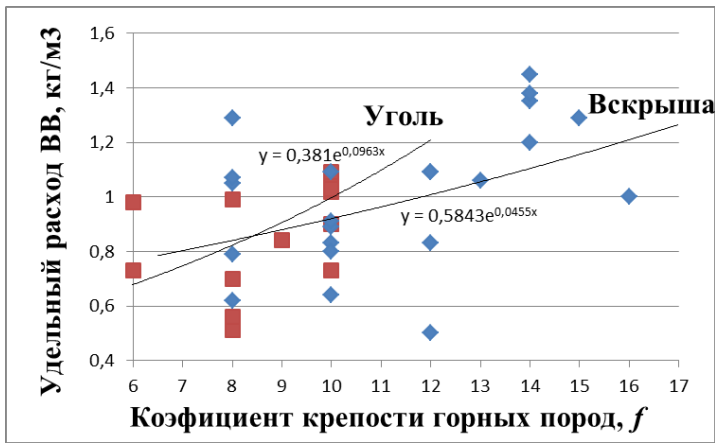


Рисунок 2.1 – Зависимость удельного расхода ВВ от крепости вскрышных пород и угля на месторождениях Кузбасса

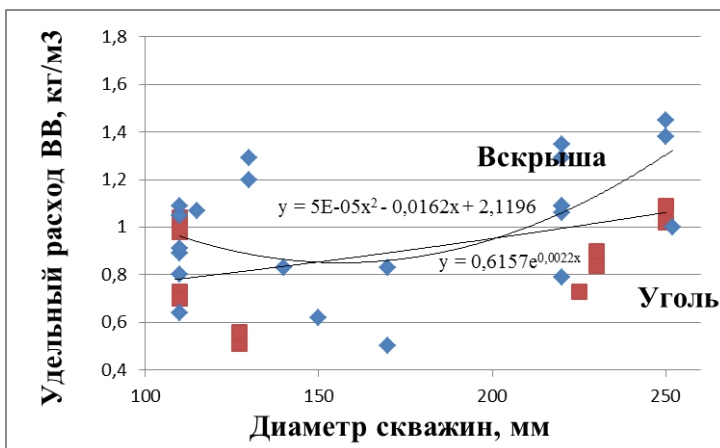


Рисунок 2.2 – Зависимость удельного расхода ВВ от диаметра скважинного заряда во взрывааемых вскрышных породах и угля на месторождениях Кузбасса

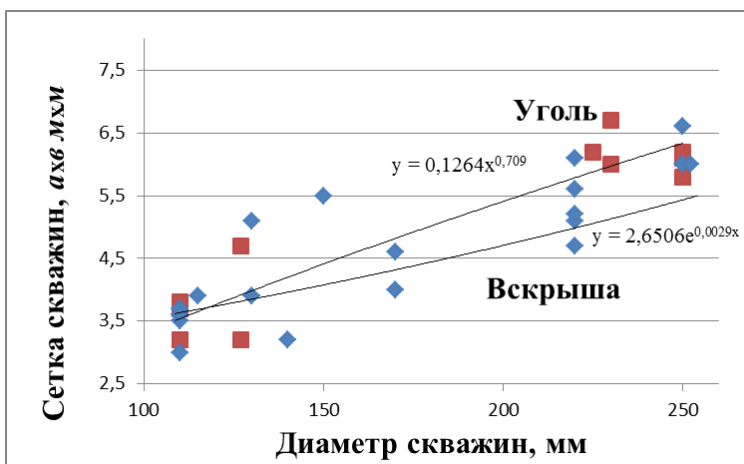


Рисунок 2.3 – Зависимость сетки скважин от диаметра скважинного заряда во взрывааемых вскрышных породах и угля на месторождениях Кузбасса

В таблице 2.2 приведены характеристики и типы буровых станков, широко применяемые на угольных разрезах Кузбасса. Это буровые станки с различными типами вращательно-подающих механизмов, которые характеризуются величиной усилия подачи, частотой вращения бурового става и др. Так, на разрезах Кузбасса более 90% это станки шарошечного бурения, где затраты на долота достигают 60–70% от всего процесса бурения, поэтому при оценке эффективности бурения необходимо особое внимание

уделять условиям эксплуатации буровой техники и, как следствие, энергетическим затратам.

Таблица 2.2 – Типы буровых станков, применяемых на угольных разрезах Кузбасса и их основные технологические характеристики

Наименование разреза	Применяемое буровое оборудование	Диаметр долота, мм	Глубина бурения скважины, м
Краснобродский	Ingersoll-Rand DM-45	127-228	54,9
	Ingersoll-Rand DML	152-270	53,3
	PitViper 271	193-269	32
Калтанский	3 СБШ 200-60	215,9	60
	DML-1200	215,9	53,3
Кедровский	Atlas Copco DM-45	127-229	54,9
	Atlas Copco DML	149-270	62,5
	Pit Viper PV-271	171-270	32
	Sandvik D50KS	152-229	45
	MP-200	170-250	54

В настоящее время потребности отечественных разрезов в мощных буровых станках удовлетворялись приобретением зарубежных и отечественных машин. Эксплуатационная производительность зарубежных станков в 1,5-2 раз выше, чем отечественных СБШ-215 ДГ, МР-200 и СБ-215 (Барс), но при этом они имеют высокую стоимость (от 1,5 до 2,5 млн долларов США и более) по сравнению с отечественными буровыми станками (СБШ-215 ДГ стоит 1,2 млн долларов США, станок СБ-215 (Барс) стоит 1,1 млн долларов США).

В настоящее время горно-геологические условия и сложившаяся на разрезах технология предопределили применение продольно-углубочной транспортной системы разработки при блочном порядке отработки запасов. Экскавация горной массы осуществляется одноковшовыми шагающими экскаваторами, канатными электрическими экскаваторами и гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата». Для транспортирования горной массы к местам складирования предусмотрено применение большегрузных автосамосвалов. Основные конструктивные параметры применяемого выемочно-погрузочного и доставочного оборудования приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Типы и характеристики выемочно-погрузочной горной техники, применяемой на угольных разрезах Кузбасса

Угольный разрез	Типы погрузочного оборудования	Вместимость ковша, м ³	Максимальная высота черпанья Н _ч , м	Максимальный радиус черпанья R _ч , м	Максимальная высота разгрузки Н _р , м
Краснобродский	P&H2800	33,6	16,16	24,2	12,8
	WK-35	35	16,2	24	9,4
	WK-20	20	13,6	21	9,1
	ЭКГ-32Р	32	19	24	10,5
	ЭКГ-15	15	16,4	22,6	10
	ЭКГ-12,5КУС	12	22,6	28,6	16,4
	ЭКГ-12,5УС	12	22	28	15,8
	ЭКГ-12	12	15	21	10
	CAR 375	3,6	13,57	14,6	9,44
	Libherr R984C	7	13,7	14,1	14
	Hitachi EX 1200-5(6)(BE)	6,7	12,41	13,75	11,2
	Volvo EC 460B	3,7	10,71	10,9	9,4
	Hitachi EX 1900-6	12	15,25	15,25	9,06
	Hitachi EX 3600-7	22	18,24	18,24	11,54
	Калтанский	ЭШ-11/70	10	35	66,5
ЭШ-13/50		13	21	46,5	20,5
ЭКГ-8И		8	12,5	18,2	9,2
ЭКГ-10		10	13,5	18,4	8,6
ЭКГ-12		12	15	21	10
ЭКГ-18Р		18	14,7	21,7	10,2
Liebherr 994		13	16	10,1	16
Кедровский	Terex RH-90	7	13	15,5	13
	ЭШ-10/70	10	27,5	66,5	27,5
	ЭКГ-35	35	19,3	25,5	12,3
	P&H-2800	33,6	16,6	24,2	12,8
	Liebherr R9200	12,5	14,03	14,8	9,71
	ЭКГ-18 (ЭКГ-18М)	18	16,6	22,2	10,9
	ЭКГ-15	15	16,4	22,6	10
	ЭКГ-12	12	15	21	10
	ЭКГ-10	10	13,5	18,4	8,6
	ЭКГ-8у	8	28,5	34	24
	Hitachi EX3600-6	22	17,7	18,2	11,5
	Hitachi EX1900	11	14,4	16	9,2
	Komatsu PC-1250	6,7	13	7,9	8,45
	Cat 395	6	12,3	12,2	8,1
	ЭШ 13/50	13	21	46,5	46,5
	ЭШ 10/70	10	35	66,5	66,5
	ЭШ 10/50	10	21	46,5	46,5
WK-20	20	13,54	21	9,07	
WK-35	35	16,2	24	9,4	

Приведенные данные в таблице 2.3 и полученные зависимости на рисунке 2.4 свидетельствуют о том, что при существующих параметрах подготовки горной массы к извлечению наиболее эффективной техникой являются выемочные машины с вместимостью ковша от 10–15 м³.

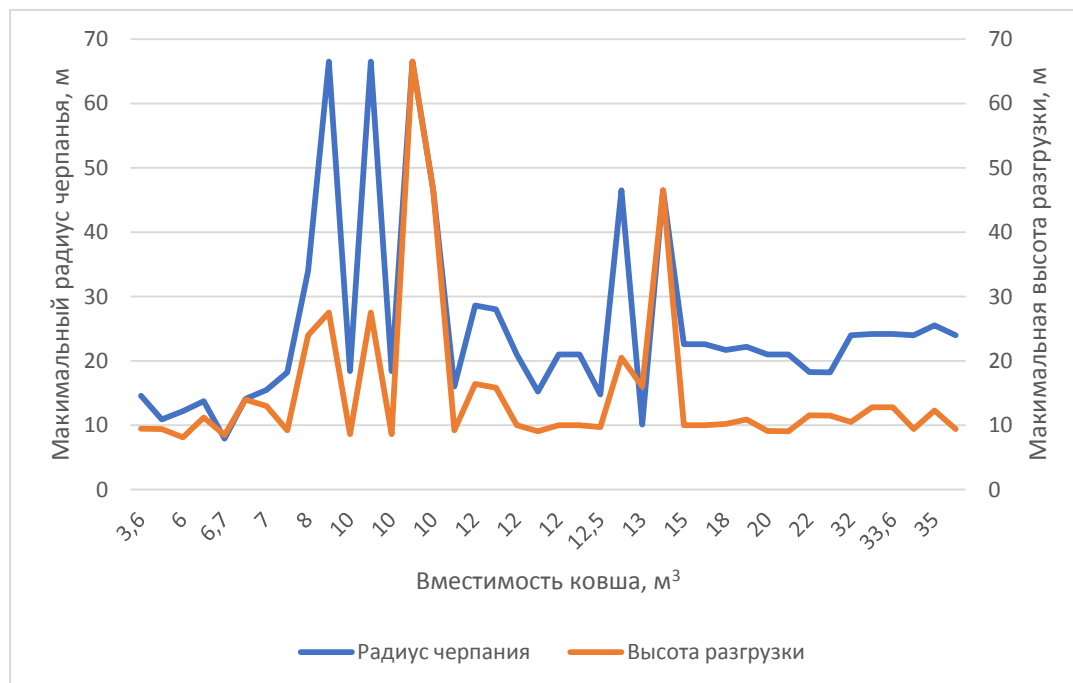


Рисунок 2.4 – Влияние вместимости ковша на радиус черпания и высоту разгрузки экскаваторов

Тип и характеристика большегрузных автосамосвалов, используемых на угольных разрезах Кузбасса, указаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Характеристика большегрузных автосамосвалов, применяемых на угольных разрезах Кузбасса

Угольный разрез	Применяемое оборудование	Грузоподъемность, т	Мощность двигателя, кВт
Краснобродский, Калтанский, Кедровский	БЕЛАЗ-75602	360	2800
	БЕЛАЗ-75302	220	1715
	БЕЛАЗ-7513	140	1400
	Cat 793D	218	1801
	Cat 785D	133	1082
	830E-1AC	221,6	2394,3
	HD1500-8	141	1499,7

Таким образом, для угольных разрезов Кузбасса характерны следующие природные условия, технические и технологические факторы,

влияющие на эффективность процесса буровзрывной подготовки и всей технологической цепочки выемки горной массы при современных внешних и внутренних требованиях рынка:

- изменение горно-геологических, горнотехнических и технологических условий с увеличением глубины разрезов, то есть увеличение объема исходной информации;
- повышение производительности на мощных угольных разрезах и, как следствие, применение высокоуступных геотехнологий.
- повышение прочности и снижение трещиноватости массива с увеличением глубины разрезов, являющихся основными показателями, влияющими на основные параметры буровзрывных работ;
- снижение степени взрывного дробления горной массы с увеличением высоты уступов и глубины разрезов;
- техническое перевооружение угольных разрезов на современное зарубежное и отечественное горнотранспортное оборудование;
- внедрение нового технологического уклада на мощных угольных разрезах.

Поэтому важным условием при обосновании процесса подготовки и определении рациональных параметров БВР с учетом данных факторов открытой геотехнологии является адаптация и совершенствование современных методик проектирования параметров и организация ведения буровзрывных работ на мощных угольных разрезах Кузбасса. На рисунке 2.5 представлена схема современной организации процесса буровзрывной подготовки на угольных разрезах Кузбасса.

Таким образом, целью буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке в современных условиях освоения мощных угольных месторождений Кузбасса является обеспечение заданного грансостава для повышения эффективности смежных и последующих технологических процессов при соблюдении безопасности ведения взрывных и горных работ.

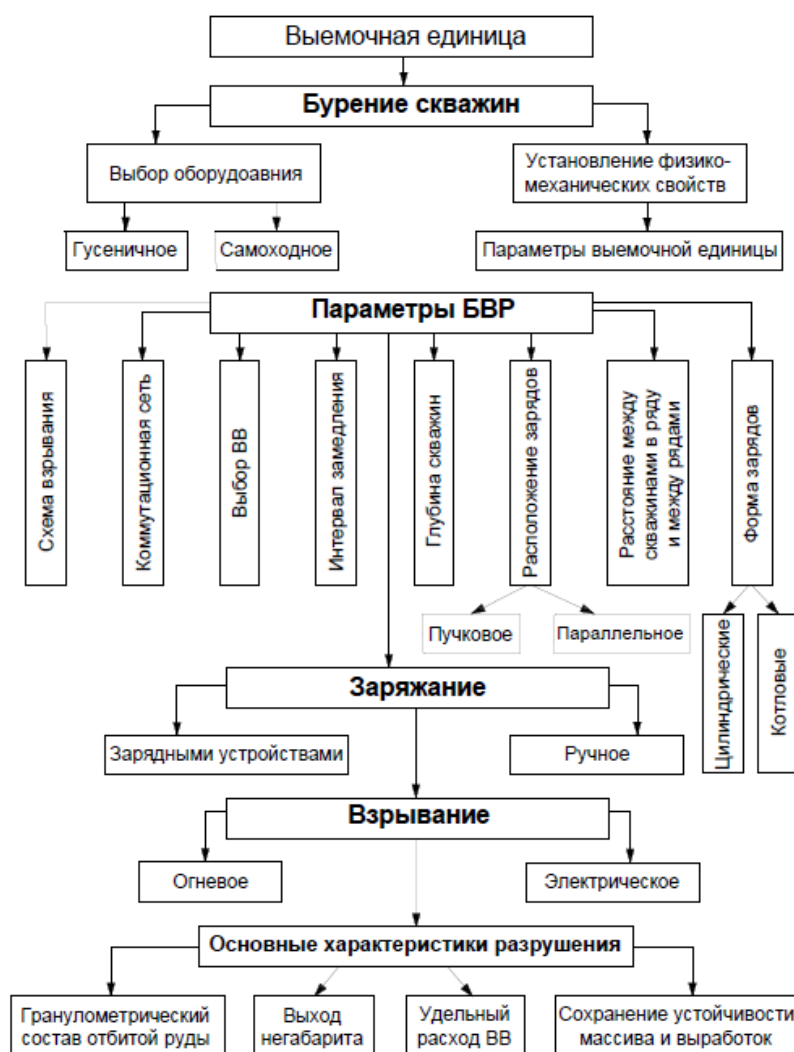


Рисунок 2.5 – Структура организации процесса БВР на угольных разрезах Кузбасса

Выделим наиболее значимые факторы и их решения при внедрении нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса и для повышения эффективности процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород (таблица 2.5):

- переход от тротилосодержащих ВВ на ЭВВ;
- переход на механизированный способ зарядки с применением СЗМ;
- переход от взрывания с помощью ДШ на НСИ и электронное взрывание;
- переход на поскважинное и внутрискважинное замедление;
- адаптация и оптимизация методик расчета параметров БВР с учетом свойств взрываемого массива, характеристик применяемых ВВ и

совокупности факторов: горно-геологических, горнотехнических, технологических, а также безопасности и экологических.

Таблица 2.5 – Систематизация факторов, влияющих на эффективность процесса буровзрывной подготовки к выемке вскрышных пород на мощных угольных разрезах Кузбасса

Условия и факторы, характеризующие технологию буровзрывной подготовки к выемке вскрышных пород	Технические, технологические и организационные решения для повышения эффективности процесса буровзрывной подготовки вскрышного массива к выемке	Оценка качественных и количественных показателей технологии буровзрывной подготовки к выемке пород вскрыши
1. Изменение по глубине и в плане разреза физико-механических свойств вскрышных пород (прочность, крепость, плотность)	Обоснование технологии и параметров буровзрывной подготовки к выемке вскрышных пород, адаптированных к изменяющимся условиям на всех стадиях освоения месторождения	Совершенствование технологии и оптимизация параметров процесса буровзрывной подготовки к выемке вскрышных пород и адаптация традиционных методик к изменяющимся условиям
2. Увеличение высоты вскрышных уступов мощных угольных месторождений (зарядка и взрывание глубоких скважин)	Переход на новые рецептурные составы эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ)	Совершенствование технологии и оптимизация параметров буровзрывной подготовки к выемке вскрышных пород за счет применения ЭВВ
3. Повышение производственной мощности разрезов и объемов подготовки пород вскрыши к выемке	Переход на механизированный способ с применением СЗМ (механизация процесса подготовки)	Снижение трудоемкости работ, повышение безопасности при обращении с ВВ и, как следствие, производительности труда в 3–5 раз
4. Повышение безопасности при взрывной подготовке на прилегающие охраняемые объекты (разлет, сейсмика, УВВ и газовый фактор)	Переход на покскважинное и внутрискважинное замедление	Обеспечение условий безопасности по поражающим факторам (разлет, сейсмика, УВВ и газовый фактор)
5. Повышение опасности доставки ВВ заводского изготовления	Переход от тротилосодержащих ВВ на ЭВВ из невзрывчатых компонентов матричной эмульсии, изготавливаемых в процессе зарядания скважин СЗМ	Снижение затрат в 2–3 раза на взрывчатые материалы, повышение безопасности при транспортировании и зарядке ЭВВ, сокращение обслуживающего персонала
6. Увеличение выхода некондиционных фракций (переизмельчение и негабарит)	Совершенствование способов и методов управления энергией взрыва (геометрические, конструкционные и энергетические параметры БВР)	Увеличение выхода кондиционных фракций на 30-40 % за счет снижения зоны нерегулированного дробления
7. Обеспечение требуемого фракционного состава взорванной горной массы	Совершенствование способов и методов управления энергией взрыва (геометрические, конструкционные и энергетические параметры БВР)	Достижения необходимой степени дробления горных пород и снижение энергетических затрат на БВР за счет совершенствование технологии разрушения, способов и методов управления энергией взрыва

Таким образом, в результате выполненного анализа по повышению эффективности БВР при подготовке к выемке вскрышных пород при внедрении нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса выявлены и систематизированы основные факторы, а также обозначены технические и технологические решения, позволяющие компенсировать негативное воздействие взрыва с точки зрения безопасности, повышения качества взрывной подготовки и технико-экономических показателей всего комплекса БВР.

При росте объемов буровзрывной подготовки к выемке вскрышных пород возможно повышение эффективности функционирования горнодобывающих предприятий угольной промышленности Кузбасса за счет внедрения нового технологического уклада на мощных угольных разрезах при управлении энергоемкостью процессов взрывного разрушения в общем энергобалансе технологических процессов.

2.2 Оценка энергетических затрат буровзрывной подготовки в общем энергобалансе выемки вскрышных пород при высокоуступной геотехнологии

Процесс буровзрывной подготовки определяет энергоемкость последующих процессов выемки вскрышных пород [86, 100, 139, 174], а для высокоуступной геотехнологии имеет наиболее важное значение.

Энергоемкостью технологических процессов открытой геотехнологии занимались Б.П. Белых, И.П. Маляров, И.С. Олейников, В.К. В.А. Падуков, Свердель, В.Н. Сытенкова, И.А. Тангаев, П.И. Тарасов и другие известные ученые. Их труды посвящены вопросам совершенствования технологических процессов горно-обогатительного производства с точки зрения их энергетических характеристик и сопротивляемости пород разрушению.

При этом интенсивность разрушения вскрышных пород в процессе буровзрывной подготовки пропорциональна потребляемой энергии. Грузопотоки вскрышных пород объединяются в отвальных объемах, где

происходит объединение результатов деятельности единичных систем низшего уровня в конечный результат функционирования сложной геотехнической системы высшего уровня – выемочно-отвального комплекса.

Современная система горнодобывающего производства потребляет большое количество различных видов энергии. При этом учет ведется суммарно и относится на единицу конечного продукта – 1 т полезного ископаемого или 1 м³ вскрыши, где минимум данных удельных энергозатрат при минимальной себестоимости являются критерием эффективности технологического процесса и горного производства в целом. На рисунке 2.6 представлена схема (система) информационных и энергетических потоков выемочно-отвального комплекса, где входящие в систему основные потоки обозначены линиями – ВВ, ДТ, ЭЭ (химическая (ВВ), электрическая и тепловая энергии), которая может использоваться для оптимизации процесса и технологии в целом по критерию минимальной энергоемкости.

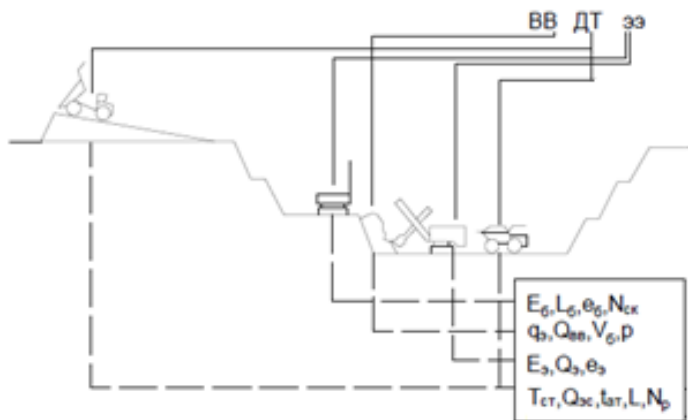


Рисунок 2.6 – Схема информационных и энергетических потоков выемочно-отвального производства

В работе И.П. Малярова [86] на основе энергетического принципа выполнено обоснование технологии горно-перерабатывающего производства, где энергоемкость процесса связано с производительностью горнотранспортного оборудования по зависимости

$$e = \frac{E}{Q} \quad (2.1)$$

где e – энергоемкость, Дж/м³; E – потребляемая энергия, Дж; Q – производительность горнотранспортного оборудования, м³/ч, т/ч.

То есть энергоёмкость технологического процесса – это интегральный показатель, учитывающий свойства разрабатываемого массива и параметры технологического процесса для принятого горнотранспортного оборудования.

В работе [100] выделены факторы, влияющие на электропотребление оборудования, используемого при добыче и переработке твердых полезных ископаемых.

И.А. Тангаевым [139, 174] выполнены фундаментальные исследования в области обоснования энергоёмкости процессов открытой геотехнологии.

В соответствии с концепцией квазихрупкого разрушения, где мерой сопротивляемости твердых тел (пород) является удельная поверхностная энергоёмкость, и ее величина не зависит от нагрузок, формы и размера тел и представляет физическую константу. В результате выполненных экспериментов была установлена эмпирическая зависимость энергоёмкости шарошечного бурения и разрушения горных пород взрывом [173].

Результаты исследований энергоёмкости основных технологических процессов открытой геотехнологии [69, 120, 138] и дополненные данные из научно-технических источников обобщены и приведены в таблице 2.6, где транспортирование горной массы является наиболее энергоёмким процессом.

Таблица 2.6 – Энергоёмкость основных технологических процессов открытой геотехнологии [69, 120]

Технологический процесс открытой геотехнологии	Потребляемая энергия	Единица измерения	Энергоёмкость	
			фактическая	приведенная к МДж/т
Бурение (шарошечное)	Электрическая	кВт·ч/м ³	0,1–0,2	0,14–1,6
Взрывание	Химическая, ВВ	кг/м ³	0,15–1,5	0,23–2,3
Экскавация	Электрическая	кВт·ч/м ³	0,15–1,2	0,2–1,6
Транспорт*:				
– автомобильный	Тепловая	кг/ткм	0,11–0,15	19
– электровозный	Электрическая	кВт·ч/ткм	0,3–0,5	11
– конвейерный	Электрическая	кВт·ч/ткм	0,2–0,3	6

* Транспортирование 1 т груза на высоту 1 м.

Рассмотрим процесс буровзрывной подготовки пород вскрыши, который включает бурение и взрывание массива горных пород. Энергоемкость обуривания 1 м^3 массива горных пород, МДж/м^3 , определяется как

$$e_{об} = \frac{e_б \cdot L}{V} = \frac{e_б}{\varpi}, \quad (2.2)$$

где $e_б$ – энергоемкость бурения 1 м скважины, МДж/м ; L – глубина скважины, м; V – объем скважины, м^3 ; ϖ – выход горной массы с 1 погонного метра, $\text{м}^3/1 \text{ п.м.}$

Энергоемкость взрывного дробления, МДж/м^3 , определяется как

$$e_в = \varepsilon \cdot q, \quad (2.3)$$

где ε – удельная энергия ВВ, МДж/кг ; q – удельный расход ВВ, кг/м^3 .

Получаем, что энергоемкость БВР, МДж/м^3 , определяется как

$$e_n = e_{об} + e_в, \text{МДж/м}^3 \quad (2.4)$$

Энергоемкость карьерного транспорта зависит от расстояния транспортирования и разности высотных отметок уровней рабочей зоны карьера (разреза) и отвальных работ, где расход энергии при подъеме на 1 м по высоте 1 т горной массы, кДж/тм , определяется по формуле

$$e_{ат} = q_m Q_{дт} / H_n \quad (2.5)$$

где q_t – удельный расход топлива, г/ткм ; $Q_{дт}$ – теплота сгорания 1 кг дизельного топлива, кДж/г ; H_n – высота подъема груза на 1 км карьерной автодороги, м.

Эффективность работы экскаватора в развале зависит от качества дробления (среднего диаметра куска $d_{ср}$ и т.д.).

При этом удельное время черпания $t'_ч$, с/м^3 , с/т , определяется как

$$t'_ч = \frac{\sum t_q}{V}, \quad (2.6)$$

$$t'_q = \frac{\sum t_q}{P}, \quad (2.7)$$

где t_q – время черпания, с; V – емкость ковша, м³; P – грузоподъемность ковша, т.

В применяемой методике проф. И.А. Тангаева [170] не учитывается трещиноватость, оказывающая влияние на процесс буровзрывной подготовки и, как следствие, на все технологические процессы выемки вскрышных пород на мощных угольных месторождениях.

В условиях угольных месторождений на примере разрезов ПАО «Кузбасразрезуголь» – «Краснобродский» и «Кедровский» выполнены исследования энергоемкости процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке. Так, энергоемкость бурения изменяется в диапазоне 0,8–5,3 кВт·ч/м для вскрышных пород месторождений «Краснобродский» и «Кедровский», и выполнено районирование по глубине разреза с учетом трещиноватости. Установлено, что верхние горизонты сложены в основном средне- и сильнотрещиноватыми породами, а с понижением горных работ – малотрещиноватыми (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Энергоемкость бурения в зависимости от категории буримости и трещиноватости пород вскрыши месторождений «Краснобродский» и «Кедровский»

Категория пород по буримости и трещиноватости	Энергоемкость процесса бурения на разрезах, кВт·ч/м	
	Краснобродский	Кедровский
Легкобуримые (сильнотрещиноватые)	0,9 – 2,1	0,8 – 1,6
Средней трудности бурения (среднетрещиноватые)	2,2 – 3,7	1,7 – 3,3
Труднобуримые (малотрещиноватые)	3,8 – 5,1	3,4 – 5,3

В результате исследований энергоемкости взрывной подготовки вскрышных пород на Краснобродском месторождении угля установлены аппроксимированные зависимости степени взрывного дробления от трещиноватости вскрышных пород (рисунок 2.7).

Установлено, что при увеличении энергоемкости процесса подготовки с 2 до 5,3 МДж/м³ степень взрывного дробления сильнотрещиноватых вскрышных пород возрастает с 1,2 до 1,6, среднетрещиноватых – с 1,8 до 2,6, малотрещиноватых – с 3,1 до 5,1.

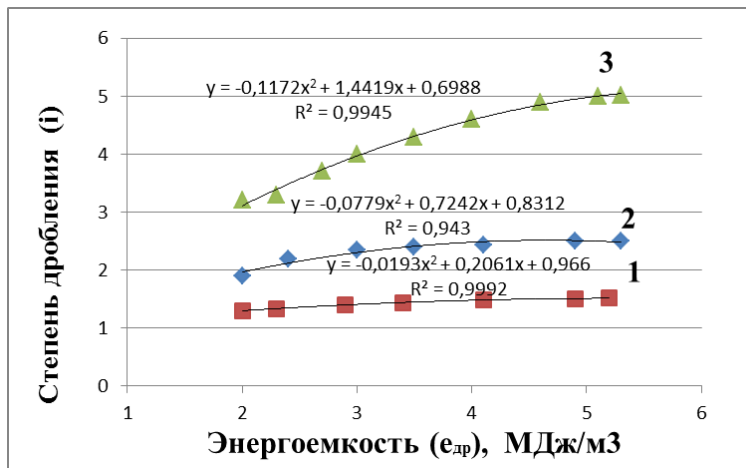


Рисунок 2.7 – Зависимость степени взрывного дробления от энергоемкости процесса взрывного разрушения и трещиноватости вскрышных пород Краснобродского месторождения
 1 – сильнотрещиноватые;
 2 – среднетрещиноватые;
 3 – малотрещиноватые

Проведенные исследования на Краснобродском и Кедровском месторождениях позволили установить зависимости энергоемкости на бурение (e_б), взрывного дробления (e_в), экскавации (черпания) (e_ч) и транспортирования (e_т) вскрышных пород различной трещиноватости от среднего размера куска (рисунки 2.8–2.11).

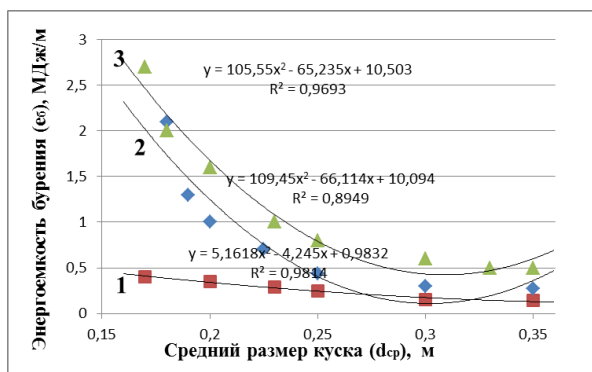


Рисунок 2.8 – Зависимость энергоемкости бурения от среднего размера куска:

- 1 – сильнотрещиноватые;
- 2 – среднетрещиноватые;
- 3 – малотрещиноватые

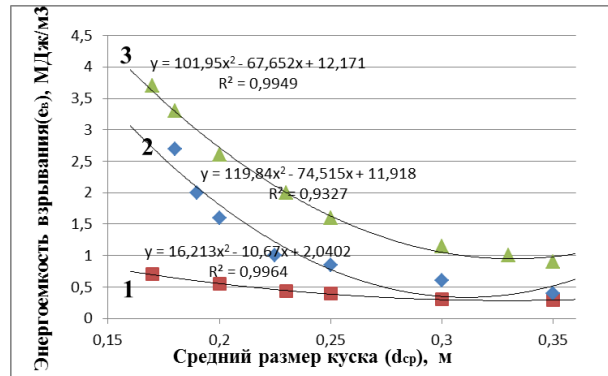


Рисунок 2.9 – Зависимость энергоемкости взрывного дробления от среднего размера куска:

- 1 – сильнотрещиноватые;
- 2 – среднетрещиноватые;
- 3 – малотрещиноватые

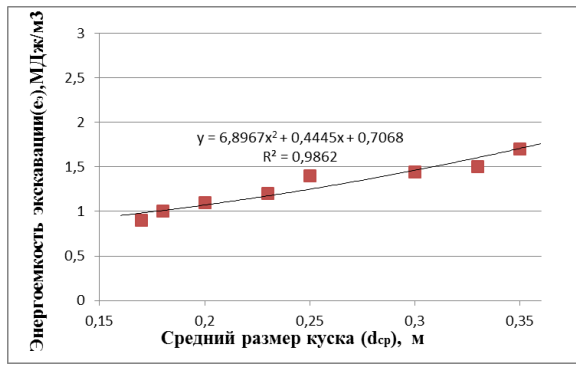


Рисунок 2.10 – Зависимость энергоемкости экскавации (черпания) экскаватора ЭКГ-12,5 от среднего диаметра куска

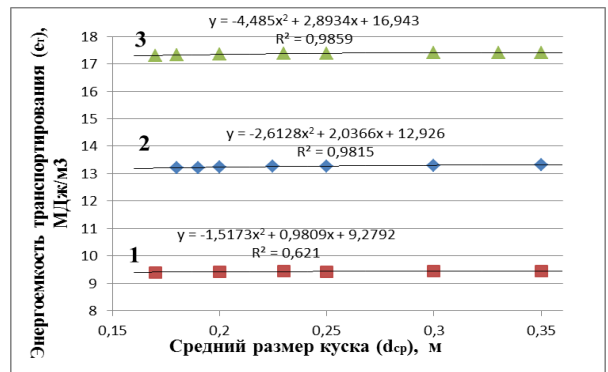


Рисунок 2.11 – Зависимость энергоемкости транспортирования горной массы от среднего размера куска:
1 – БелАЗ-7513; 2 – БелАЗ-75302;
3 – БелАЗ-75602

Таким образом, энергоемкость операции черпания процесса экскавации зависит от грансостава взорванной горной массы, но при этом средний размер куска на энергоемкость процесса транспортирования практически не оказывает влияния.

Суммарная энергоемкость основных технологических процессов открытой геотехнологии при выполнении вскрышных работ имеет параболический вид (рисунок 2.12) и определяется по формуле

$$e_{\text{сумм}} = e_{\text{б}} + e_{\text{в}} + e_{\text{э}} + e_{\text{т}}, \quad (2.8)$$

где $e_{\text{б}}$ – энергоемкость бурения, МДж/м³; $e_{\text{в}}$ – энергоемкость взрыва, МДж/м³; $e_{\text{э}}$ – энергоемкость экскавации, МДж/м³; $e_{\text{т}}$ – энергоемкость транспортирования, МДж/м³.

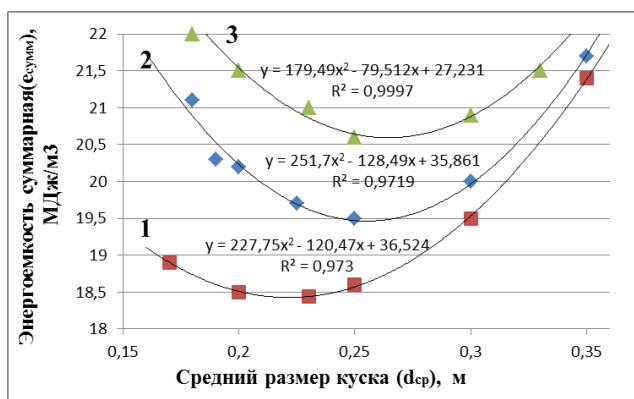


Рисунок 2.12 – Зависимость суммарной энергоемкости от среднего размера куска:
1 – сильнотрещиноватые;
2 – среднетрещиноватые;
3 – малотрещиноватые

При этом оптимальной считается область при которой функция принимает минимальные значения, то есть, $e_{\text{сумм}} = \sum e_i \rightarrow (\min \pm \Delta)$ (2.9)

Таким образом, анализ энергоемкости всех технологических процессов открытой геотехнологии показал, что основная доля управляемых энергозатрат относится к процессам подготовки горных пород к выемке и экскавации, а процесс транспортирования следует считать условно-постоянными. При этом эффективность работы вскрышного выемочно-транспортного комплекса на угольных разрезах Кузбасса достигается обоснованием параметров БВР на основе существующих методик и тенденций развития научно-методических основ.

2.3 Исследование и обоснование выбора способов изготовления и доставки эмульсионных взрывчатых веществ на угольных разрезах Кузбасса

В начале XXI века на территории России, Казахстана и Белоруссии бурными темпами внедряются в производство БВР эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) на основе дисперсных систем, состоящие из двух взаимно невзаимодействующих между собой жидкостей, одна из которых распределяется в другой в виде мельчайших капель. Это класс промышленных взрывчатых веществ (ВВ) на основе обратных (инвертных) эмульсий «вода в масле» [107, 143].

В настоящее время разработка данного класса ЭВВ представляет четвертый этап развития водосодержащих взрывчатых веществ (ВВВ), получаемых на основе эмульсии обратного типа (капельки водного раствора аммиачной селитры (АС) в масле). Он обладает следующими преимуществами относительно штатных ВВ [7, 43, 72, 73, 89, 165]:

- безопасность к механическим и тепловым воздействиям;
- регулирование и управление взрывчатыми характеристиками в широком интервале рабочих плотностей от 0,5 до 1,5 кг/см³;
- водоустойчивость.

ЭВВ типа «вода в масле» известны с 1969 года, когда в патенте США [105] Г. Блюм описал его составы, в которые входят воднодисперсная фаза (водный раствор неорганических солей-окислителей), непрерывная фаза из

жидких углеводородов, эмульгатор и диспергированные газовые пузырьки. Этот состав обеспечивает оптимальные экономические и технологические показатели производства буровзрывных работ (БВР) в соответствии с особенностями горнотехнических условий разработки месторождения.

В настоящее время на месторождениях Урала и Кузбасского угольного бассейна в основном используют ЭВВ типа «Сибирит-1200», «НПГМ-100», «Нитронит Э-100», РПГМ-100 и др. (таблица 2.8) [34].

Согласно данным предприятий, представленных в таблице месторождений, применение ЭВВ производится при следующих условиях:

- расстояние транспортирования эмульсионной матрицы – до 500 км;
- производительность по горной массе – 200 тыс. м³/год до 50 млн м³/год;
- максимальная масса ЭВВ в блоке – 200 т.

Таблица 2.8 – Типы эмульсионных взрывчатых веществ, применяемых при разработке угольных месторождений Кузбасса

Угольная компания	Наименование угольного разреза	Применяемые типы ЭВВ
АО «УК «Кузбассразрезуголь»	Кедровский	РПГМ-100, РПГМ-70, РПГМ ПС
	Моховский	
	Бачатский	
	Краснобродский	
	Талдинский	
	Калтанский	
АО «ХК «СДС-Уголь»	Черниговец	Нитронит Э-100, Нитронит Э-70, Нитронит Э-50, Нитронит Э-25
	Первомайский	
	Восточный	
АО «СУЭК-Кузбасс»	Заречный	РПГМ-100, РПГМ-70, РПГМ ПС
	Камышанский	
ООО «МелТЭК»	Киселевский	РПГМ-100
	Прокопьевский	
	Степановский	
	Сибэнергоуголь	
ПАО «Южный Кузбасс» (ПАО «Мечел»)	Красногорский	РПГМ-100
	Сибиргинский	
	Ольжерасский	
ПАО «Распадская»	Распадский	РПГМ-100
	Распадский-Кокосовый	

При внедрении ЭВВ на карьерах и разрезах необходимо обоснование энергетических параметров ЭВВ в зависимости от климатических и горно-геологических условий разработки месторождений, что приводит к выбору наиболее оптимального состава ЭВВ по разработанным маркам согласно техническим условиям. Так, ЭВВ «РПГМ» согласно ТУ изготавливается следующих марок: РПГМ – 100; РПГМ – 70.

В современных условиях недропользования, как правило, все горнодобывающие предприятия при обосновании проектных решений усредняют свойства горных пород для применения одного типа ВВ при заданном удельном расходе ВВ на 1 м^3 взрываемого горного массива. При этом ухудшаются показатели взрыва [35, 67, 85]:

- увеличивается выход негабарита;
- увеличивается переизмельчение (фракция 0–20 мм);
- не прорабатывается подошва уступа.

ЭВВ, как уже было отмечено, обладают основным преимуществом по сравнению со штатными ВВ – варьирование диапазона качественных характеристик с учетом изменения свойств взрываемого массива горных пород месторождения в целом, так и в рамках одного взрываемого блока [110, 131, 169]. ЭВВ типа «вода в масле» в зависимости от основных компонентов на завершающей стадии изготовления (зарядка эмульсии в скважину или в СЗМ) делятся на два подкласса: с добавлением или без добавления сухой фазы АС в раствор матричной эмульсии перед смешиванием ее с газогенерирующей добавкой (ГГД) для активации процесса газогенерации (рисунок 2.13).

Ниже приведены составы основных компонентов и диапазон изменения их взрывчатых характеристик ЭВВ в процентах по массе согласно техническим условиям [1, 149-152] (таблицы 2.9–2.11).

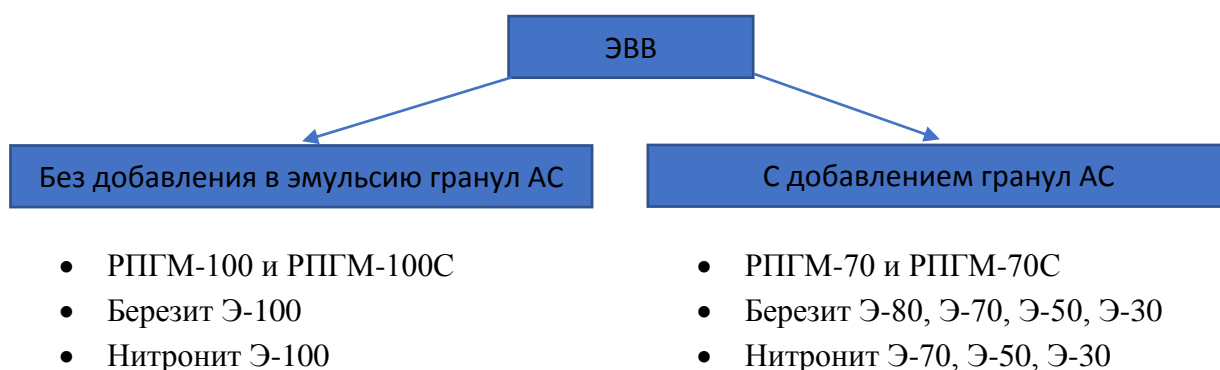


Рисунок 2.13 – Классификация эмульсионных взрывчатых веществ типа «вода в масле» в зависимости от сухой фазы аммиачной селитры

Таблица 2.9 – Соотношение эмульсии и газогенерирующих добавок в процентах по массе для ЭВВ, не содержащих сухую фазу аммиачной селитры, и их взрывчатые характеристики

Наименование	Состав компонента, %
	РПГМ-100
Эмульсия	98,5
Газогенерирующая добавка	1,0–3,0
Теплота взрыва, ккал/кг (кДж/кг)	558 (2335,5)
Скорость детонации, м/с	5 400

Таблица 2.10 – Соотношение эмульсии и газогенерирующих добавок в процентах по массе для ЭВВ, содержащих сухую фазу аммиачной селитры, и их взрывчатые характеристики

Наименование	Состав компонента, %
	РПГМ-70
Эмульсия	67,0-69,0
Аммиачная селитра	30
Газогенерирующая добавка	1,0 - 3,0
Теплота взрыва, ккал/кг (кДж/кг)	716 (2993)
Скорость детонации, м/с	5 000

Таблица 2.11 – Содержание компонентов матричной эмульсии (100 %) в процентах по массе для РПГМ-100 согласно ТУ

Наименование компонента	Состав компонента, мас. %
	РПГМ-100
Эмульсия	100
Селитра аммиачная	78,0
Селитра натриевая (кальциевая)	–
Вода	16,0
Масло промышленное	5,2
Эмульгатор	0,8

На выбор состава ЭВВ оказывают существенное влияние применяемые способы изготовления, доставки ЭВВ к приготавливаемому блоку, а также схема зарядки скважин.

Исходя из анализа мирового и отечественного опыта изготовления эмульсионных составов взрывчатых веществ на технологических комплексах [110], предлагается их классифицировать в соответствии с энергетическими характеристиками, определяющими на месте приготовления следующие типы:

- стационарные (завод);
- полустационарные (контейнеры);
- мобильные (передвижные комплексы).

Стационарные технологические комплексы целесообразно устанавливать в непосредственной близости к энергоресурсам и железнодорожным станциям для снабжения завода основными компонентами, необходимыми для приготовления ЭВВ. Основное преимущество стационарного завода – это низкая стоимость изготовления ЭВВ и возможность обслуживания нескольких месторождений, отсутствие ограничения по производственной мощности [8, 134].

Полустационарные технологические комплексы модульного либо контейнерного типа целесообразно устанавливать при обслуживании одного карьера и значительной удаленности от транспортной инфраструктуры и химического завода изготовителя аммиачной селитры.

Мобильные технологические комплексы типа «Машина-завод» (г. Кемерово) целесообразно использовать при расположении карьера в непосредственной близости от химического завода или склада АС.

Схемы технологических комплексов по изготовлению ЭВВ стационарного, полустационарного и мобильного типов представлены на рисунках 2.14–2.16.

Основные характеристики технологических комплексов приготовления ЭВВ представлены в таблице 2.12.

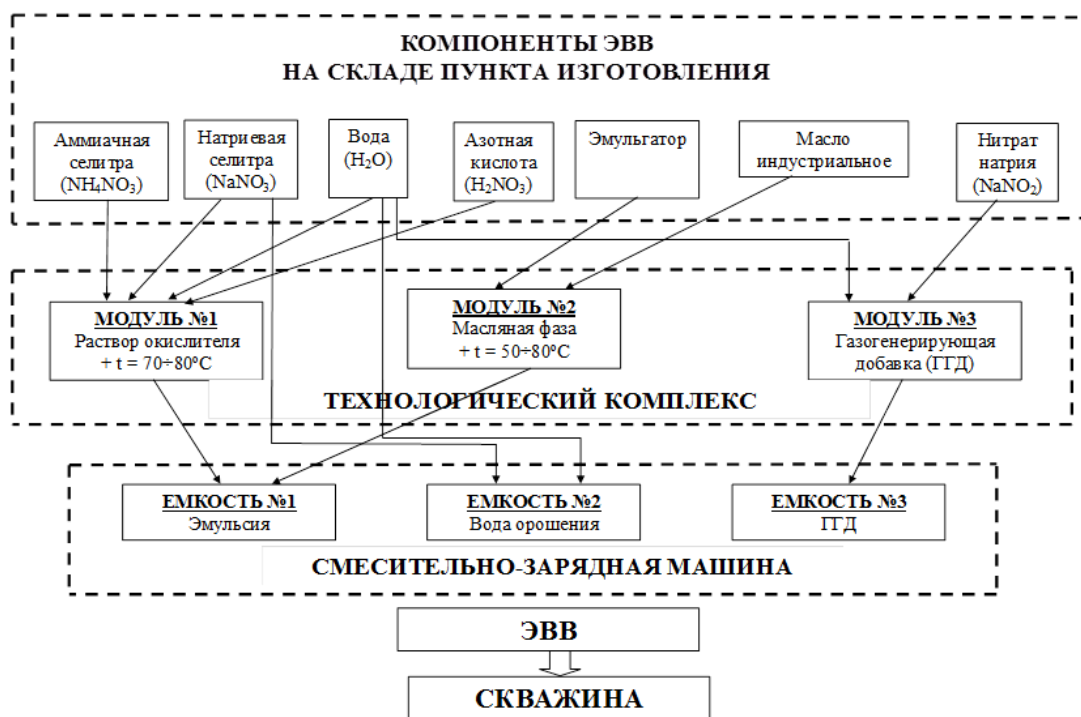


Рисунок 2.14 – Технологическая схема производства ЭВВ «Сибирит-1000» и «Сибирит-1200» на ООО «Уральский Сибирит»

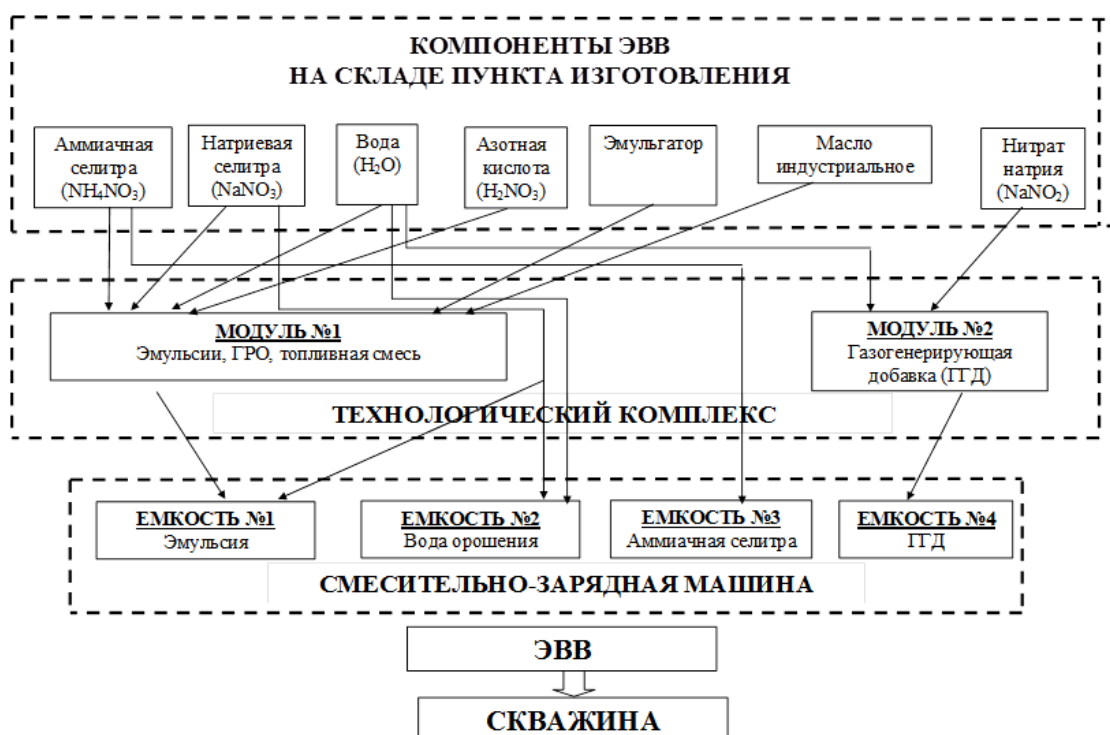


Рисунок 2.15 – Технологическая схема производства ЭВВ «НПГМ» на полустационарном модуле АО «НИПИГОРМАШ»

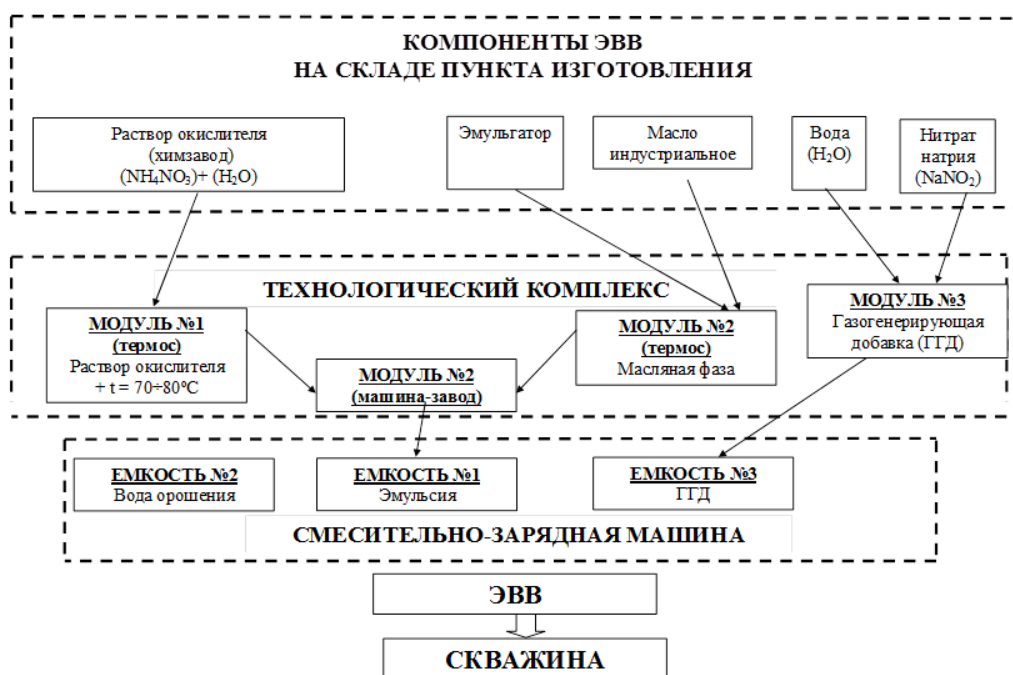


Рисунок 2.16 – Технологическая схема производства ЭВВ на передвижном комплексе «Машина-завод» (г. Кемерово)

Таблица 2.12 – Характеристики технологических комплексов приготовления ЭВВ

Тип технологического комплекса	Производительность, т/год	Сырьевая база	Рецептура	Область применения	Характерный пример
Стационарный (Технологический комплекс №1)	Более 30 000	Базовый химический завод	Переменная, определяется в зависимости от условий карьера, изменяется в автоматическом режиме	Разрезы с различными горно-геологическими, горнотехническими и климатическими условиями, как правило в радиусе 1000 км от завода	АО «Нитро Сибирь – Кузбасс», г. Кемерово «Сибирит-1000», «Сибирит-1200»
Полустационарный (Технологический комплекс №2)	Не более 17 000	Базовый химический завод	Условно-постоянная, как правило без адаптации к внешним условиям карьера	Разрез или разрезы с постоянными горно-геологическими и климатическими условиями в радиусе 1000 км. Влияние низкой температуры	АО «НИПИГОРМАШ» г. Екатеринбург «НПГМ»
Мобильный (Технологический комплекс №3)	Более 20 000	Любой химический завод в радиусе 100 км	Постоянная, заданная применительно к условиям обслуживаемого разреза	Разрез с заданными условиями в радиусе 300 км	г. Кемерово

Следует отметить, что строительство стационарных и полустационарных технологических комплексов предусматривает наличие совместного предприятия (роялти) - производителя и необходимости капитального строительства или специально подготовленной площадки.

Возможные варианты применения технологических схем изготовления и доставки ЭВВ рассмотрены на примере разрезов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – Кедровский и Краснобродский.

Филиал АО «УК «Кузбассразрезуголь» – «Кедровский угольный разрез» административно находится на территории Кемеровского муниципального района, в Кемеровском геолого-экономическом районе Кузбасса. В 2 км к югу от участка находится поселок Кедровка Кемеровского городского округа, вблизи железнодорожной магистрали Кемерово-Анжеро-Судженск (с выходом на Транссиб). Ближайшая железнодорожная станция Латыши находится в 3 км к юго-востоку.

По административному делению Краснобродское каменноугольное месторождение расположено на территории Беловского района Кемеровской области. При выборе способов изготовления эмульсионных взрывчатых веществ для ведения взрывных работ на разрезах Кедровский и Краснобродский были рассмотрены три конкурирующих варианта:

Вариант 1. Стационарный или полустационарный технологический комплекс для изготовления ЭВВ. При этом важно отметить, что расположение вблизи угольных разрезов железнодорожных станций позволяет выполнить строительство и установку собственных стационарных или полустационарных технологических комплексов. В этом варианте на стоимость производства и доставки ЭВВ оказывают влияние следующие факторы: наличие совместного предприятия (роялти); готовность проектов на капитальное строительство по вариантам стационарного и полустационарного комплексов со сроком ввода в эксплуатацию более 1 года при капитальных затратах более 500 млн руб.

Вариант 2. Стационарный технологический комплекс на базе действующего завода АО «Нитро Сибирь – Кузбасс», г. Кемерово на основе договора аутсорсинга [8, 11, 16, 54]. Для обеспечения ЭВВ в заданном объеме рекомендуется применять смесительно-зарядные машины и доставщики компонентов ЭВВ – тягач, тонар и танк-контейнер, поставленные силами компании-аутсорсинг. В этом случае ценообразование 1 т ЭВВ регулирует только компания-аутсорсинг.

На стоимость 1 т ЭВВ влияют следующие факторы: стоимость компонентов ЭВВ на базовом химическом заводе; затраты на транспортирование компонентов (матрицы) ЭВВ автотранспортом (10–15 машин); эксплуатация смесительно-зарядных машин (1–2 машины) для изготовления и зарядки ЭВВ; процентная ставка по лизингу доставочных машин, так как необходимо их приобретение у завода-изготовителя.

Вариант 3. Мобильный технологический комплекс на примере частичного аутсорсинга с участием завода АО «Нитро Сибирь – Кузбасс», г. Кемерово. Для обеспечения ЭВВ в заданном объеме предусматривается аренда смесительно-зарядных машин и танк-контейнера компании-аутсорсинг и покупка на предприятие доставщиков компонентов ЭВВ тягача и тонара. В этом случае ценообразование ЭВВ регулирует не только компания-аутсорсинг, но и горнодобывающее предприятие (АО «УК «Кузбассразрезуголь»).

На стоимость ЭВВ влияют: стоимость базовых компонентов ЭВВ на химическом заводе; амортизация самоходных доставщиков компонентов ЭВВ (10–15 машин); эксплуатационные расходы при перемещении и обслуживании доставщиков; аренда смесительно-зарядных машин (1–2 машины) для изготовления и зарядки ЭВВ. После покрытия капитальных затрат (1–1,5 года) идет снижение стоимости ЭВВ до 20% от второго варианта (аутсорсинг).

Сравнение конкурирующих вариантов позволило определить в качестве приоритетного третий вариант, ориентированный на применение мобильных передвижных комплексов для изготовления ЭВВ.

Современные ЭВВ и способы их изготовления позволяют на одних и тех же компонентах обеспечить качественные взрывчатые характеристики ЭВВ в широком диапазоне с учетом характеристик взрываеваемого массива и, как следствие, получить высокое качество взрывной подготовки с минимальными затратами средств и времени.

На примере разрезов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» (Кедровский и Краснобродский) предпочтительным являются варианты на первом этапе при внедрении новых типов ЭВВ и адаптации параметров БВР – применение мобильных технологических комплексов, где транспортировка всех компонентов ЭВВ осуществляется танк-контейнером до промплощадки карьера, а далее до заряжаемого блока СЗМ, а на втором этапе при применении ЭВВ на массовых взрывах – строительство стационарного или полустационарного технологического модульного комплекса для производства компонентов промышленных ЭВВ.

2.4 Методика выполнения экспериментальных исследований по перспективам внедрения нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса

Порядок проведения экспериментальных исследований по перспективам внедрения нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса предполагает определение влияния гранулометрического состава взорванных пород вскрыши на показатели работы экскаваторов с обязательным проведением хронометражных наблюдений за временем цикла черпания и погрузки экскаваторов в зависимости от величины средневзвешенного размера куска вскрышных пород $D_{св}$.

Для определения влияния грансостава взорванных горных пород на производительность экскаваторов с увеличенной емкостью ковша при

погрузке большегрузных автосамосвалов в условиях Кедровского, Калтанского и Краснобродского угольных разрезов была разработана и предложена методика сбора и обработки массива больших данных на вскрышных забоях.

Методикой предусмотрено проведение серий опытов, которые предусматривают анализ работы погрузочно-доставочных комплексов в условиях угольных разрезов:

- экскаватор ЭКГ Р&Н2800 + автосамосвал БЕЛАЗ-75302;
- экскаватор ЭКГ-32Р + автосамосвал БЕЛАЗ-75302;
- экскаватор WK-35+ БЕЛАЗ-75302;
- экскаватор ЭКГ-10 + БЕЛАЗ-7513.

Анализ показателей работы выемочно-погрузочных комплексов оборудования включает:

- оценку времени операции черпания в зависимости от величины $D_{св}$;
- учет изменения времени операции черпания и погрузки экскаватора в автосамосвал от величины $D_{св}$;
- определение веса породы в ковше в зависимости от величины $D_{св}$;
- исследование влияния величины $D_{св}$ экскаватора на производительность;
- проведение хронометражных пооперационных наблюдений за работой погрузочно-транспортного комплекса;
- фиксацию замеров времени по технологическим операциям (за цикл и смену) с точностью до одного знака после запятой;
- выполнение видео- и фотофиксации оперативной смены экскаваторщика и машиниста автосамосвала, влияние основных факторов на производительность погрузочно-транспортного комплекса;
- получение зависимостей и построение циклограмм работы экскаваторов и автосамосвалов;

- выявление различий в количестве и длительности простоев и непроизводительных затрат времени;
- анализ возможностей оптимизации внутрисменных затрат времени на технологические и вспомогательные операции для различных погрузочно-доставочных комплексов;
- учет продолжительности выполнения операций по разбору навала горной массы в зависимости от фракционного состава;
- определение среднего времени простоев для различных комплексов;
- оптимизацию рабочего времени.

Разработанная методика определения грансостава взорванных горных пород на УР Кузбасса включала 4 этапа:

- 1 – подготовка участков проведения анализа основного и вспомогательного технологического оборудования;
- 2 – съемка участков забоя при помощи оборудования PortaMetrics с фотофиксацией;
- 3 – обработка полученных данных в программном комплексе с применением портативного оборудования;
- 4 – анализ полученных данных и результатов исследований.

Замеры гранулометрического состава взорванных пород на угольных разрезах «Калтанский», «Краснобродский», «Кедровский» проводились непосредственно в рабочей забойной зоне. Для проведения съемки применялось оборудование PortaMetrics, представленное в виде портативного планшета, а также использовалось еще мобильное программное обеспечение CVision.PitFace, в котором для съемки референсными предметами выступили два мяча сечением 240 мм. На выбранных участках устанавливались два мяча на различной высоте и глубине друг от друга, после чего производилась фотофиксация развала горных пород. При помощи оборудования PortaMetrics подбирался требуемый.

Полученные фотографии загружались в систему для анализа гранулометрического состава на основе компьютерного зрения в системе

CVision.PitFace (рисунок 2.17, а), в настройках вводились параметры мячей и размеры негабаритов. Полученные результаты выгружались в виде JPEG-фотографии и в excel-таблицы. Результаты съемки, проведенной в PortaMetrics (рисунок 2.17, б), обрабатывались в программном обеспечении и выгружались в PDF-формате.

Результаты, полученные при помощи двух методов программного обеспечения, сопоставлялись между собой и анализировались для подтверждения корректности проведенных съемок.

Приведенная методика позволит выполнить ряд экспериментальных исследований взрывной подготовки пород вскрыши на мощных угольных разрезах Кузбасса для определения влияния грансостава раздробленной горной массы в развале на производительность современных погрузочно-транспортных комплексов.

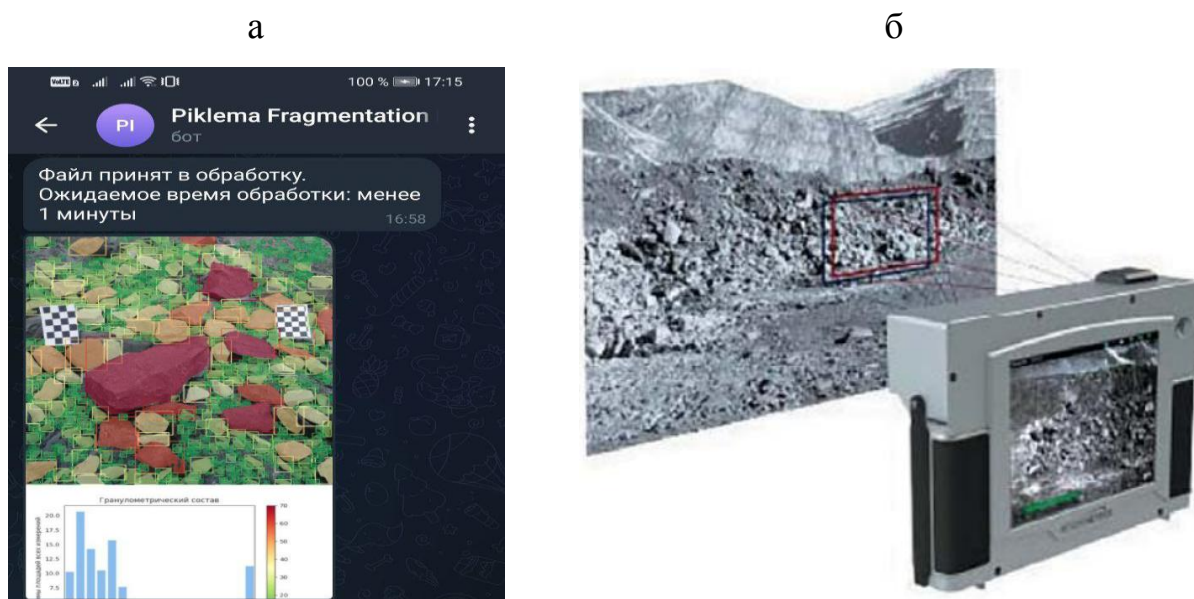


Рисунок 2.17 – Определение грансостава горной массы в развале горных пород в забое с помощью:

а – программного продукта CVision.PitFace; б – прибора PortaMetrics

Для повышения качества буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке необходимо провести исследования энергетических, конструктивных и геометрических параметров буровзрывных работ с учетом ограничивающих факторов взрывной подготовки пород к выемке.

Выводы по главе 2

1. Установлено, что границы залегания исследуемых угольных разрезов находятся в пределах одних и тех же продуктивных отложений, но по мере понижения горных работ физико-механические свойства пород (плотность и крепость) меняются прямо пропорционально глубине разработки, что ведет к необходимости проведения соответствующего технического перевооружения горнодобывающих предприятий Кузбасса и обоснованию рациональных параметров БВР в зависимости от характеристик массива. Выполнена систематизация основных факторов: технических, технологических и организационных для повышения эффективности процесса подготовки вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса.

2. Выполнена оценка энергетических затрат буровзрывной подготовки в общем энергобалансе технологических процессов и установлены аппроксимированные зависимости степени взрывного дробления от трещиноватости вскрышных пород на Краснобродском и Кедровском угольных месторождениях. Установлено, что при увеличении энергоемкости процесса подготовки с 2 до 5,3 МДж/м³ степень взрывного дробления сильнотрещиноватых вскрышных пород возрастает с 1,2 до 1,6, среднетрещиноватых – с 1,8 до 2,6, малотрещиноватых – с 3,1 до 5,1.

3. Выполнен анализ условий применения современных типов ЭВВ для различных по генезису месторождений Урала и Кузбасса и определены технологические факторы, оказывающие влияние на устойчивые взрывчатые характеристики эмульсии ЭВВ в процессе изготовления, зарядки и детонации.

Разработанная классификация ЭВВ в зависимости от основных компонентов на завершающей стадии изготовления (зарядка эмульсии в скважину или в СЗМ) делит ЭВВ на два подкласса: с добавлением или без добавления сухой фазы АС в раствор матричной эмульсии перед смешиванием ее с газогенерирующей добавкой, что позволяет регулировать

энергетические характеристики ЭВВ и адаптировать их к физико-механическим характеристикам взрываемого массива.

4. Предложена классификация современных технологических комплексов по изготовлению эмульсионных составов взрывчатых веществ в соответствии с энергетическими характеристиками и сырьевыми ресурсами, определяющимися на месте приготовления на: стационарные (завод); полустационарные (контейнеры) и мобильные (передвижные комплексы).

5. Выполнено сравнение конкурирующих вариантов на примере разрезов «Кедровский» и «Краснобродский» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», где предпочтительным являются варианты на первом этапе при внедрении новых типов ЭВВ и адаптации параметров БВР – применение мобильных технологических комплексов, где транспортировка всех компонентов ЭВВ осуществляется танк-контейнером до промплощадки карьера, а далее до заряжаемого блока СЗМ, а на втором этапе при применении ЭВВ на массовых взрывах – строительство стационарного или полустационарного технологического модульного комплекса для производства компонентов промышленных ЭВВ.

6. Разработана и предложена методика проведения экспериментальных исследований по определению влияния грансостава взорванных горных пород на производительность погрузочно-транспортных комплексов. Определено, что для повышения качества дробления горных пород необходимо провести исследования энергетических, конструктивных и геометрических параметров БВР с учетом ограничивающих факторов взрывной подготовки пород к выемке.

Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА МОЩНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

3.1 Экспериментальные исследования оценки гранулометрического состава при взрывной подготовке вскрышных уступов на мощных угольных разрезах Кузбасса

Для обоснования параметров БВР при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса выполнен сбор и анализ горнотехнических и горно-геологических особенностей освоения месторождений угля по мере понижения открытых горных работ. Также для определения перспектив направления роста показателей интенсивности и эффективности процессов подготовки, экскавации (выемочно-погрузочное оборудование с емкостью ковша более 30 м³) и транспортирования (автосамосвалы 200 и более тонн) вскрышных пород были проведены опытно-промышленные изучения распределения грансостава взорванных горных пород с использованием методов лазерной гранулометрии и хронометражных наблюдений.

В рамках проводимых исследований выбранными объектами наблюдения явились автосамосвалы БЕЛАЗ-75302 в комплексе с экскаваторами: Р&Н2800 – на Краснобродском разрезе; ЭКГ-35 – на Кедровском разрезе и ЭКГ-18Р – на Калтанском угольном разрезе. Установлено, что проведение исследований по определению удельных затрат на экскавацию и минимизацию издержек для всего технологического цикла добычи горной массы до сих пор является актуальной задачей.

В опытных экспериментах определение грансостава осуществлялось с применением программных продуктов CVision.PitFace и PortaMetrics. В качестве примера полученные результаты замеров гранулометрии одного из забоев показаны на рисунке 3.1.

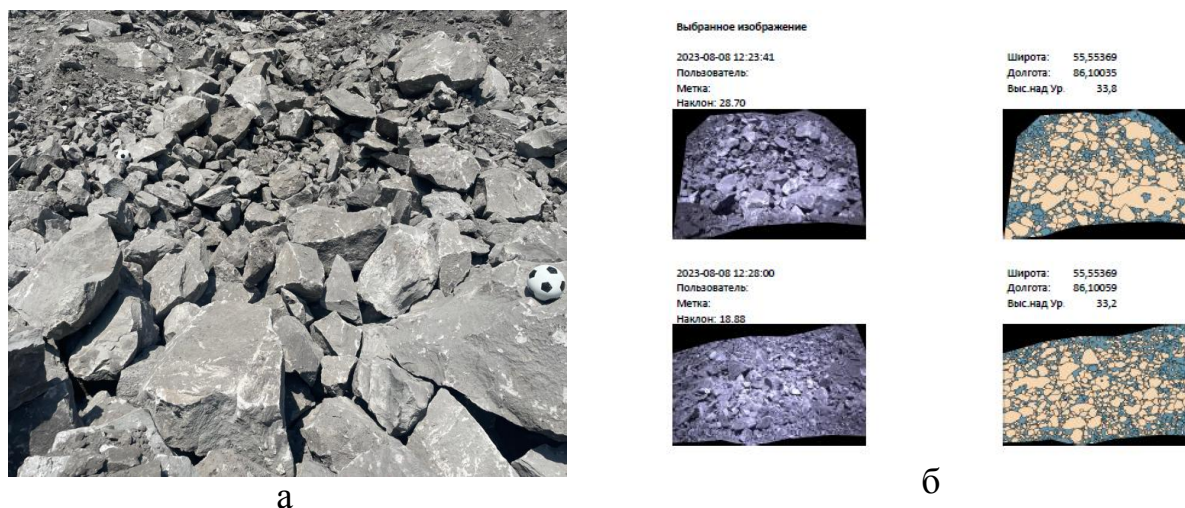


Рисунок 3.1 – Снимки для определения гранулометрического состава Кедровского угольного разреза, нижний горизонт (P&H – 2800 (152)):

а – при использовании программного обеспечения CVision.PitFace ;

б – при использовании PortaMetrics

На рисунках 3.2 и 3.3 представлены графические зависимости распределения грансостава: кумулятивные кривые (суммарное распределение) и гистограммы (относительное распределение).

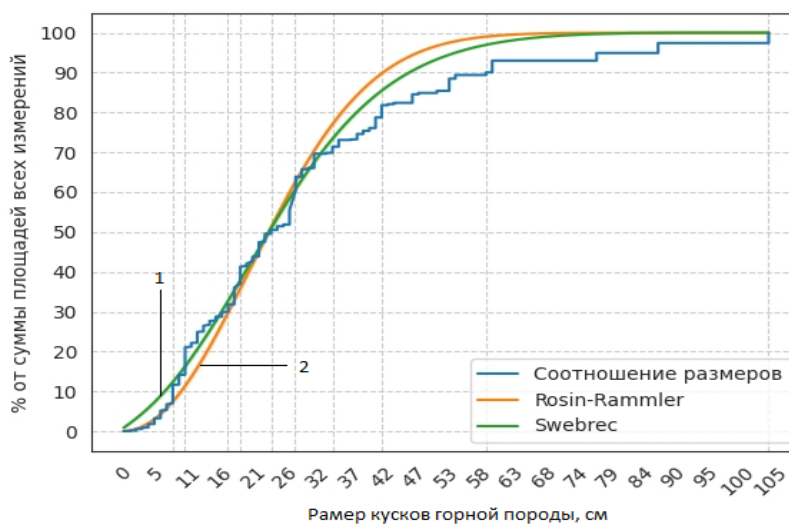


Рисунок 3.2 – Интегральное (1) и относительное (2) распределения гранулометрического состава

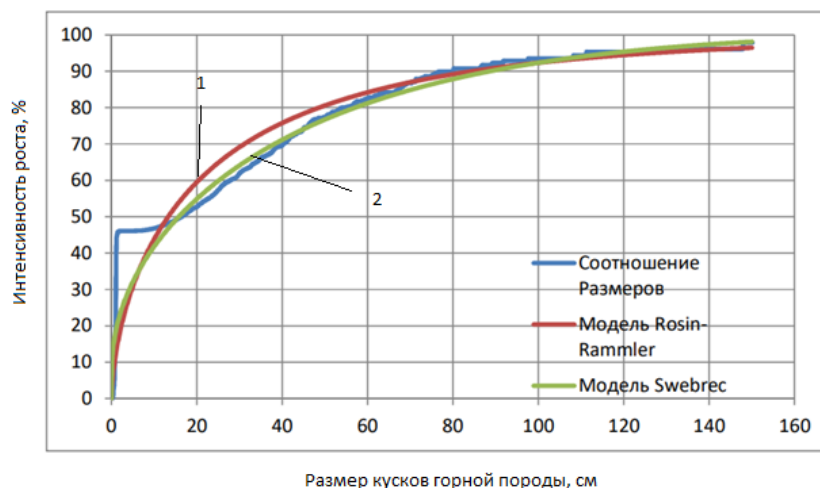


Рисунок 3.3 – Интегральное (1) и относительное (2) распределения гранулометрического состава

Полученные зависимости при обработке позволяют определить пофракционное распределение кусков в общей сумме площади распределения фракционного состава породы (таблица 3.1). Так, фракция пород размером от 0 до 20 см составляет 60% от общего объема горной массы, во фракции размером от 20 до 40 см представлено лишь 15% кусков. В свою очередь, $\frac{1}{4}$ часть горных пород составляют куски размером более 40 см. Причем чем крупнее фракция, тем меньше доля таких кусков в общем объеме горной массы, что свидетельствует о хорошем качестве дробления горных пород.

Таблица 3.1 – Параметры и проценты кусков породы в забое при определении грансостава

Условие	Размер, см	Количество кусков в процентах, %
Минимальный порог до 20 см	20	54,89
В диапазоне 20-100 см	20-100	40,74
Максимальный порог, свыше 100 см	> 100	4,37

Приведенные в таблице 3.1 данные свидетельствуют, что порядка 4,5% составляют куски породы более 1 м. Расхождение в значениях полученных результатов по двух методикам не превысило 5%, что свидетельствует о достаточно хорошей сходимости результатов.

На рисунках 3.4 и 3.5 представлены примеры сбора данных для оценки гранулометрического состава взорванной породы по мере отработки забоя и его сегментации на угольных разрезах «Краснобродский» и «Кедровский». Для оценки грансостава взорванной породы, посредством программного обеспечения CVision.PitFace, в качестве известных линейных параметров, по которым осуществлялась калибровка, приняты габариты двух мячей.



Рисунок 3.4 – Гранулометрический состав в развале Краснобродского угольного разреза: а – вид породы в забое; б – распределение по цветам в зависимости от фракции (CVision.PitFace)

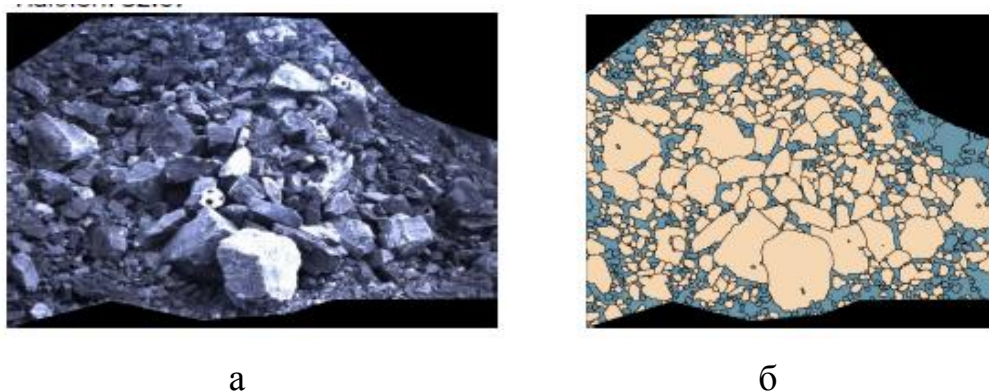
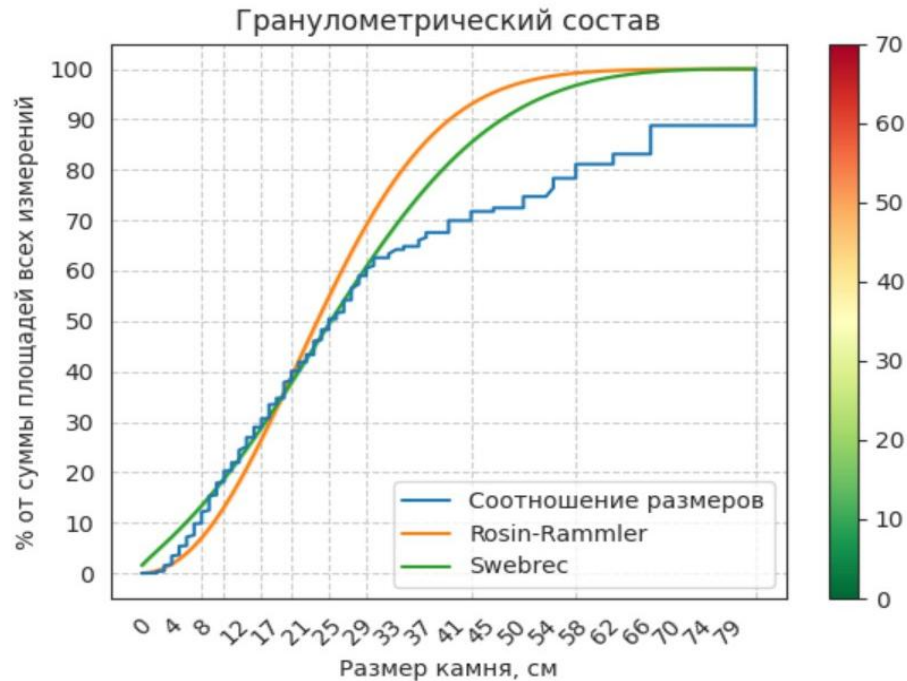


Рисунок 3.5 – Гранулометрический состав Кедровского угольного разреза, верхний горизонт (P&N – 2800 – забой (195)): а – вид породы в забое; б – распределение по цветам в зависимости от фракции (PortaMetrics)

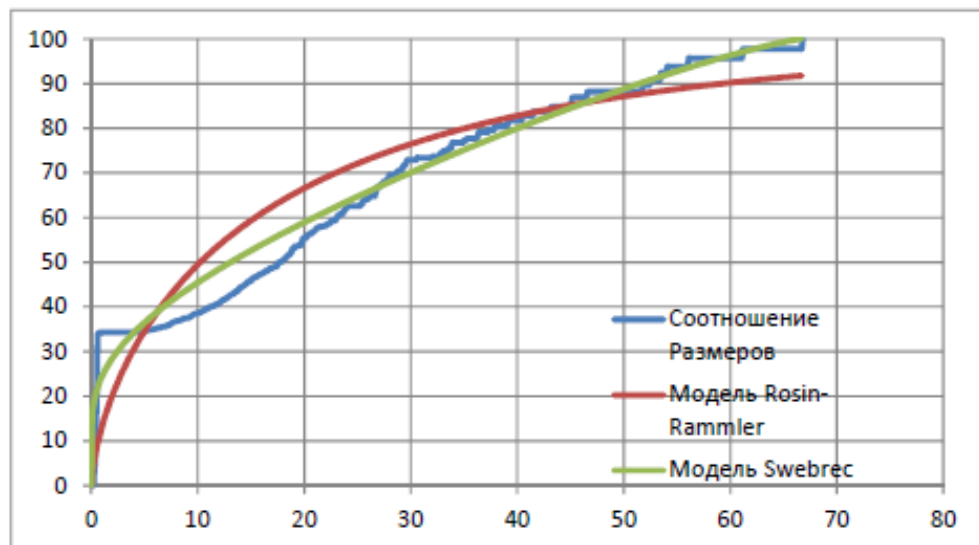
В результате цифровой обработки изображений развалов горной массы в условиях Краснобродского угольного разреза были сформированы данные базы статистических данных.

На рисунке 3.6 и в таблице 3.2 представлены данные для определения гранулометрического состава горных пород.



а

Соотношение Размеров



б

Рисунок 3.6 – Гранулометрический состав Краснобродском угольного разреза, сделанного: а – в программном обеспечении CVision.PitFace; б – при помощи оборудования PortaMetrics

Исследование гранулометрического состава развала взорванной горной массы Краснобродского угольного разреза показало, что размер кусков от 0 до 500 мм составил 74,68%, а размер кусков от 500 до 850 мм составил 25,32%

Таблица 3.2 – Гранулометрический состав развала взорванной горной массы
Краснобродского угольного разреза

Фракция, мм	Процент от суммы площадей всех измерений, %
0-50	3,4
50-100	11,92
100-150	11,6
150-200	10,93
200-250	10,43
250-300	10,69
300-350	5,22
350-400	3,36
400-450	4,18
450-500	0,7
500-550	2,25
550-600	6,43
600-650	2
650-700	5,65
700-750	0
750-800	0
800-850	11,24

В связи с этим необходимо дальнейшие исследования направить на оценку эксплуатационной производительности выемочно-погрузочных работ, включающую проведение хронометражных наблюдений за работой экскаваторов и автосамосвалов при погрузке вскрышных пород различного гранулометрического состава.

3.2 Исследование влияния гранулометрического состава взорванных пород вскрыши на продолжительность экскавации во взаимосвязи с коэффициентом наполнения емкости ковша экскаватора и кузова транспортных средств

Анализ показателей работы экскаваторов в цикле выемочно-погрузочных работ проводился по данным хронометражных наблюдений с фотовидеофиксацией на подготовленных взрывом блоках вскрышных пород на разрезах «Калтанский», «Краснобродский», «Кедровский».

Проводимые опытно-промышленные испытания согласно разработанной и описанной выше методике, представленной в разделе 2.4, включали выполнение следующих этапов работ:

1. Хронометражные наблюдения экскаваторов Р&Н2800, ЭКГ-35, ЭКГ-32Р, WK-35 в реальных условиях угольных разрезов Кедровский и Краснобродский для определения и сравнения эффективности работы выемочно-погрузочной техники.

2. Оценка изменения времени цикла экскаватора в зависимости от грансостава развала взорванной горной породы.

3. Хронометражные наблюдения за работой техники (включая автосамосвалы, подаваемые под погрузку) в штатном режиме рабочей смены для выявления эффективного и наиболее продуктивного времени, вынужденных простоев и непроизводительных затрат времени.

Первоначальные испытания были проведены на угольном разрезе «Кедровский». Установлено, что средний фракционный состав взорванных пород достаточно крупный: от 400 до 1579 мм. Внешний вид экспериментальной площадки показан на рисунке 3.7.



а



б

Рисунок 3.7 – Хронометражные наблюдения на Кедровском разрезе для анализа циклов продолжительности работы погрузочно-транспортных комплексов: а – внедрение и наполнение ковша экскаватором Р&Н2800 с электрическим приводом, с объемом ковша 33 м³; б – погрузка горной массы в автосамосвал Белаз-75302

Результаты проведения хронометражных наблюдений при эксплуатации выемочно-погрузочного комплекса представлены в таблице 3.3. Представленные данные в таблице 3.3 были получены при внедрении ковша экскаватора в развал взорванной горной массы со средним значением фракции 200 мм, тогда как максимальный размер кусков взорванной породы – 1335 мм, общая масса которых составляет порядка 1,5% от оцениваемого навала в результате съемки гранулометрии.

Таблица 3.3 – Результаты хронометражных наблюдений за работой экскаватора Р&Н2800 №195 и автосамосвала БЕЛАЗ 75302 на разрезе «Кедровский»

Наименование операции	Время выполнения операции, с		
	1 замер	2 замер	3 замер
Внедрение ковша в 1-м цикле	28	19	22
Поворот стрелы с груженым ковшом	20	22	15
Подъезд автосамосвала под погрузку	17	15	17
Погрузка 1 ковша в автосамосвал	4	3	5
Разворот стрелы с порожним ковшом	25	24	22
Внедрение в навал и забор породы в ковш во 2-м цикле	16	18	17
Поворот стрелы с груженым ковшом	8	7	10
Погрузка породы в автосамосвал	4	4	3
Разворот стрелы с порожним ковшом во 2-м цикле	13	16	12
Внедрение в навал и забор породы в ковш в 3-м цикле	18	19	16
Поворот стрелы с груженым ковшом	11	10	13
Погрузка породы в автосамосвал	5	4	5
Разворот стрелы с порожним ковшом в 3-м цикле	12	11	16
Внедрение в навал и забор породы в ковш в 4-м цикле	17	18	15
Поворот стрелы с груженым ковшом	13	14	14
Погрузка породы в автосамосвал	5	6	4
Разворот стрелы с порожним ковшом в 4-м цикле	11	10	14
Внедрение в навал и забор породы в ковш в 5-м цикле	17	20	16
Поворот стрелы с груженым ковшом	9	10	12
Погрузка породы в автосамосвал	4	3	4
Разворот стрелы с порожним ковшом в 5-м цикле	13	15	12
Общее время выполнения операций за 1-й цикл	94	83	81
Общее время выполнения операций за 2-й цикл	41	45	42
Общее время выполнения операций за 3-й цикл	46	44	50
Общее время выполнения операций за 4-й цикл	46	48	47
Общее время выполнения операций за 5-й цикл	43	48	41

На основании выполненных исследований были построены гистограммы изменения продолжительности циклов операций при погрузке от циклов экскавации для различных ковшей при среднем размере куска 200 мм (рисунок 3.8) и определена эмпирическая зависимость продолжительности циклов операций от среднего размера куска 200 м для экскаватора с емкостью ковша $E = 33,6 \text{ м}^3$ (рисунок 3.9).

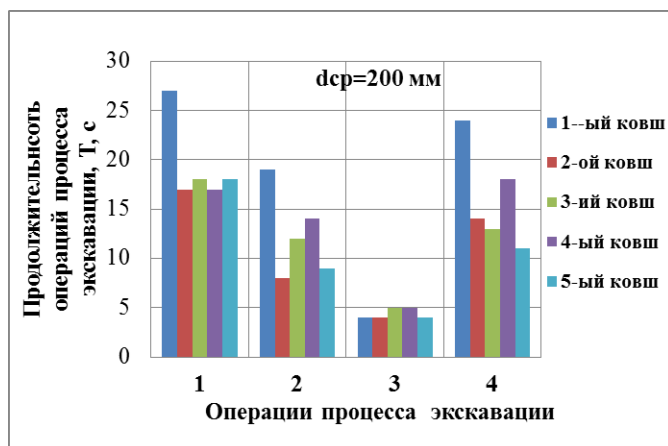
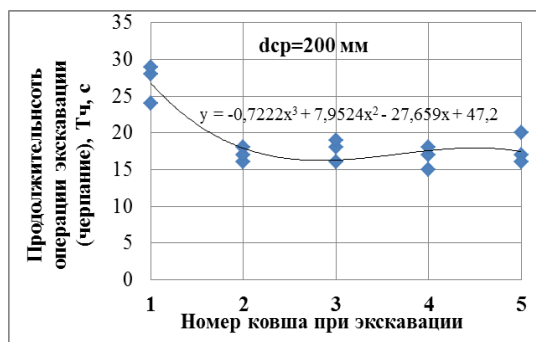
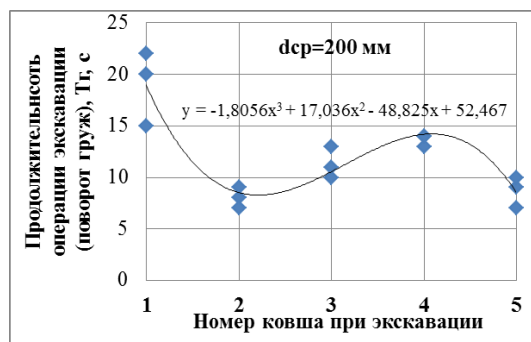


Рисунок 3.8 –

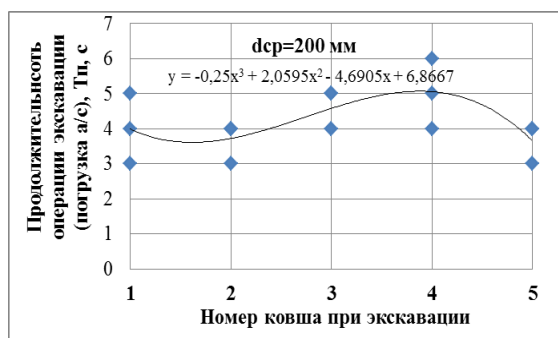
Продолжительность операций экскавации: 1 – черпание; 2 – поворот стрелы с грузеым ковшом; 3 – погрузка; 4 – разворот стрелы с порожним ковшом от последовательности погрузки ковшей в автосамосвал при среднем размере куска взорванной породы 200 мм



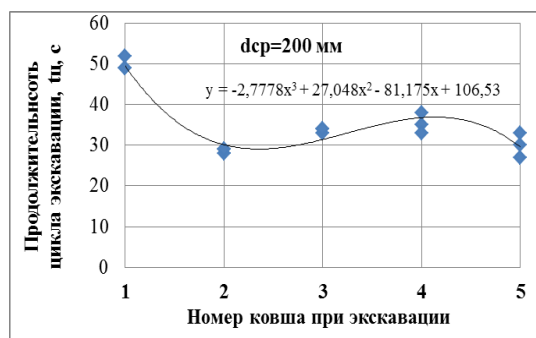
а



б



в



г

Рисунок 3.9 – Зависимости продолжительности операций процесса экскавации: а – черпание; б – поворот стрелы с грузеым ковшом; в – погрузка; г – полный цикл от среднего размера куска 200 мм для экскаватора с емкостью ковша $E = 33,6 \text{ м}^3$

Анализ гранулометрического состава взорванных пород в развале горных пород со средним размером куска 200 мм при максимальном – 1500 мм показал, что общая доля массы последних не превышает 20%.

На втором этапе испытания проводились на глубине 40 м, где работал аналогичный экскаватор Р&Н – 2800 № 152 (рисунок 3.10). Результаты показали, что фракционный состав взорванных пород изменялся от 80 до 1500 мм, при этом средний размер куска составил 150 мм.



а



б

Рисунок 3.10 – Хронометражные наблюдения для анализа циклов работы погрузочно-доставочного комплекса на верхних горизонтах Кедровского разреза: а – внедрение и наполнение ковша экскаватора Р&Н2800, с электрическим приводом и объемом ковша 33 м³; б – погрузка горной массы в автосамосвал Белаз-75302 грузоподъемностью 220 тонн

Результаты хронометражных наблюдений за работой погрузочно-транспортного комплекса, состоящего из экскаватора Р&Н2800 №152 и автосамосвала БЕЛАЗ-75302 на разрезе «Кедровский», представлены в таблице 3.4.

Представленные данные в таблице 3.4 были получены при внедрении ковша экскаватора в развал взорванной горной массы со средним значением фракции до 500 мм, при этом максимальный размер куска составил 1500 мм. На основании выполненных исследований были построены гистограммы изменения продолжительности циклов операций при погрузке от циклов экскавации для различных ковшей при среднем размере куска взорванной

горной массы 50 мм (рисунок 3.11) и определена эмпирическая зависимость продолжительности циклов операций от среднего размера куска 150 м для экскаватора с емкостью ковша $E = 33,6 \text{ м}^3$ (рисунок 3.12).

Таблица 3.4 – Результаты хронометражных наблюдений за работой экскаватора P&H2800 №152 на угольном разрезе «Кедровский»

Наименование операции	Время выполнения операции, с		
	1-й замер	2-й замер	3-й замер
Внедрение ковша 1	14	12	13
Поворот стрелы (гружен.)	9	10	8
Подъезд автосамосвала под погрузку	11	10	12
Погрузка 1 ковша в автосамосвал	4	3	5
Разворот стрелы (порож.)	7	8	11
Внедрение и набор ковша (2 ковш)	15	16	15
Поворот стрелы (гружен.)	8	7	9
Погрузка ковша в автосамосвал	4	4	3
Разворот стрелы (порож.)	13	14	12
Внедрение и набор ковша (3 ковш)	13	14	12
Поворот стрелы (гружен.)	10	10	13
Погрузка ковша в автосамосвал	3	4	5
Разворот стрелы (порож.)	9	7	11
Внедрение и набор ковша (4 ковш)	17	18	15
Поворот стрелы (гружен.)	13	14	14
Погрузка ковша в автосамосвал	4	6	4
Разворот стрелы (порож.)	10	7	9
Общее время выполнения операций за 1-й цикл	45	43	49
Общее время выполнения операций за 2-й цикл	40	41	39
Общее время выполнения операций за 3-й цикл	35	35	41
Общее время выполнения операций за 4-й цикл	44	45	42

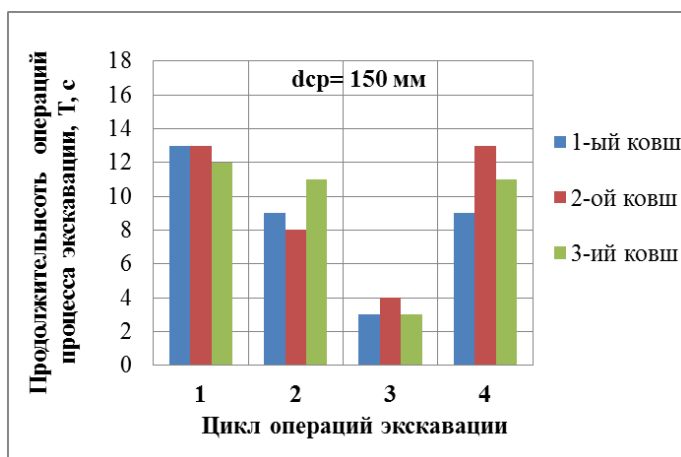


Рисунок 3.11 – Продолжительность операций экскавации: 1 – черпание; 2 – поворот стрелы с груженым ковшом; 3 – погрузка; 4 – разворот стрелы с порожним ковшом от последовательности погрузки ковшей в автосамосвал при среднем размере куска взорванной горной массы 150 мм

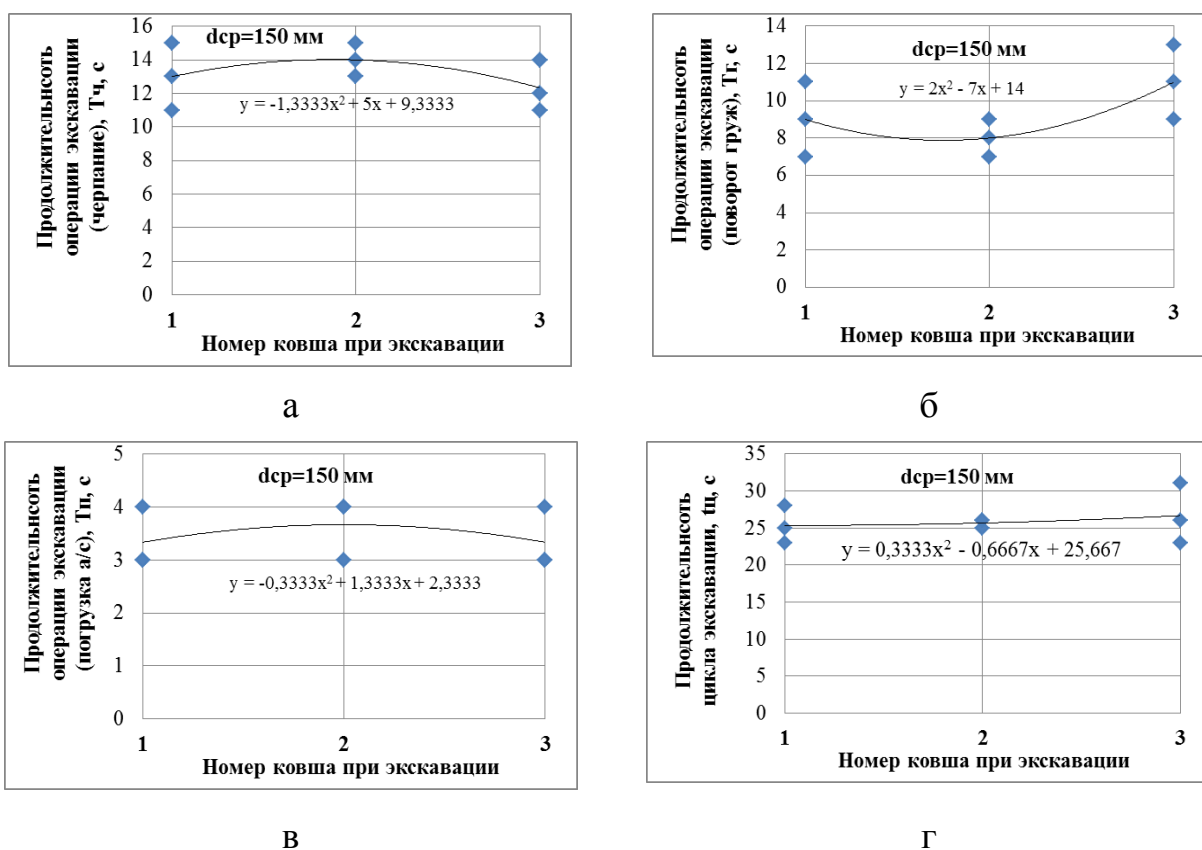


Рисунок 3.12 – Зависимости продолжительности операций процесса экскавации от среднего размера куска 150 мм для экскаватора с емкостью ковша $E = 33,6 \text{ м}^3$: а – черпание; б – погрузка; в – поворот стрелы с грузным ковшом; г – полный цикл экскавации

Аналогичные испытания выполнены на угольном разрезе «Красный брод». Был выбран экскаватор ЭКГ-35 с емкостью ковша 35 м^3 в рабочей паре с БЕЛАЗ-75302 грузоподъемностью 220 т. Средний размер фракции в навале породы составляет 50 мм, максимальный размер фракции равнялся 1400 мм. Результаты хронометражных испытаний представлены в таблице 3.5.

На основании выполненных исследований были построены гистограммы изменения продолжительности циклов операций при погрузке от циклов экскавации для различных ковшей при среднем размере куска взорванной горной массы 50 мм (рисунок 3.13) и определена эмпирическая зависимость продолжительности циклов операций от среднего размера куска 150 мм для экскаватора с емкостью ковша $E = 33,6 \text{ м}^3$ (рисунок 3.14).

Таблица 3.5 – Результаты хронометражных наблюдений за работой экскаватора ЭКГ-35 и автосамосвала БЕЛАЗ-75302 на разрезе «Краснобродский»

Наименование операции	Время выполнения операции, с		
	1-й замер	2-й замер	3-й замер
Внедрение ковша 1	15	13	11
Поворот стрелы (гружен.)	7	11	9
Подъезд автосамосвала под погрузку	10	11	9
Погрузка 1 ковша в автосамосвал	3	4	3
Разворот стрелы (порож.)	9	8	10
Внедрение и набор ковша (2 ковш)	13	15	14
Поворот стрелы (гружен.)	9	7	8
Погрузка ковша в автосамосвал	4	3	4
Разворот стрелы (порож.)	14	13	11
Внедрение и набор ковша (3 ковш)	12	11	14
Поворот стрелы (гружен.)	11	9	13
Погрузка ковша в автосамосвал	3	3	4
Разворот стрелы (порож.)	10	13	10
Общее время выполнения операций за 1-й цикл	44	47	42
Общее время выполнения операций за 2-й цикл	40	38	37
Общее время выполнения операций за 3-й цикл	36	36	41

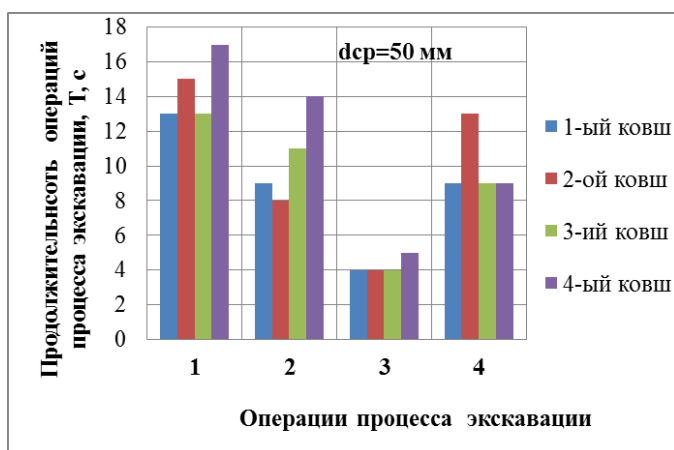


Рисунок 3.13 – Продолжительность операций экскавации: 1 – черпание; 2 – поворот стрелы с груженым ковшом; 3 – погрузка; 4 – разворот стрелы с порожним ковшом от последовательности погрузки ковшей в автосамосвал при среднем размере куска взорванной горной массы 50 мм

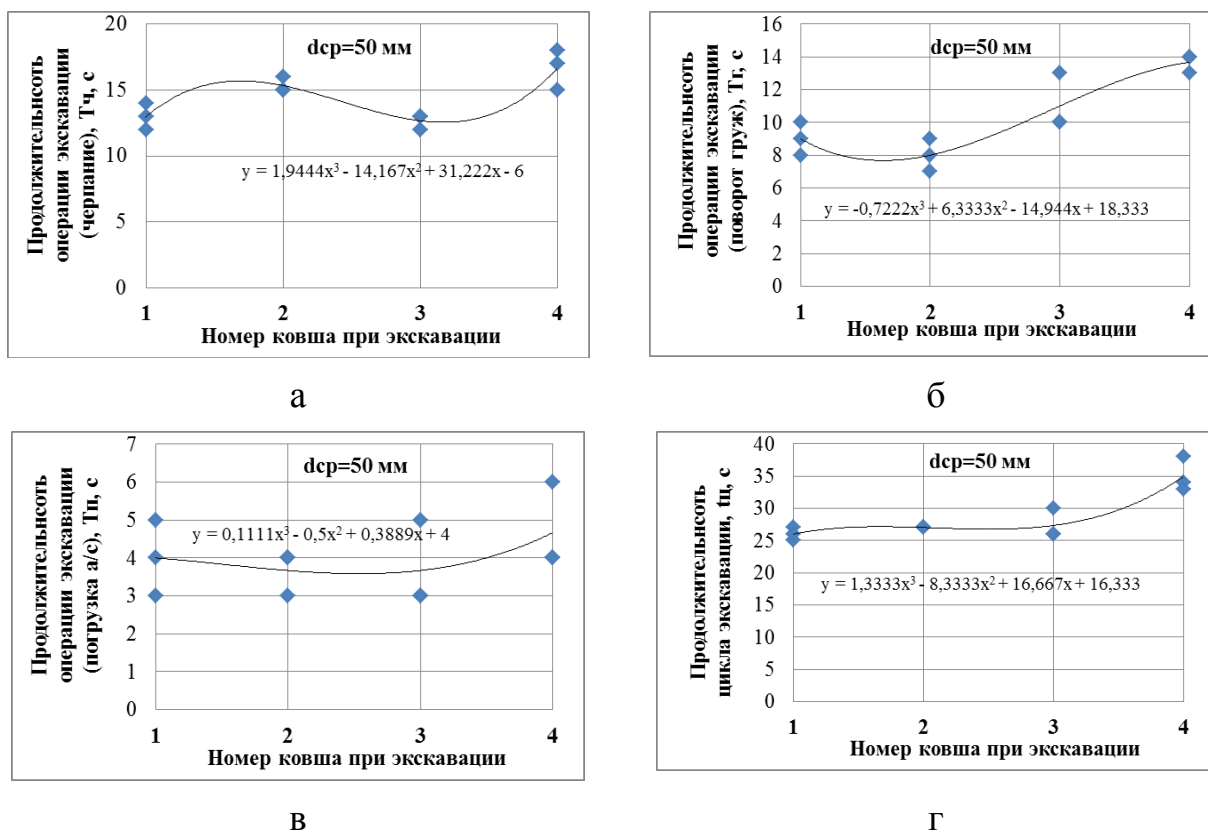


Рисунок 3.14 – Зависимости продолжительности операций процесса экскавации от среднего размера куска 150 мм для экскаватора с емкостью ковша $E = 33,6 \text{ м}^3$: а – черпание; б – погрузка; в – поворот стрелы с груженным ковшом; г – полный цикл процесса экскавация

Анализ результатов хронометражных данных, представленных в таблицах 3.3–3.5 и на рисунках 3.8 и 3.10–3.14, свидетельствует, что гранулометрический состав взорванной породы оказывает значимое влияние на продолжительность черпания ковша экскаватора и степень его наполнения, что впоследствии отражается на времени цикла загрузки автосамосвала.

Проведенная оценка производительности экскаваторов и автосамосвалов показал, что наибольшее влияние оказывают продолжительность циклов черпания и погрузки, коэффициент наполнения ковша, технические характеристики оборудования и умения и навыки операторов, системы организации работ. Продолжительность цикла загрузки автосамосвала складывается из времени черпания, разгрузки и поворота.

Время разгрузки и поворота зависит только от технических характеристик выемочно-погрузочного оборудования и производственных навыков машиниста экскаватора и для данного экскаватора и машиниста остается практически неизменным значением. Время черпания и продолжительность цикла загрузки зависит от среднего размера куска взорванной горной породы и выхода негабаритных фракций. Согласно выполненным исследованиям определена эмпирическая зависимость продолжительности черпания и цикла экскавации от среднего размера куска экскаваторов большой единичной мощности с емкостью ковша $E = 33,6\text{--}35 \text{ м}^3$ (рисунки 3.15 и 3.16).

Для определения влияния изменения хронометража, вызванного изменением фракционного состава, была посчитана расчетная и фактическая производительность экскаватора, $\text{м}^3/\text{ч}$, по формуле

$$Q_{\text{экс}} = \frac{3600 \cdot E \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{н}}}{t_{\text{ц}}}, \quad (3.1)$$

где E – емкость ковша, м^3 ; $t_{\text{ц}}$ – время цикла, с; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования экскаватора во времени $K_{\text{и}}=0,9$; $K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша $K_{\text{н}}=1,1$.

На рисунке 3.15 представлены эмпирические зависимости расчетной и фактической часовой производительности экскаваторов большой единичной мощности от среднего размера куска взорванной горной массы.

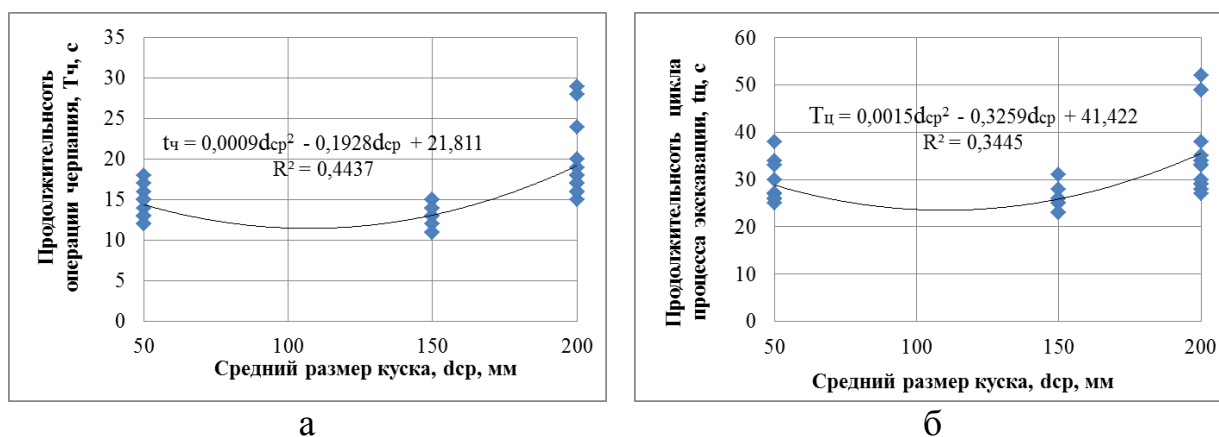


Рисунок 3.15 – Зависимость продолжительности операции черпания (а) и полного цикла (б) процесса экскавации от среднего размера куска экскаваторов с емкостью ковша $E=33,6\text{--}35 \text{ м}^3$

Так, расчетная производительность показала, что при среднем размере куска 50 мм и максимальном 1100 мм у ЭКГ-35 составила 2800 м³/ч или 4200 т/ч; при среднем куске 150 мм и максимальном куске 1400 мм у Р&Н2800 составила 3200 м³/ч или 4800 т/ч при среднем куске 200 мм и максимальном куске 1500 мм, у Р&Н2800 составила 2300 м³/ч или 3450 т/ч.

Данные показатели являются аналогичным с фактическими, посчитанными при проведении испытаний при помощи определённого хронометража и установленного на автосамосвалы циферблата с указанием загруженного веса в кузове. Фактические измерения показали, что ЭКГ-35 погрузил 4150 т/ч при среднем куске породы 50 мм, Р&Н2800 погрузил 4200 т/ч при среднем куске породы 150 мм и при среднем куске породы 200 мм Р&Н2800 погрузил 3400 т/ч. На рисунке 3.16 представлены эмпирические зависимости расчетной и фактической часовой производительности экскаваторов большой единичной мощности от среднего размера куска взорванной горной массы.

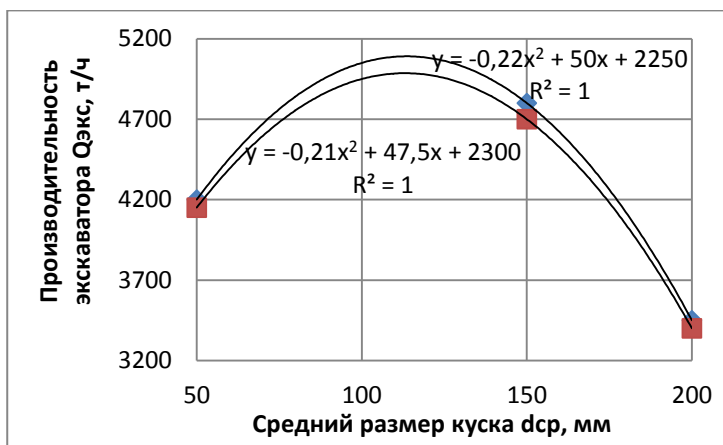


Рисунок 3.16 – Зависимости расчетной и фактической часовой производительности экскаваторов большой единичной мощности от среднего размера куска

Установлено, что существует параболическая зависимость между гранулометрическим составом взорванной породы и продолжительностью заполнения кузова автосамосвала экскаватором. Если средний фракционный состав навала взорванной породы в большей массе составляет 100–200 мм, то время наполнения автосамосвала составляет 2,5 мин, тогда как при увеличении и уменьшении размера кусков взорванной породы продолжительность работы выемочно-погрузочного комплекса

увеличивается в 1,5 раза, а производительность с учетом коэффициента наполнения кузова сокращается в 1,2 раза.

Очевидно, что для процесса экскавации и загрузки автосамосвала доля крупной фракции в гранулометрическом составе разрабатываемых пород также является определяющей. От кусковатости взорванных пород зависит производительность экскаватора, а точнее величина коэффициента экскавации и время, затрачиваемое на наполнение ковша экскаватора горной массой.

Интенсификация горных работ на угольных разрезах Кузбасса обычно осуществляется за счёт применения выемочно-транспортного оборудования большой единичной мощности, в частности экскаваторами с большим объемом ковша. В связи с этим в дальнейшем оценена возможная эксплуатационная производительность экскаватора, применяемого в карьере, с учетом качества работы взрыва при дроблении горной массы.

3.3 Исследование влияния подпорной стенки на качество подготовки вскрышных пород к выемке при разработке высоких вскрышных уступов

Действие взрыва в массиве пород рассмотрим на основе положения системы ввода и вывода энергии, то есть горная масса в объеме воронки действия взрыва рассматривается как открытая колебательная система асимметричного распределения энергии взрывчатого вещества в колонке заряда (рисунки 3.17 и 3.18). При этом разрушение горных пород – это процесс, протекающий под совокупным воздействием газообразных продуктов детонации, ударных и упругих волн сжатия и растяжения.

Оптимальное соотношение линии сопротивления по подошве (ЛСПП) – W и массы заряда (плотность потока энергии – E') соответствует максимально возможному для соответствующей акустической жесткости породы перераспределению энергии в сторону ЛСПП или линии наименьшего сопротивления (ЛНС) – W , а минимум – в тыл массива.

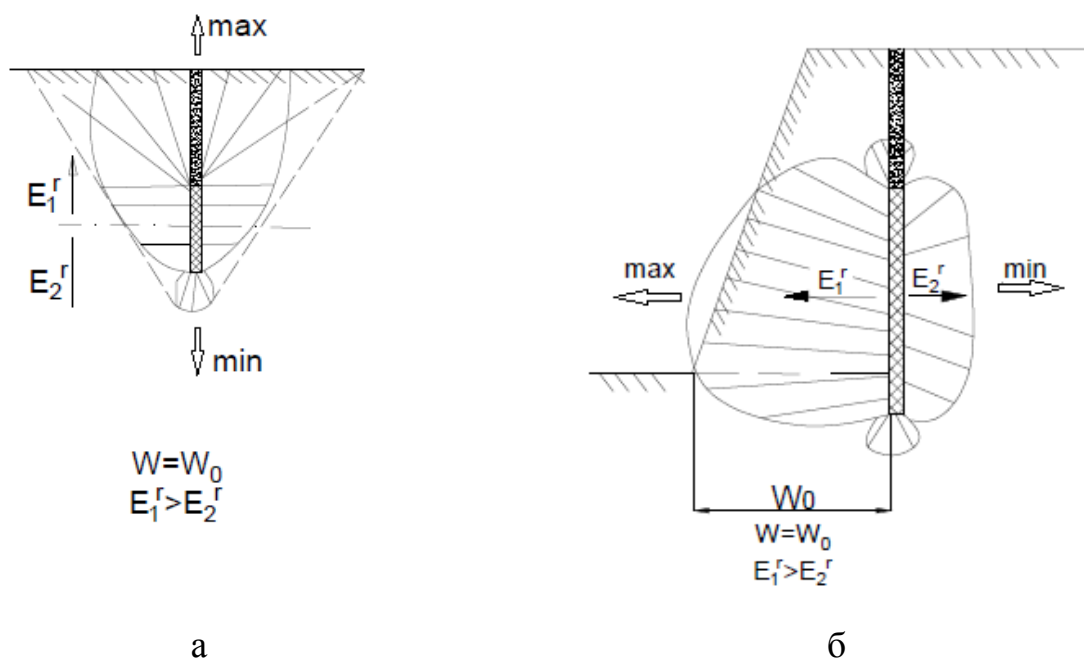


Рисунок 3.17 – Диаграмма асимметричного распределения плотности потока энергии E^r при взрывании скважинных зарядов для выполнения условий оптимального баланса перераспределения энергии на полезные формы механической работы и диссипативные потери ($W = W_0$):
 а – одна плоскость обнажения; б – две плоскости обнажения

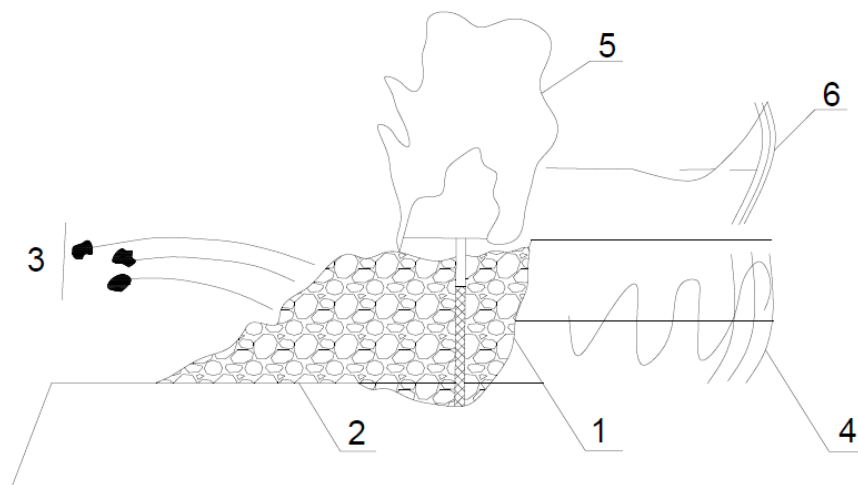


Рисунок 3.18 – Открытая колебательная система ввода и вывода энергии взрыва скважинного заряда взрывчатого вещества:
 1 – дробление; 2, 3 – перемещение (2 – развал; 3 – разлет осколков) взорванной породы; 4 – колебание массива (сейсмопроявление);
 5 – пылегазовыделение; 6 – УВВ

Подпорная стенка из неубранной взорванной горной массы может выступать дополнительной связью в данной открытой колебательной системе, что позволяет обеспечить согласование спектра взрывного импульса при меньших значениях ЛСПП. В результате возрастает общая доля энергии взрыва, пропускаемая через взрываемый участок, и улучшается качество дробления горной массы по сравнению со взрывом на подобранный уступ.

По мнению авторов [38, 39, 99], метод взрывания на подпорную стенку весьма эффективен в породах, обладающих развитой трещиноватостью, что характерно для вскрышных пород угольных разрезов Кузбасса. Согласно [163], разрушение горных пород идет от скважины к поверхности уступа, по аналогии с взрыванием с одной поверхностью обнажения (рисунок 3.17, а). Но в этом случае подпорная стенка рассматривается как дополнительная связь, с помощью которой происходит перераспределение энергии взрыва по формам механической работы в трех фазах, где максимум идет на дробление и минимум на перемещение и диссипативные потери (рисунок 3.17, б). В первой фазе разрушения происходит ограничение перемещения, во второй происходит качественное дробление за счет увеличения способности развития трещин в массиве путем дополнительного притока энергии в виде волн напряжений и в третьей – обеспечивается минимальный развал взорванной горной массы.

На рисунке 3.19 представлена принципиальная схема взрывания вскрышных уступов скважинными зарядами на подпорную стенку из неубранной взорванной горной массы.

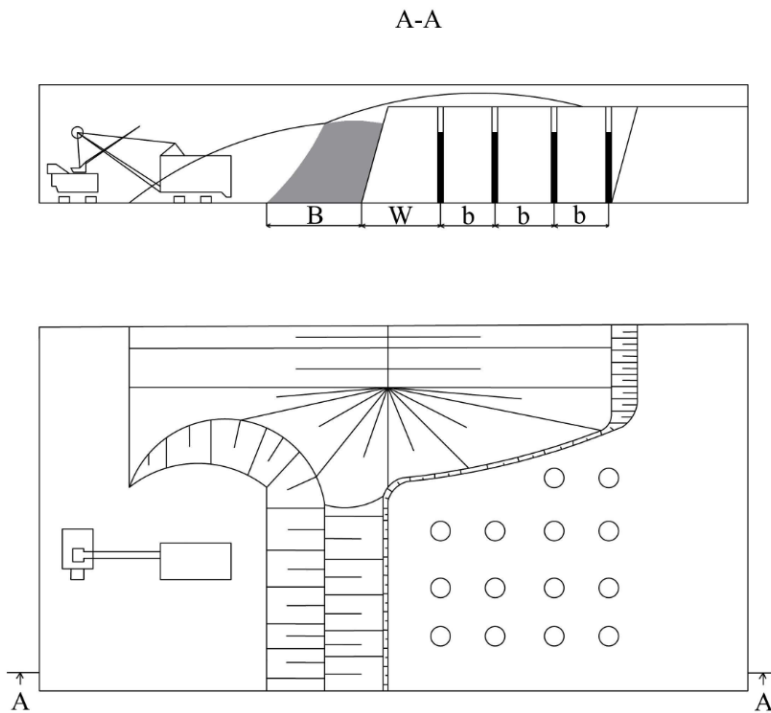


Рисунок 3.19 – Схема взрывания вскрышных уступов скважинными зарядами на подпорную стенку из неубранной взорванной горной массы:

B – ширина подпорной стенки; W – ЛСПП;
 b – расстояние между рядами скважин

Расчет параметров подпорной стенки сводится к определению ее массы m или ширины B . Так, в работе [38] предложена зависимость для определения массы подпорной стенки:

$$m = \frac{\gamma W}{2} \left(\frac{c^2}{n^2 V_{cp}^2} - 2 \right), \quad (3.2)$$

где m – масса подпорной стенки, кг; γ – плотность среды, кг/м³; c – скорость распространения возмущений в среде, м/с; V_{cp} – средняя скорость трещинообразования, м/с.

Мосинец В.Н. [91] предложил ширину подпорной стенки, удовлетворяющую наилучшему дроблению, определять по следующей зависимости:

$$B = \frac{WK_p}{2} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right), \quad (3.3)$$

где W – линия сопротивления по подошве, м; K_p – коэффициент разрыхления породы, кг/м³; λ_1 , λ_2 – акустическая жесткость взрываемого и разрушенного материала соответственно, кг/(м²с).

В работе [99] рациональная ширина подпорной стенки определялась по минимуму приведенных затрат и составляла для различных категорий пород: для II категории пород ширина подпорной стенки составляла 2,8 м, для III и IV категорий пород соответственно 5,2 и 10,9 м. Также отмечается, что ширина подпорной стенки оказывает значительное влияние на кусковатость взорванной горной массы, а именно с уменьшением требуемого среднего размера куска взорванной горной массы степень влияния удельного расхода ВВ и ширины подпорной стенки на кусковатость увеличивается.

Таким образом, в настоящее время хорошо изучено влияние ширины подпорной стенки на параметры развала взорванной горной массы, но в отношении влияния на качество дробления и диссипативные потери исследовано недостаточно. В немногих работах говорится о влиянии подпорной стенки на сейсмический и УВВ-эффект. В работах Садовского М.А. [120] и Пергамента В.Х. [106] отмечено, что чем выше степень зажима взрывающегося объекта, тем больше энергии ВВ переходит в энергию упругих колебаний. При этом указывается на снижение сейсмоэффекта при инициировании заряда в сторону откоса уступа.

В работе [39] отмечено ухудшение качества дробления массива горных пород взрывом в зажатой среде на трудновзрываемых породах, а в средневзрываемых породах взрывы дали хороший результат.

Таким образом, недостатком большинства исследований метода взрывания с подпорной стенкой является односторонний подход к оценке влияния на качество дробления и диссипативные потери в виде упругих колебаний. Поэтому задачей дальнейших исследований является оценка перераспределения энергии взрыва ВВ на полезные и вредные формы механической работы, то есть определение оптимальной ширины подпорной стенки при взрывании высоких вскрышных уступов для обеспечения качественного дробления при одновременном снижении сейсмического эффекта.

Как уже было отмечено, трещиноватость оказывает решающее влияние на степень и качество дробления и, как следствие, на энергоемкость технологических процессов выемки вскрышных пород. В результате проведенных исследований была определена акустическая жесткость вскрышных пород месторождений Кузбасса (Калтанский, Кедровский Краснобродский и Талдинский) в зависимости от естественной трещиноватости (таблица 3.6), которая с увеличением среднего расстояния между трещинами возрастает (рисунок 3.20).

Таблица 3.6 – Акустическая жесткость вскрышных пород месторождений Кузбасса в зависимости от категории пород по трещиноватости

Категория пород по трещиноватости	Среднее расстояние между трещинами в массиве, м	Акустическая жесткость ($\lambda \cdot 10^6$), кг/(м ² с)
I – сильнотрещиноватые	<0,7	6,7–14,0
II – среднетрещиноватые	0,7–1,0	14–18,0
III – малотрещиноватые	>1,0	17,5–20,0

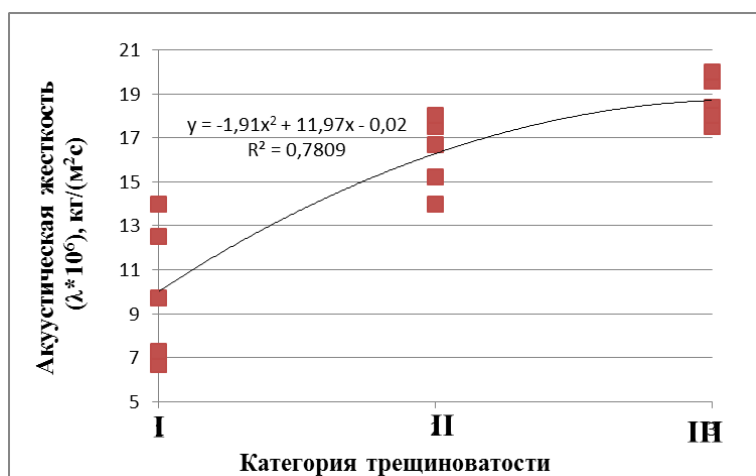


Рисунок 3.20 – Зависимость акустической жесткости вскрышных пород месторождений Кузбасса от категории пород по трещиноватости

В работе сейсмические колебания оценивались по полной скорости смещения частиц массива [42], где для измерения скоростей смещения массива в вертикальной и горизонтальной (радиальная и тангенциальная составляющие) плоскостях использовался 4-канальный прибор «Вибран-3.0» (рисунок 3.21), изготовленный и прокалиброванный ОАО НПП «Интерприбор», г. Челябинск (заводской номер №43). Технические характеристики и параметры «Вибран-3.0» представлены в таблице 3.7.



Рис. 3.21 – Внешний вид ультразвукового прибора «Вибран-3.0»

Таблица 3.7 – Технические характеристики и параметры ультразвукового измерителя «Вибран-3.0»

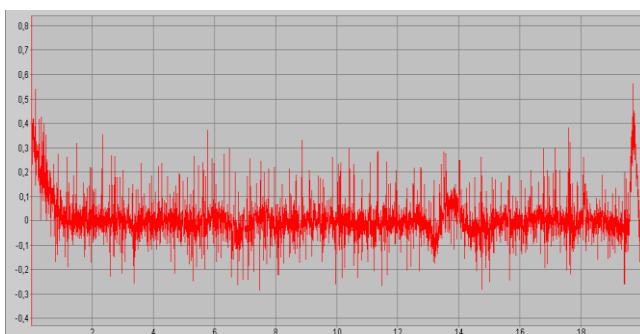
Параметры	Значения
Диапазон рабочих частот, Гц	2–100 / 5–1000
Количество каналов измерений / осей	4
Диапазон измерения виброскорости, мм/с	0,1–500
Диапазон измерения виброперемещений, мм	0,01–10
Количество линий в спектре	200 / 400 / 800
Пределы погрешности измерения, %, не более	±5
Объем памяти, Гбайт	до 4
Время регистрации, ч	до 560
Габаритные размеры электронного блока, мм	190×110×32
Масса электронного блока / датчика, кг	0,3 / 0,08

На рисунке 3.22 представлены характерный вид записи зависимости (велосиграммы) изменения во времени радиальной, тангенциальной и вертикальной составляющей скорости V , мм/с, смещения массива, полученные по результатам экспериментальных взрывов 2023 года.

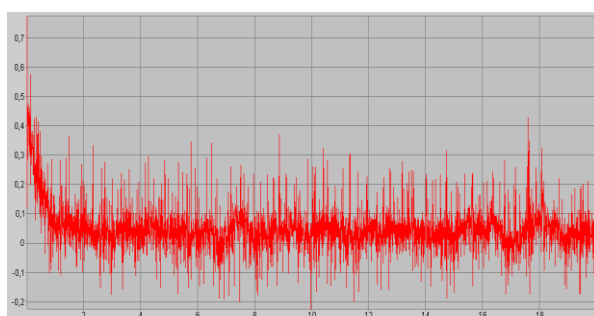
По расчетным скоростям смещения породы для каждой составляющей V_x , V_y и V_z , мм/с, определялась полная скорость смещения:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}, \quad (3.4)$$

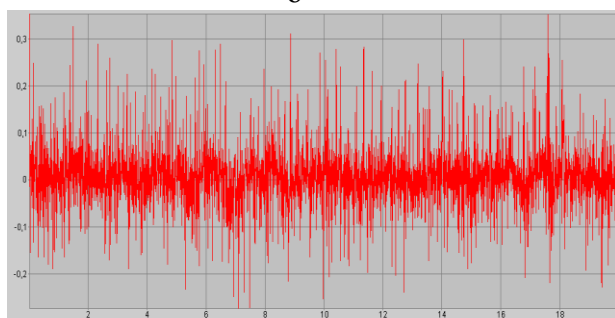
где V_x , V_y и V_z – максимальная скорость смещения радиальной, тангенциальной и вертикальной составляющей соответственно, мм/с.



а



б



в

Рисунок 3.22 – Велосиграмма изменения во времени t_c :
 а – радиальной составляющей скорости (V_x , мм/с) смещения грунта;
 б – тангенциальной составляющей скорости (V_y , мм/с) смещения грунта;
 в – вертикальной составляющей скорости (V_z , мм/с) смещения массива экспериментальных взрывов, проведенных в филиале АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» в 2023 году

По расчетным данным строились графики зависимости полной скорости смещения от приведенного расстояния:

$$R_{\text{пр}} = \frac{r}{\sqrt[3]{Q}}, \quad (3.5)$$

где r – расстояние от места взрыва до точки регистрации, м; Q – масса одновременно взрываемого заряда ВВ, кг.

С целью установления влияния ширины подпорной стенки на определение оптимальных параметров буровзрывных работ на вскрышных уступах разрезов Кузбасса, с учетом перераспределения энергии взрыва между энергией взрывного дробления и энергией упругих колебаний массива были проведены исследования. На рисунке 3.23 представлена

принципиальная схема расположения сейсмических датчиков относительно взрывного блока.

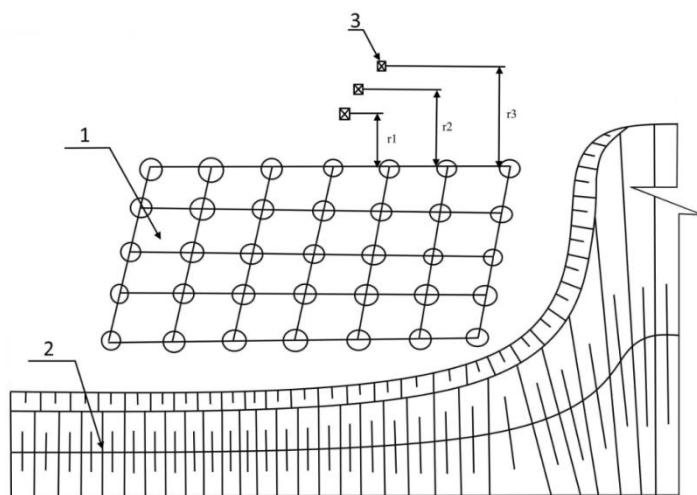


Рисунок 3.23 – Схема расположения сейсмических датчиков относительно взрываемого блока:
1 – взрываемый блок;
2 – подпорная стенка;
3 – сейсмические датчики

Расстояние от места установки датчиков (r_1 , r_2 и r_n) изменялось от 50 до 1000 м, масса заряда ВВ зарегистрированных взрывов – от 10 до 100 т. Максимальная масса одновременно взрываемого заряда колебалась от 190 до 520 кг. Значение приведенных расстояний при записи сейсмических колебаний изменялась в пределах $R_{пр} = 10\text{--}100 \text{ м/кг}^{1/3}$. Всего было зарегистрировано 19 промышленных и экспериментальных взрывов с замераами сейсмических колебаний (рисунок 3.24).

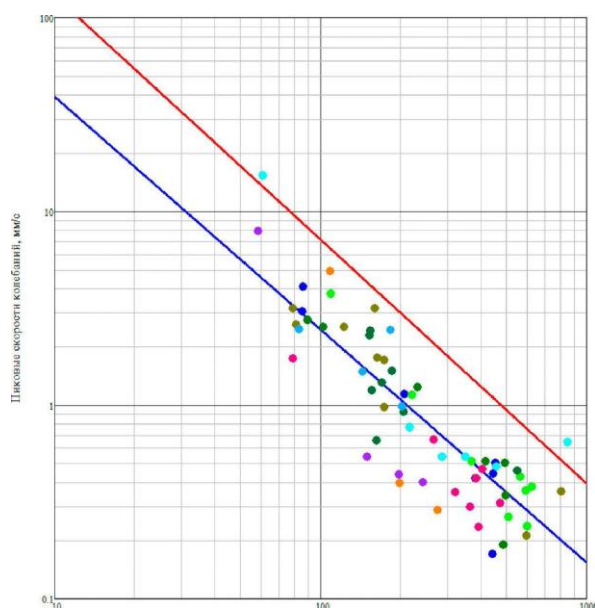


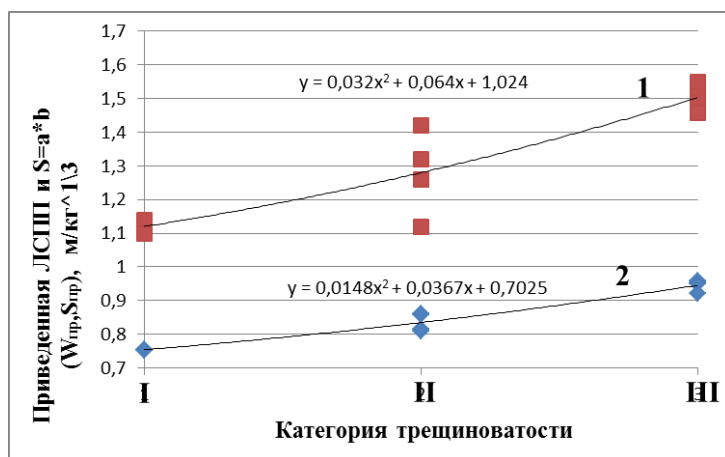
Рисунок 3.24 – Зависимости максимальных (пиковых) скоростей колебаний от приведенного расстояния для экспериментальных массовых взрывов, проведенных в филиале АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» в 2023 году

В результате исследований были получены зависимости скорости смещения массива и среднего размера куска взорванной горной массы от

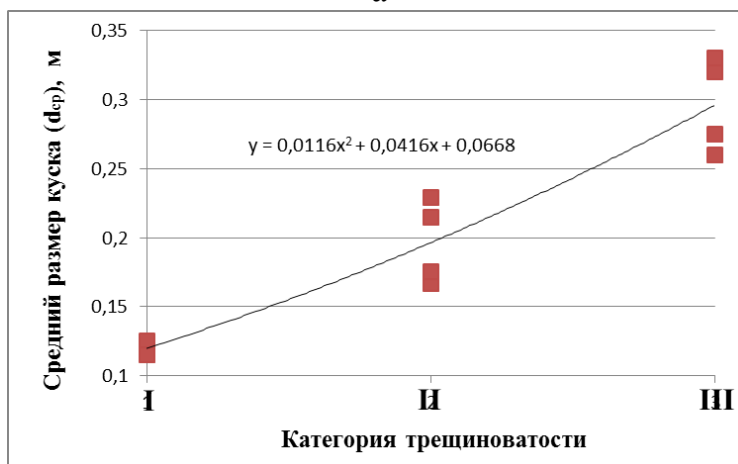
трещиноватости и приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин и ширины подпорной стенки.

По экспериментальным данным были построены зависимости приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин и среднего размера куска от категории трещиноватости массива (рисунок 3.25) для оптимальных параметров буровзрывных работ без применения подпорной стенки.

Из графиков видно, что со снижением трещиноватости увеличиваются приведенные ЛСПП и сетка скважин (рисунок 3.25, а), а также средний размер куска взорванной горной массы (рисунок 3.25, б). Таким образом, повышение качества дробления в средне- и малотрещиноватых породах возможно при применении методов управления энергией взрыва за счет изменения граничных условий (наличие подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы).



а



б

Рисунок 3.25 – Зависимости приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин (а) и среднего размера куска (б) от категории трещиноватости массива горных пород при взрывании уступов без подпорной стенки из неубранной горной массы: 1 – ЛСПП; 2 – сетка скважин

Так, с целью улучшения качества взрывного дробления следует определить ЛСПП и сетку скважин, значение которых будут меньше

оптимальных за счет согласования энергетического спектра взрывного импульса в условиях зажатой среды. В работе для определения влияния ширины подпорной стенки на основные параметры буровзрывных работ (масса скважинного заряда ВВ, ЛСПП и сетка скважин) и сейсмический эффект взрыва проведены исследования и получены эмпирические зависимости скорости смещения массива горных пород, среднего размера куска, ЛСПП и сетки скважин при взрывании с подпорной стенкой (рисунки 3.26, 3.27).

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что подпорная стенка оказывает существенное влияние на перераспределение энергии взрыва скважинного заряда ВВ. При этом значения приведенных ЛСПП и сетки скважин принимают значения, меньшие оптимальных (рисунок 3.26, а) и снижается средний размер куска (рисунок 3.26, б), а скорость смещения частиц пород взрываваемого массива уменьшается (рисунок 3.27).

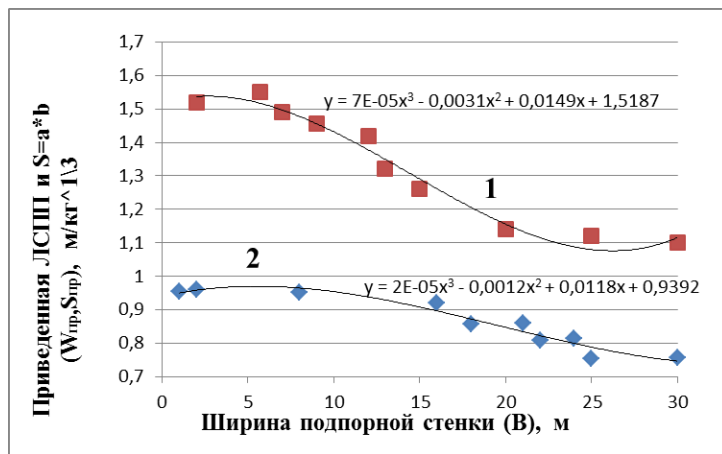
Прогнозирование сейсмического эффекта, согласно принципа геометрического подобия, осуществляется по зависимости М.А. Садовского [120]:

$$V = \frac{K_v}{\sqrt{R_{\text{пр}}^3}}, \quad (3.6)$$

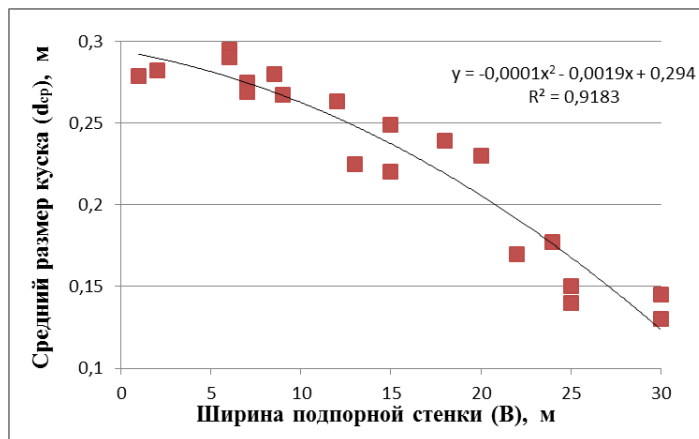
где V – максимальная векторная скорость смещения частиц пород, м/с; K_v – коэффициент, характеризующий средние грунтовые условия.

Для оценки сейсмического эффекта взрыва при применении подпорной стенки в работе вводится коэффициент снижения сейсмoeffекта $K_{\text{сейсм}}^B$, равный отношению эмпирических зависимостей скоростей смещения, полученный путем экспериментальных исследований влияния подпорной стенки к расчетным (прогнозным) зависимостям для оптимальных параметров БВР без подпорной стенки:

$$V^I = \frac{K_{\text{сейсм}}^B K_v}{\sqrt{R_{\text{пр}}^3}}. \quad (3.7)$$



а



б

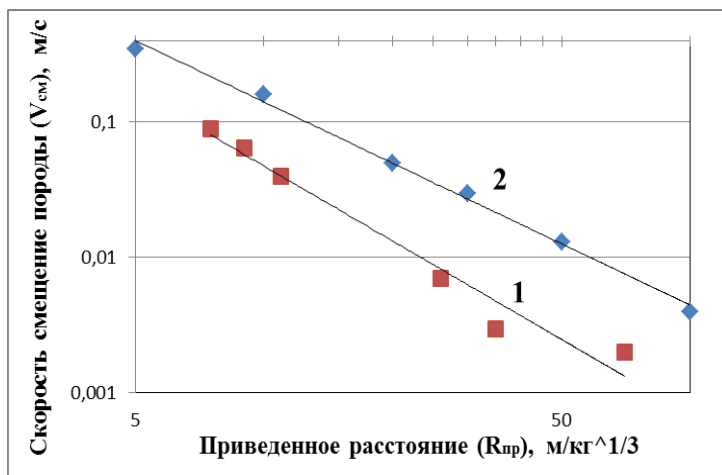


Рисунок 3.26 – Зависимости оптимальных приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин (а) и среднего размера куска (б) от ширины подпорной стенки из необрушенной горной массы при взрывании уступов

Рисунок 3.27 – Зависимости скоростей смещения пород от приведенного расстояния при применении подпорной стенки из необрушенной горной массы ($B=12$ м):
1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные прогнозные данные (методика М.А. Садовского)

Согласно экспериментальным исследованиям для условий АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» $K_{сейсм}^B = 0,14-0,86$. Данный поправочный коэффициент снижения сейсмoeffекта при применении подпорной стенки принимает минимальные значения при

оптимальных параметрах буровзрывных работ, определенных по зависимостям (см. рисунок 3.25).

Применение поправочного коэффициента снижения сейсмоэффекта при применении подпорной стенки позволяет снизить безопасные расстояния при определении сейсмобезопасных параметров буровзрывных работ и, как следствие, увеличить допустимую сейсмобезопасную массу одновременно взрываемого заряда ВВ.

Таким образом, установлено, что для определенных приведенных параметров ЛСПП и сетки скважин существует оптимальная ширина подпорной стенки, где наблюдается максимальный положительный эффект взрыва, а именно минимальные значения скоростей смещения грунта и средний размер куска.

3.4 Исследования энергетических параметров буровзрывных работ при применении бурового оборудования нового поколения на мощных угольных разрезах Кузбасса

Основные параметры буровзрывных работ можно условно разделить на:

- энергетические;
- конструкционные;
- геометрические.

Основным энергетическим параметром буровзрывных работ является удельный расход ВВ. В работе выполнены исследования влияния параметров бурового оборудования (диаметр скважины $d_{\text{СКВ}}$, мм) и выемочного (емкость ковша экскаватора E , м³) на удельный расход эмульсионных взрывчатых веществ (НПГМ и РПГМ) в зависимости от рациональной степени дробления горной массы.

Рациональная степень взрывного дробления пород Z_p , оценивается отношением диаметра средней естественной отдельности d_e к диаметру среднего куска взорванной породы $d_{\text{ср}}$ и можно установить из следующего выражения:

$$Z_p = 1 + \frac{k \cdot d^{n_1}}{\mathcal{E}_{\text{ВВ}}^{n_3} + E^{n_2}}, \quad (3.8)$$

где k – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности выемочного оборудования (форму ковша, удельную массу и т.д.); n_1, n_2, n_3 – коэффициенты, характеризующие соответственно диаметр средней естественной отдельности, тип экскаватора, относительную эффективность ВВ; E – вместимость ковша м^3 ; d_e – диаметр естественной отдельности; $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}$ – относительная эффективность применяемого ВВ.

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}} = \frac{K_{\text{ВВ}}}{\Pi_{\text{ВВ}}}, \quad (3.9)$$

где $K_{\text{ВВ}}$ – переводной коэффициент эквивалентных зарядов; $\Pi_{\text{ВВ}}$ – относительная стоимость применяемого ВВ.

$$\Pi_{\text{ВВ}} = \frac{Ц_{\text{ЭТ}}}{Ц_{\text{ВВ}}} \quad (3.10)$$

где $Ц_{\text{ЭТ}}, Ц_{\text{ВВ}}$ – цена за 1 кг соответственно эталонного и рассматриваемого ВВ.

$$d_e = 0,2f, \quad (3.11)$$

где d_e – диаметр естественной отдельности; f – крепость породы (МПа).

Допускается уменьшение полученных расчётных параметров рациональной степени дробления в случае изменения горно-геологических условий.

Для условий угольных месторождений Кузбасса были выполнены анализ и обработка массива базиса статистических данных массовых взрывов разрезов «Калганский», «Кедровский» и «Краснобродский». Построены эмпирические зависимости удельного расхода ВВ (рисунки 3.28–3.30) от параметров бурового и выемочного оборудования нового поколения для различной крепости горных пород, рациональной степени дробления и типа ВВ (таблица 3.8).

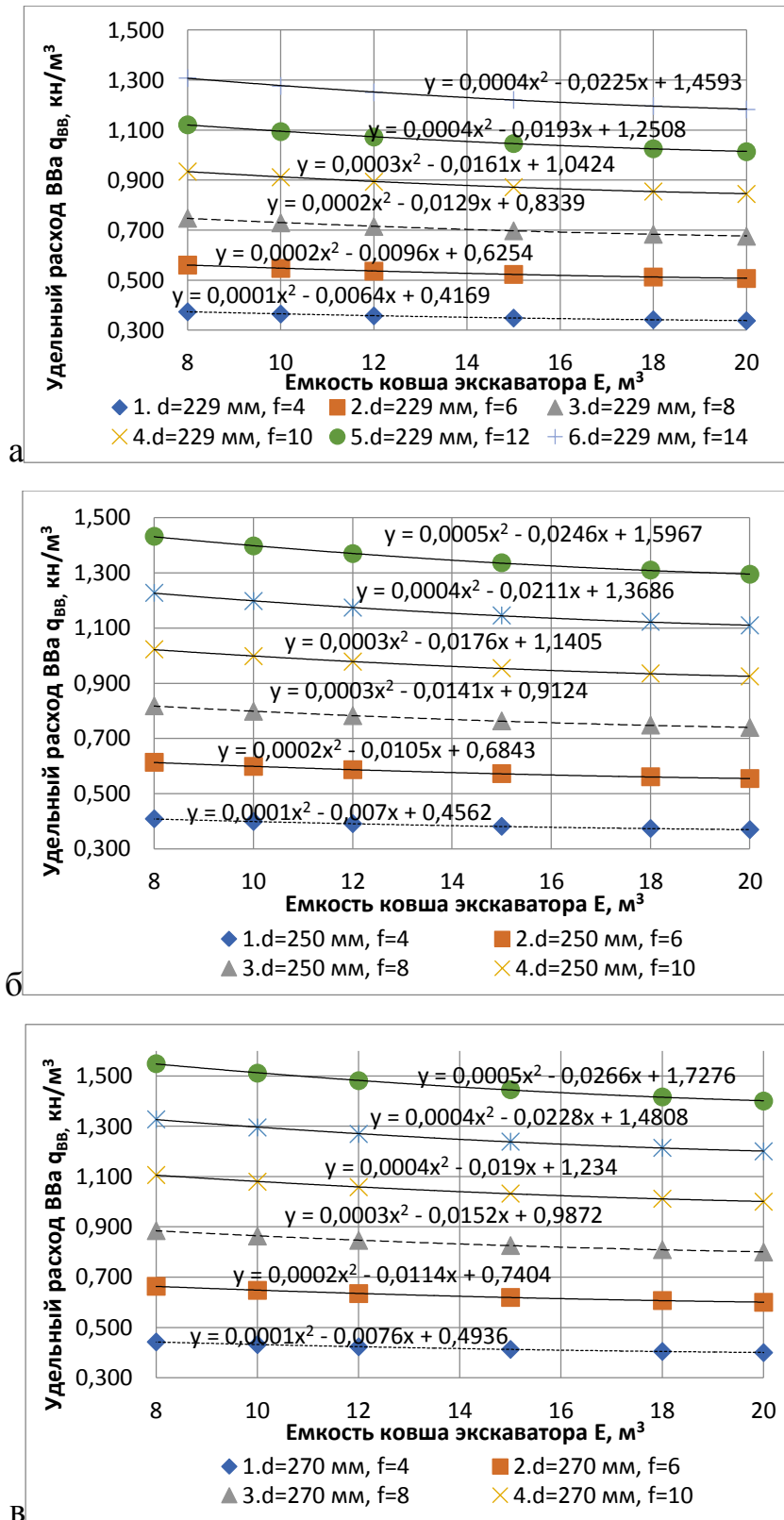


Рисунок 3.28 – Зависимости удельного расхода ВВ от параметров бурового и выемочного оборудования (прямая мехлопата) для различной крепости горных пород с учетом рациональной степени дробления:

а – $d_{\text{СКВ}} = 229$ мм; б – $d_{\text{СКВ}} = 250$ мм; в – $d_{\text{СКВ}} = 270$ мм

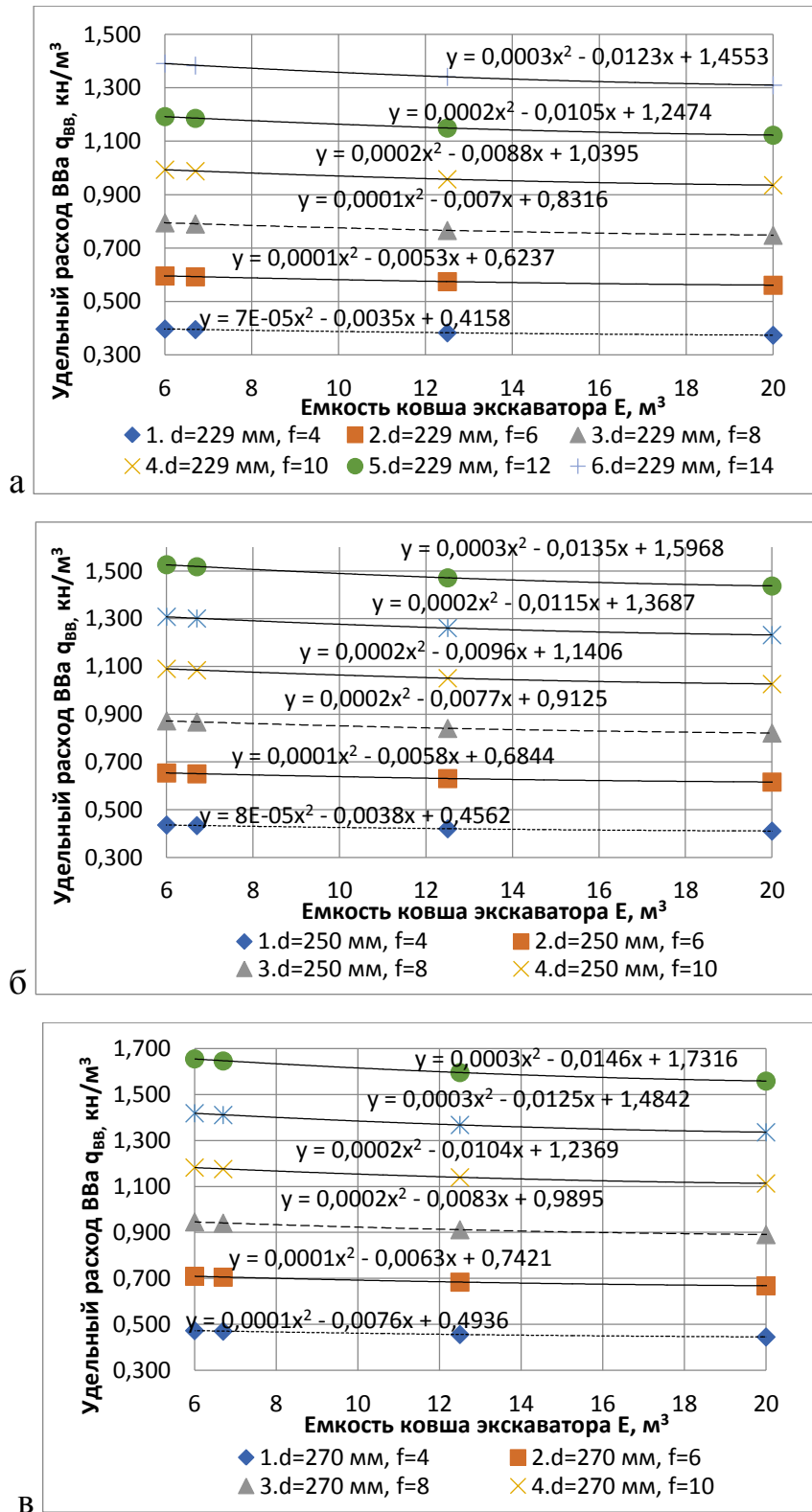


Рисунок 3.29 – Зависимости удельного расхода ВВ от параметров бурового и выемочного оборудования (обратная мехлопата) для различной крепости горных пород с учетом рациональной степени дробления:

а – $d_{СКВ} = 229$ мм; б – $d_{СКВ} = 250$ мм; в – $d_{СКВ} = 270$ мм

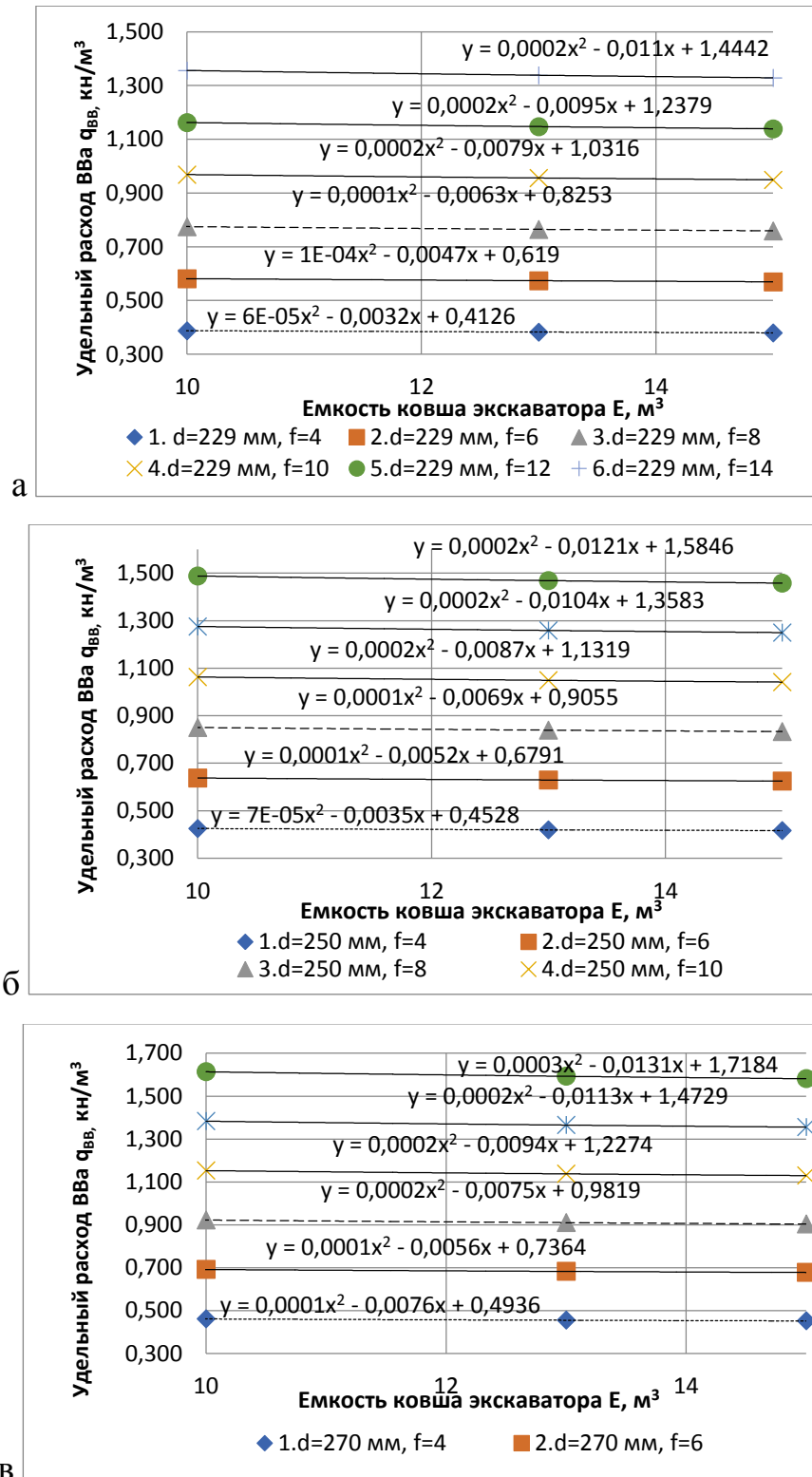


Рисунок 3.30 – Зависимости удельного расхода ВВ от параметров бурового и выемочного оборудования (шагающий экскаватор) для различной крепости горных пород с учетом рациональной степени дробления:

$$а - d_{\text{СКВ}} = 229 \text{ мм}; \quad б - d_{\text{СКВ}} = 250 \text{ мм}; \quad в - d_{\text{СКВ}} = 270 \text{ мм}$$

Таблица 3.8 – Исходные параметры бурового и выемочного оборудования нового поколения, рациональной степени дробления и типа ВВ на угольных разрезах «Калганский», «Кедровский» и «Краснобродский»

Исходные параметры			
1	Переводной коэффициент эквивалентных зарядов	$K_{ВВ}$	1,12
2	Относительная стоимость применяемого ВВ	$П_{ВВ}$	0,5
3	Относительная эффективность применяемого ВВ	$Э_{ВВ}$	0,56
4	Емкость ковша экскаватора: – прямая мехлопата; – обратная мехлопата; – шагающие экскаваторы.	$E, м^3$	8; 10; 12; 15; 18; 20 6; 6,7; 12,5; 20 10; 13; 15
5	Диаметр скважины	$d_{скв}, мм$	229; 250; 270
6	Коэффициент, учитывающий конструктивные особенности выемочного оборудования	k	1
7	Коэффициент, характеризующий диаметр средней естественной отдельности	$n_1, доли ед.$	2
8	Коэффициент, характеризующий тип экскаватора	$n_2, доли ед.$	0,2
9	Коэффициент, характеризующий относительную эффективность ВВ	$n_3, доли ед.$	0,25
10	Рациональная степень взрывного дробления пород	Z_p	1,9

Таким образом, в работе выполнены исследования влияния параметров бурового и выемочного оборудования большой единичной мощности на удельный расход эмульсионных взрывчатых веществ в зависимости от рациональной степени дробления горной массы и определены их эмпирические зависимости. При этом геометрические и конструктивные параметры скважинных зарядов при производстве буровзрывных работ на разрезах Кузбасса определяются по общепринятым расчетным зависимостям согласно разработанной методике и представленной номограммы.

3.5 Разработка методики обоснования параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса при внедрении нового технологического уклада

По результатам исследований в работе предложена методика определения параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса (рисунок 3.31), сущность которой состоит в следующем:

1. Для оперативной оценки состояния вскрышных горных пород в границах карьерного поля (разреза) или взрываемого блока выполняется районирование карьерного поля вскрышных пород по буримости и взрываемости, где преобладающим критерием является степень трещиноватости. То есть составляются технологические карты по буримости и взрываемости вскрышных пород на разрезах.

2. Обосновываются геометрические условия (кондиционный размер куска, средний размер куска, степень дробления, выход негабарита, грансостав) для осуществления эффективной выемки вскрышных пород путем определения энергоемкости технологических процессов с учетом интегрального показателя, в котором отражены не только свойства объекта, но также параметры агрегата и процесса. Рациональной следует считать область значений интегрального показателя энергоемкости, на которых функция принимает минимальные значения.

3. Определяются оптимальные параметры буровзрывных работ при взрывании на две свободные поверхности (уступная отбойка) без подпорной стенки:

- конструктивные параметры буровзрывных работ (глубина скважины, величины зарядов, инертных промежутков и забойки, вместимость);
- геометрические параметры буровзрывных работ (ЛСПП, сетка скважин);
- энергетические параметры буровзрывных работ (удельный расход ВВ, масса заряда в скважине и блоке, одновременно взрываемая масса заряда ВВ).

4. Обосновываются ограничивающие факторы безопасного ведения взрывной подготовки (безопасные расстояния по сейсмике, ударно-воздушной волне, разлету осколков и газовому фактору).

5. Обосновывается экономическая целесообразность применения подпорной стенки из неубранной горной массы на стадии проектирования массовых взрывов.

6. Определяется необходимая ширина подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы с учетом требуемого среднего размера куска и минимального сейсмического эффекта (см. рисунки 3.26, 3.27).

7. Определяются оптимальные геометрические и энергетические параметры буровзрывных работ при взрывании на две свободные поверхности (уступная отбойка) с подпорной стенкой.

Горно-геологические условия; физико-механические свойства вскрышных пород	
Районирование карьерного поля (разреза) по трещиноватости	Технологическая карта карьерного поля (разреза) по буримости
	Технологическая карта карьерного поля (разреза) по взрываемости
Геометрические условия с учетом интегрального показателя энергоемкости	$d_{\text{к}}, d_{\text{ср}}, V_{\text{н}}^+, \text{грансостав}$
Оптимальные параметры БВР	Конструктивные, геометрические и энергетические
Расчет конструктивных параметров БВР	$d_{\text{скв}}, L_{\text{скв}}, l_{\text{зар}}, l_{\text{заб}}, l_{\text{пр}}, P$
Расчет геометрических параметров БВР	$W, a \times b$
Расчет энергетических параметров БВР	$q_{\text{ВВ}}, Q_{\text{ВВ}}^{\text{скв}}, Q_{\text{ВВ}}^{\text{гр}}, Q_{\text{ВВ}}^{\text{бл}}$
Ограничивающие факторы взрыва	$R_{\text{сейсм}}, R_{\text{УВВ}}, R_{\text{разл}}, R_{\text{газ}}$
Экономическая оценка новых технологических решений	Применение подпорной стенки
Определяются параметры (ширина) подпорной стенки	$d_{\text{ср}} = f(B); V_{\text{сейсм}} = f(B);$
Оптимальные параметры БВР с применением подпорной стенки	Конструктивные, геометрические и энергетические

Рисунок 3.31 – Методика определения параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах

С целью оперативного расчета параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных пород на мощных угольных месторождениях Кузбасса на основании полученных зависимостей и обработки данных разработана номограмма, учитывающая трещиноватость, высоту уступа ($H_y \geq 15$ м), конструктивные, геометрические и энергетические параметры скважинного заряда с применением подпорной стенки для повышения качества дробления и снижения сейсмического эффекта (рисунок 3.33).

Полученная номограмма позволяет проектировать параметры буровзрывных работ для заданного среднего размера куса. Для этого определяется рациональная конструкция заряда (сплошная или рассредоточенная) для заданной высоты уступа. При этом, зная общую массу скважинного заряда рациональной конструкции и с учетом заданного среднего размера куса горной массы, определяется ЛСПП, сетка скважин и необходимая ширина подпорной стенки.

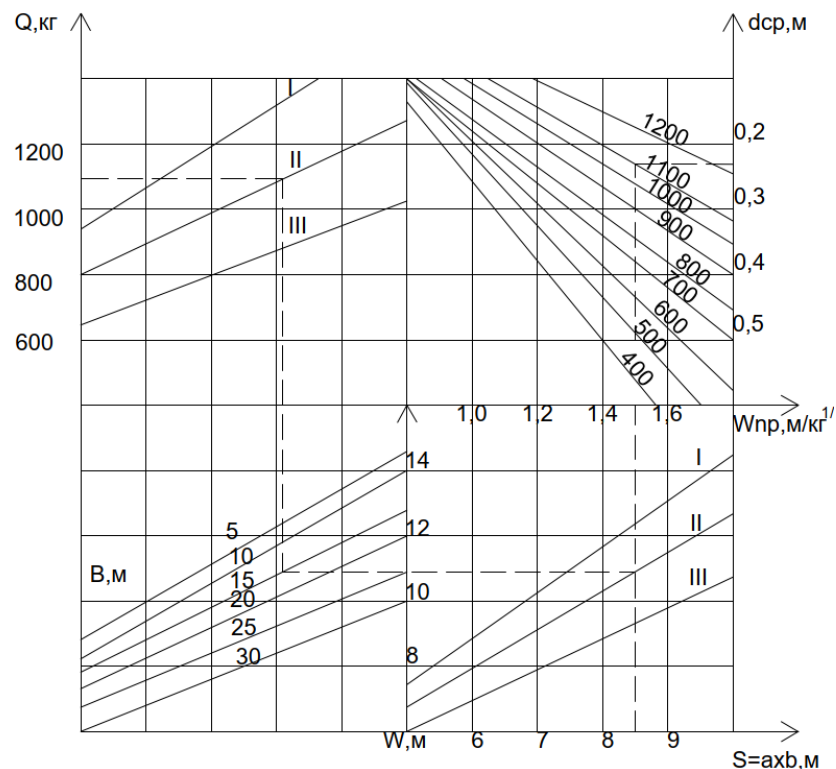


Рисунок 3.32 – Номограмма расчета параметров буровзрывной подготовки вскрышных пород на мощных угольных разрезах Кузбасса с применением подпорной стенки для повышения качества дробления и снижения сейсмического эффекта

Данная методика успешно реализована на угольных месторождениях Кузбасса: Бачатский, Кедровский и Краснобродский (Приложение В).

Таким образом, разработана методика обоснования оптимальных параметров буровзрывной подготовки вскрышных уступов на мощных угольных разрезах Кузбасса при внедрении нового технологического уклада с применением технологии взрывания на подпорную стенку, что позволяет улучшить качество дробления (снижение среднего размера куска в 2–3 раза) в среде и малотрещиноватых горных породах с одновременным снижением сейсмического эффекта в 5–7 раз.

Выводы по главе 3

1. Исследованиями установлено распределение гранулометрического состава Краснобродского угольного разреза, где размер кусков от 0 до 500 мм составил 74,68%, а размер кусков от 500 до 850 мм составил 25,32%. При этом пофракционное распределение кусков от общего объема горной массы следующее: фракция размером от 0 до 200 мм составляет 60%, во фракции размером от 200 до 400 мм представлено лишь 15% кусков. В свою очередь, $\frac{1}{4}$ часть горных пород составляют куски размером более 400 мм.

2. Установлено, что существует параболическая зависимость между гранулометрическим составом взорванной породы и продолжительностью заполнения кузова автосамосвала экскаватором. Если средний фракционный состав навала взорванной породы в большей массе составляет 100-150 мм, то время наполнения автосамосвала составляет 2,5 мин, тогда как при увеличении и уменьшении размера кусков взорванной породы продолжительность работы выемочно-погрузочного комплекса увеличивается в 1,5 раза, а производительность с учетом коэффициента наполнения кузова сокращается в 1,2 раза.

3. Установлено, что акустическая жесткость вскрышных пород месторождений Кузбасса (Калтанский, Кедровский Краснобродский и Талдинский) находится в функциональной зависимости от естественной

трещиноватости и с увеличением среднего расстояния между трещинами возрастает.

4. Установлены зависимости приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин и среднего размера куска от категории трещиноватости массива для оптимальных параметров буровзрывных работ. Так, при снижении трещиноватости увеличиваются приведенные ЛСПП и сетка скважин, а также средний размер куска взорванной горной массы. То есть повышение качества дробления в средне- и малотрещиноватых породах возможно при применении методов управления энергией взрыва за счет изменения граничных условий (наличие подпорной стенки из необрушенной взорванной горной массы).

5. Установлены эмпирические зависимости скорости смещения массива горных пород, среднего размера куска, ЛСПП и сетки скважин при взрывании с подпорной стенкой. Доказано, что подпорная стенка оказывает существенное влияние на перераспределение энергии взрыва скважинного заряда ВВ: максимум затрат идет на полезные формы механической работы (дробление массива горных пород), при этом значения приведенных ЛСПП и сетки скважин принимают значения, меньшие оптимальных, и снижается средний размер куска и минимум энергии на диссипативные потери (сейсмический эффект), где скорость смещения частиц пород взрывающегося массива уменьшается.

6. Введен коэффициент снижения сейсмоэффекта $K_{\text{сейсм}}^B$, равный отношению зависимостей расчетных (прогнозных) скоростей смещения для оптимальных параметров БВР без подпорной стенки к эмпирическим зависимостям, полученным путем экспериментальных исследований влияния подпорной стенки. Установлено, что для условий АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» $K_{\text{сейсм}}^B = 0,14-0,86$, что позволяет снизить сейсмоэффект в 5–7 раз, снизить безопасные расстояния и увеличить допустимую сейсмобезопасную массу одновременно взрывающегося заряда ВВ.

7. Выполнены анализ и обработка массива базиса статистических данных массовых взрывов разрезов «Калганский», «Кедровский» и

«Краснобродский» и построены эмпирические зависимости удельного расхода ВВ от параметров бурового и выемочного оборудования нового поколения для различной крепости горных пород, рациональной степени дробления и типа ВВ.

8. Предложена методика определения параметров БВР при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса, учитывающая технологические карты по буримости и взрываемости, геометрические условия, ограничивающие факторы и оптимальные параметры буровзрывных работ.

9. Разработана номограмма для оперативного расчета параметров буровзрывных работ при подготовке вскрышных пород на мощных угольных месторождениях Кузбасса, учитывающая трещиноватость, высоту уступа ($H_y \geq 15$ м), конструктивные, геометрические и энергетические параметры скважинного заряда с применением подпорной стенки для повышения качества дробления и снижения сейсмического эффекта.

Глава 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1 Рекомендации по обоснованию мобильных технологических комплексов изготовления ЭВВ при переходе к новому технологическому укладу в условиях Бачатского угольного разреза

На Бачатском угольном разрезе при производстве БВР в качестве ЭВВ применяются «Сибирит-1200» и «РПГМ» тип «А» и «Б». Технологический процесс производства ЭВВ «Сибирит» и «РПГМ» состоит в производстве невзрывчатых компонентов (эмульсии и газогенерирующей добавки) на технологических линиях мобильного комплекса; доставке невзрывчатых компонентов в смесительно-зарядных машинах до взрывного блока и изготовления ЭВВ непосредственно в процессе зарядания взрывных скважин путем дозированного смешивания эмульсии и ГГД, что позволяет исключить перевозку готового ЭВВ по дорогам общего пользования.

Эмульсия ЭВВ «Сибирит-1200» (ТУ 7276-016-05608605-2005) [152] является основным компонентом для получения ЭВВ «Сибирит-1200». Эмульсию получают в цехе ЭВВ участка изготовления ЭВВ Комплекса по производству ВВ «Бачатский» путем диспергирования подкисленного горячего водного раствора аммиачной селитры в нагретой масляной фазе (смеси индустриального масла и эмульгатора). Компонентный состав эмульсии «Сибирит-1200» представлен в таблице 4.1.

Эмульсия ЭВВ «РПГМ» (ТУ 20.16.30-002-14788090-2018) [150] представляет собой эмульсию второго рода (обратная эмульсия – по типу «вода в масле»), в которой горячий раствор окислителя (водный раствор аммиачной селитры) диспергирован в топливной смеси (смеси нефтепродуктов и эмульгаторов). Изготавливаются два типа эмульсии:

– эмульсия тип «А» предназначена для изготовления промышленного эмульсионного взрывчатого вещества «РПГМ» тип «А» (ТУ 20.51.11-001-

14788090-2018) процессе заряжания скважин смесительно-зарядной машиной при производстве взрывных работ на земной поверхности по породам и рудам, не содержащим сульфиды;

– эмульсия тип «Б» предназначена для изготовления промышленного эмульсионного взрывчатого вещества «РПГМ» тип «Б» (ТУ 20.51.11-001-14788090-2018) в процессе заряжания скважин смесительно-зарядной машиной при производстве взрывных работ на земной поверхности по породам и рудам, содержащим сульфиды.

Таблица 4.1 – Компонентный состав эмульсии «Сибирит-1200»

Полуфабрикаты и компоненты эмульсии «Сибирит-1200»	Норма для эмульсии «Сибирита1200», %
Водный раствор солей-окислителей (суммарно):	92,0–94,0
в том числе:	
– вода	15,0–19,0
– селитра аммиачная	73,0–79,0
Масляная фаза (суммарно):	6,0–8,0
в том числе:	
– масло индустриальное	4,5–7,5
– эмульгатор	0,5–1,5

Для изготовления эмульсии ЭВВ «РПГМ» типов «А» и «Б» должны применяться полуфабрикаты, массовая доля которых (в мас. %) должна соответствовать нормам, указанным в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Компонентный состав эмульсии «РПГМ»

Наименование полуфабриката эмульсии «РПГМ»	Норма, %	
	Тип «А»	Тип «Б»
Горячий раствор окислителя, тип «А»	92,5–94,5	0,0
Горячий раствор окислителя, тип «Б»	0,0	92,5–94,5
Топливная смесь	5,5–7,5	5,5–7,5

Транспортирование эмульсий осуществляется в специальных смесительно-зарядных доставочных машинах.

ГГД используется в качестве сенсibilизатора эмульсии для изготовления ЭВВ «Сибирит-1200» и «РПГМ». Контролируемые показатели ГГД (летней и зимней) приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Контролируемые показатели ГГД (летней и зимней)

Наименование показателей	Норма, %	
	«Л»	«З»
Внешний вид	Бесцветная или светло-желтая жидкость	
Массовая доля нитрита натрия, %	5,0–30,0	
Массовая доля нитрата натрия, %	0,0	10–35
Плотность при температуре 20°C, кг/м ³	1035–1095	1060–1467
Температура, °C	75,0–90,0	

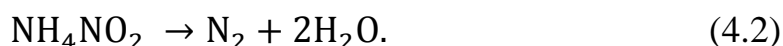
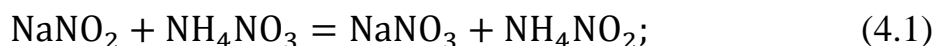
Аммиачная селитра (нитрат аммония NH₄NO₃) по ГОСТ 2-2013 является окислителем. В производстве используется аммиачная селитра марок А или Б (с магниальной или доломитной добавкой). Физико-химические свойства аммиачной селитры приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Физико-химические свойства аммиачной селитры

Наименование свойств	Значения
Суммарная массовая доля NO ₃ ⁻ и NH ₄ ⁺ азота в пересчете на NH ₄ NO ₃ , %	98
Массовая доля воды, %, не более	0,3
Массовая доля веществ, нерастворимых в 10%-м растворе HNO ₃ , %	0,2
Плотность, кг/м ³	1690–1725
Гравиметрическая плотность, кг/м ³	800–900
Температура плавления, °C	169,6
Температура разложения, °C	выше 190
Теплота растворения, МДж/кг(ккал/кг)	0,33(78,8)
Теплота кристаллизации из насыщенного раствора, МДж/кг	0,11
Температура самовоспламенения, °C	350

Принципиальная технологическая схема изготовления эмульсии представлена на примере технологической линии А (рисунок 4.1).

Основной компонент ГГД – нитрит натрия при смешении с эмульсией вступает в реакцию с находящимся в глобулах эмульсии нитратом аммония:



Образующийся в результате этой реакции нитрит аммония при определенных условиях является неустойчивым и разлагается с выделением газообразного азота. При полном протекании этой реакции 1 г нитрита натрия дает 324,64 см³ азота.

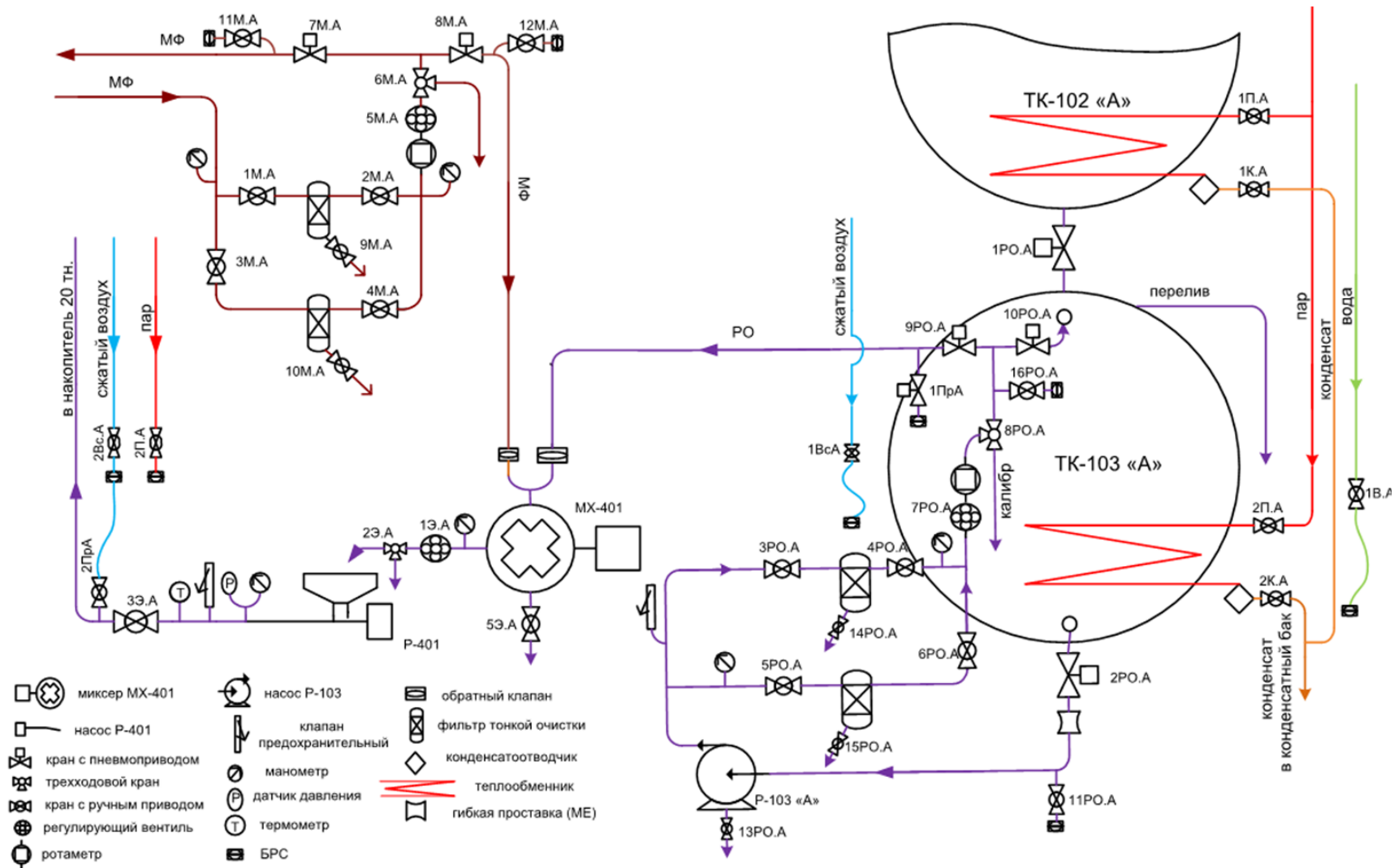


Рисунок 4.1 – Технологическая схема изготовления эмульсии на технологической линии А

Рассмотрим эффективность собственного мобильного технологического комплекса и проекта аутсорсинга в условиях Бачатского угольного разреза.

Схема отношений аутсорсинговых организаций и горнодобывающих предприятий представлена на рисунке 4.2 [165, 166].

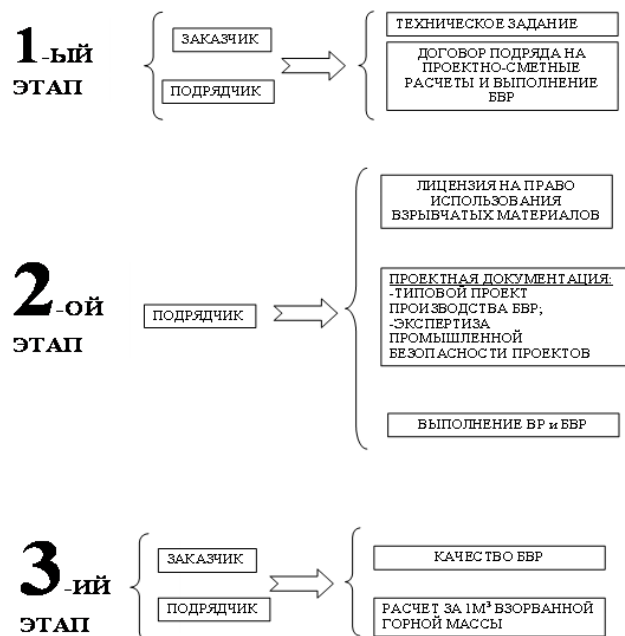


Рисунок 4.2 – Схема отношений аутсорсинговых организаций и горнодобывающих предприятий

Эффективность проектов мобильного технологического комплекса и аутсорсинга оцениваем с помощью «метода эталонного сравнения» [182], основанного на сравнении работы собственного подразделения предприятия с эталоном (аутсорсером). Данная сравнительная оценка представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Показатели и критерии оценки эффективности проектов по видам деятельности

Показатели (критерии) оценки эффективности деятельности проекта	Оценка*			
	Собственное подразделение (мобильный технологический комплекс ЭВВ)		Проект аутсорсинга	
	Баллы	Степень оценки	Баллы	Степень оценки
1. Качество процесса буровзрывной подготовки	4	Высокая	5	Высокая
2. Затраты	3	Средняя	5	Высокая
3. Организация работы	3	Средняя	1	Низкая
4. Экологичность и безопасность	2	Низкая	1	Низкая

* - метод экспертной оценки

По данным таблицы 4.5 строится матрица сравнительного анализа деятельности собственного подразделения и аутсорсера на примере Бачатского угольного разреза (рисунок 4.3).

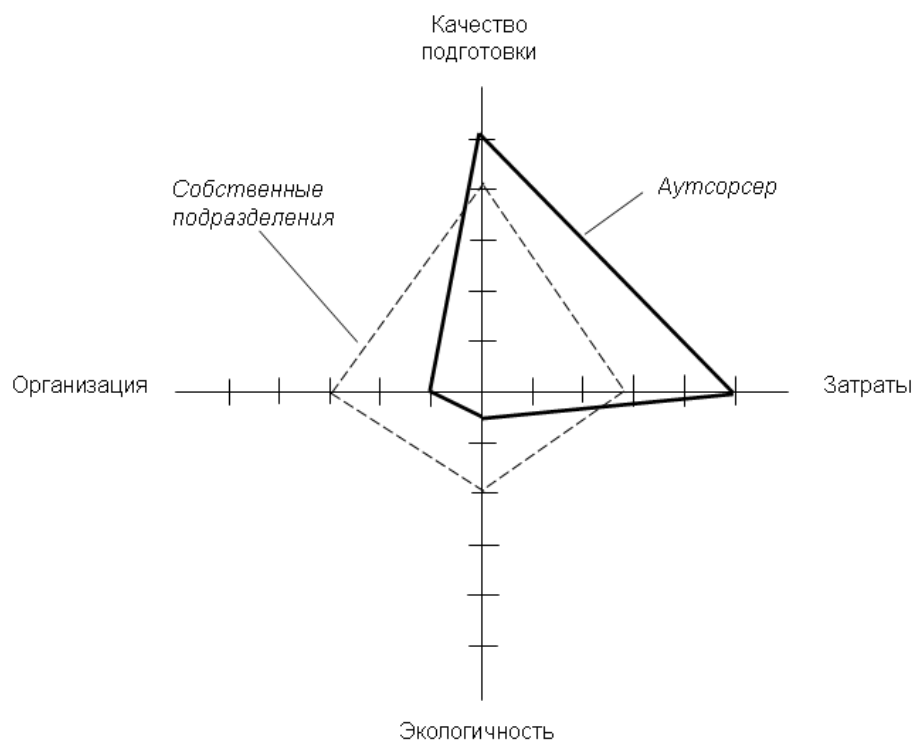


Рисунок 4.3 – Матрица сравнительной эффективности применения мобильного технологического комплекса и процесса аутсорсинга на примере Бачатского угольного разреза

Внедрение проекта по созданию мобильного технологического комплекса на разрезе Бачатского угольного месторождения позволило снизить себестоимость БВР на 9,23% (таблица 4.6), что подтверждено актом внедрения (Приложение А).

Таблица 4.6 – Влияние проекта собственного подразделения (применения мобильного технологического комплекса) на экономическую эффективность буровзрывных работ на разрезе Бачатского месторождения угля

Наименование разреза	Экономический эффект		
	Буровые работы, %	Взрывные работы, %	По комплексу БВР, %
Бачатский	4,50	14,58	9,23

При этом проекты аутсорсинговых услуг в сфере буровзрывной подготовки также успешно реализуются на многих горнодобывающих предприятиях с небольшими производственными мощностями (до 1 млн м³/год) [8].

4.2 Рекомендации по повышению качества буровзрывной подготовке при дроблении вскрышных пород в условиях разреза «Кедровский»

При производстве взрывных работ на уступах высотой более 15 м для достижения оптимальных параметров БВР предлагается:

- применение ЭВВ типа «Сибирит 1200»;
- применение подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы

при взрывной отбойке скважинными зарядами различного диаметра, конструкции заряда и сетки скважин уступов высотой более 15 м;

Обеспечение требуемого качества дробления при взрывании вскрышных уступов высотой более 15 м на подпорную стенку из неубранной взорванной горной массы

Как было уже отмечено, основными энергетическими параметрами буровзрывных работ является удельный расход ВВ. В работе выполнены исследования влияния параметров бурового оборудования (диаметр скважины $d_{\text{скв}}$, мм) и выемочного (емкость ковша экскаватора E , м³) на удельный расход эмульсионных взрывчатых веществ (НПГМ и РПГМ) в зависимости от рациональной степени дробления горной массы. Также были выполнены исследования влияния подпорной стенки на качество взрывного дробления и определены геометрические параметры БВР: ЛСПП и сетка скважин в зависимости от среднего размера куска и ширины подпорной стенки.

При этом рациональная степень взрывного дробления пород Z_p и средний кусок взорванной горной массы $d_{\text{ср}}$ определяются по зависимостям (3.8)–(3.11), где значения характеристик k , n_1 , n_2 , n_3 для различных типов экскаваторов принимаются по данным таблицы 4.7. Относительные характеристики ВВ приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.7 – Значения характеристик k , n_1 , n_2 , n_3 для условий карьерных экскаваторов (прямая лопата) при выемке вскрышных пород на разрезе «Кедровский»

Параметры (показатели)	Тип карьерного экскаватора					
	Прямая механическая лопата			Обратная гидравлическая лопата ЭГО	Шагающий драглайн, ЭШ	
	с нормальным рабочим оборудованием (ЭКГ)		с удлиненным рабочим оборудованием ЭКГ-у (ЭКГ-ус)			
$E, м^3$	5-23	25-35	56	5-15	5,2-28	5-20
k	1,02	1,07	1,16	1,02	1,05	1,07
n_1	2	2	2	2	2	2
n_2	0,21	0,21	0,21	0,18	0,15	0,15
n_3	0,27	0,27	0,27	0,27	0,275	0,27

Таблица 4.8 – Относительные характеристики ВВ

Тип ВВ		Относительные характеристики, дол. ед.		
		Работоспособности $K_{ВВ}$	Стоимости $\Pi_{ВВ}$	Эффективности $\mathcal{E}_{ВВ}$
Игданит		1,13	0,34	0,38
Гранулиты:	НП (гл.АС)	1,15	0,42	0,47
	НП (пор.АС)	0,9	0,2	0,47
	УП-1 (местного изготовления)	1,1	0,5	0,56
	УП – (заводской)	1,1	0,61	0,68
Граммонит ТК-5		1,12	0,67	0,75
Сибирит 1200; Сибирит ПСМ-7500		1,30	0,6	0,77
Граммонит ТК-10		1,06	0,76	0,8
Граммонит ТКЗ-15		1,03	0,96	0,99
Граммонит 79/21 (эталон)		1,0	1,0	1,0
Эмульсолит (П, А-20)		1,3	0,88	1,06
Граммонит 30/70		1,13	1,92	2,17
Гранулотол		1,0	2,56	3,07

Оценка экономической эффективности технологических рекомендаций

1. Изменение сетки скважин, повышение качества дробления при применении подпорной стенки.

Параметры сетки скважин при эксплуатационном блоке с высотой уступа 15 и 30 м.

Годовой экономический эффект (таблица 4.9) определяем по формуле

$$\left(\frac{V_{\text{вск}}}{V_{\text{г.м.}}} - \frac{V_{\text{вск}}}{V_{\text{г.м.2.}}}\right) C_{\text{бур}}, \quad (4.3)$$

где $V_{\text{вск}}$ – производительность разреза по вскрыше, м³/год; $V_{\text{г.м.}}$ – выход взорванной горной массы, м³/м; $C_{\text{бур}}$ – себестоимость бурения 1 погонного метра скважины, руб./м.

Таблица 4.9 – Экономическая оценка применения оптимальных параметров БВР для условий Кедровского угольного разреза за счет изменения сетки скважин при применении подпорной стенки

Сетка скважин, м × м	Производительность карьера по вскрыше $V_{\text{год}}$, тыс. м ³ /год	Выход взорванной горной массы с 1 погонного метра скважины, м ³ /м	Годовой объем бурения $V_{\text{бур}}$, тыс. м/год	Себестоимость бурения 1 погонного метра скважины, руб./м	Годовые эксплуатационные затраты на бурение $Z_{\text{бур}}$, тыс.руб/год
6,5×5,5	75 000	32	2 343	300,5	704 072
7×7	75 000	36	2 083	300,5	625 941
Годовой эффект, тыс. руб.		78 000			

2. Сокращение удельного расхода ВВ на 1 м³ при взрывании вскрышных пород, руб./год.

Годовой экономический эффект (таблица 4.10) определяем по формуле

$$(q_{\text{ВВ1}} - q_{\text{ВВ2}}) V_{\text{вск}} C_{\text{ВВ}}, \quad (4.4)$$

где $V_{\text{вск}}$ – производительность разреза по вскрыше, м³/год; $q_{\text{ВВ}}$ – удельный расход ВВ, кг/м³; $C_{\text{ВВ}}$ – цена 1 кг ВВ, руб./кг.

Таблица 4.10 – Экономическая оценка применения оптимальных параметров БВР для условий Кедровского угольного разреза за счет применения ЭВВ и снижения удельного расхода ВВ

Тип ВВ	Производительность разреза по вскрыше $V_{\text{вск}}$, тыс. м ³ /год	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Годовой расход ВВ, т/год	Стоимость 1 кг ВВ $C_{\text{ВВ}}$, тыс. руб./т	Годовые эксплуатационные затраты на ВВ $Z_{\text{ВВ}}$, тыс. руб./год
Гранулит	75 000	0,58	45 200	48	2 169 600
Сибирит 1200	75 000	0,7	50 500	41	2 152 500
Годовой эффект, тыс. руб.		17 000			

3. Переход на ЭВВ и применение подпорной стенки привело к повышению качества дробления горных пород: снижение среднего размера куска на 18% и более равномерное дробление по высоте уступа; снижение выхода негабарита на 5% привело к уменьшению продолжительности цикла погрузки выемочно-погрузочного оборудования за счет полноты наполнения ковша.

Повышение производительности экскаватора и автосамосвалов приводит к сокращению их рабочего парка:

$$\left(\frac{V_{\text{вск}}}{P_{\text{экс1}}} - \frac{V_{\text{вск}}}{P_{\text{экс2}}} \right) C_{\text{эксп}}, \quad (4.5)$$

$$\left(\frac{V_{\text{вск}}}{Q_{a\backslash c1}} - \frac{V_{\text{вск}}}{Q_{a\backslash c2}} \right) C_{\text{эксп}}, \quad (4.6)$$

где $V_{\text{вск}}$ – производительность разреза по вскрыше, м³/год; $Q_{\text{экс}}$ – производительность экскаватора в год, м³/год; $Q_{a/c}$ – производительность автосамосвала в год, м³/год; $C_{\text{эксп}}$ – себестоимость эксплуатации соответственно экскаватора и автосамосвала.

Расчет годового экономического эффекта за счет сокращения парка выемочно-транспортного комплекса представлен в таблице 4.10.

Экономический эффект при реализации предложенных технологических решений по обоснованию оптимальных параметров БВР для высокоуступной геотехнологии и выемочно-транспортного оборудования большой единичной мощности в условиях Кедровского угольного разреза за счет увеличения сетки скважин, снижения удельного расхода ВВ, применения ЭВВ и подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы составил 251 млн руб, что подтверждено актом внедрения (Приложение Б).

Таблица 4.11 – Экономическая оценка применения оптимальных параметров БВР для условий Кедровского угольного разреза за счет сокращения парка выемочно-транспортного комплекса

Тип ВВ	Производительность разреза по вскрыше $V_{\text{год}}$, тыс. м ³ /год	Производительность экскаватора в год $Q_{\text{экс}}$, тыс. м ³ /год	Производительность автосамосвала в год $Q_{\text{а/с}}$, тыс. м ³ /год	Рабочий парк экскаваторов $n_{\text{экс}}$, шт.	Рабочий парк автосамосвалов $n_{\text{а/с}}$, шт.	Себестоимость эксплуатации экскаватора в год $C_{\text{экспл}}$, тыс. руб./год	Себестоимость эксплуатации автосамосвала в год $C_{\text{экспл}}$, тыс. руб./год	Годовые эксплуатационные затраты на комплекс выемочно-погрузочного и транспортного оборудования $Z_{\text{в-т}}$, тыс.руб./год
Гранулит	75 000	1 900	1 540	40	49	23 000	9 000	1 361 000
Сибирит 1200	75 000	2 200	1 590	34	47	23 000	9 000	1 205 000
Годовой эффект, тыс. руб.		156 000						

4.3 Технико-экономическая оценка рекомендаций исследований по повышению производительности выемочного оборудования большой единичной мощности за счет оптимизации параметров БВР в условиях Краснобродского угольного разреза

Технико-экономические показатели буровзрывных работ от внедрения рекомендаций исследований представлены в таблице 4.12, где наблюдается увеличение производительности экскаваторов до 23% за счет снижения среднего размера куска горной массы при взрывании с подпорной стенкой. Расчет производительности экскаваторов большой единичной мощности от среднего размера куска взорванной горной массы определялся по формуле (3.1) и с учетом аппроксимированных зависимостей продолжительности цикла процесса экскавации от среднего размера куска экскаваторов с емкостью ковша $E = 33,6-35 \text{ м}^3$ (см. рисунки 3.15-3.17), а также оптимальных приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин и среднего размера куска от ширины подпорной стенки из необрушенной горной массы (см. рисунок 3.26).

Таблица 4.12 – Технико-экономические показатели буровзрывных работ от внедрения рекомендаций исследований в условиях Краснобродского угольного разреза

Параметры (показатели)	Уступная отбойка без подпорной стенки	Технология буровзрывной подготовки вскрышных уступов с применением подпорной стенки (В, м)		
		10	20	30
1. Высота уступа H_y , м	15-30 м	20	20	20
2. Диаметр скважин $d_{скв}$, м	0,22-0,27	0,27	0,27	0,27
3. ЛСПП W , м	7,5-14,5	12,4	10,8	9,7
4. Сетка скважин $a \times b$, м	5,5-7,5	7,0	6,5	5,8
5. Удельный расход ВВ $q_{ВВ}$, кг/м ³	0,7	0,71	0,65	0,61
6. Средний размер куска $d_{ср}$, мм	0,45	0,25	0,15	0,10
7. Выход негабаритной фракции V_n^+ , %	8,2	5,1	2,6	1,5
8. Выход мелкой фракции V_{0-40^-} , %	17	12,9	9,6	14
9. Производительность экскаватора, м ³ /ч	3900	4200	5100	4700

Экономический эффект от внедрения результатов исследований получен за счет увеличения производительности горнотранспортного оборудования, что достигается улучшением качества дробления пород вскрыши (снижение выхода негабарита, фракции 0-40 мм и среднего размера куска) с одновременным снижением сейсмического действия взрыва:

$$\mathcal{E} = V_{\text{вск}} \left(\frac{C_{\text{э}} + C_{\text{тр}}}{\Delta Q_{\text{экс}}} \pm V_{\text{нег}}^+ C_{\text{нег}} \pm \frac{C_{\text{бур}}}{\Delta p} \pm C_{\text{ВВ}} \Delta q \pm V_{0-40}^- C_{\text{вск}} \right), \quad (4.7)$$

где $V_{\text{вск}}$ – объем выемки по вскрыше, м³; $Q_{\text{экс}}$ – производительность экскаватора, м³/ч; $Q_{\text{а/с}}$ – производительность автосамосвала, м³/ч; $C_{\text{экссп}}$ – себестоимость эксплуатации соответственно экскаватора и автосамосвала.

В таблице 4.13 представлен расчет экономического эффекта от внедрения результатов исследований.

Таблица 4.13 – Оценка экономической эффективности от внедрения результатов исследований в условиях Краснобродского угольного разреза

Технологические процессы и показатели	Себестоимость, руб./м ³		Экономический эффект, руб./м ³
	Технология БВР без подпорной стенки	Технология БВР с подпорной стенкой	
1. Бурение	25,04	29,7	- 4,66
2. Взрывание	62,9	67,4	-4,5
3. Разделка негабарита	12,4	7,7	+4,7
4. Эскавация	45,6	38,4	+7,2
5. Транспортирование	16,2	14,9	+1,3
Итого:			4,04

Таким образом, годовой экономический эффект в условиях Краснобродского угольного разреза при годовом объеме вскрышных работ 65 млн м³/год составил 262 млн руб.

Анализ результатов исследований показал значительное преимущество разработанного энергетического метода совершенствования параметров буровзрывной подготовки пород вскрыши в условиях мощных угольных разрезов Кузбасса по сравнению с традиционным методом многорядного короткозамедленного взрывания скважинных зарядов. При этом за счет

применения подпорной стенки улучшается качество дробления (средний размер куска снижается в 2–3 раза) и снижается сейсмический эффект в 5–7 раз. Результаты исследований и практические рекомендации работы использовались при составлении типовых проектов буровзрывных работ и проектов массовых взрывов на мощных угольных разрезах Кузбасса.

Выводы по главе 4

1. Внедрение проекта по созданию мобильного технологического комплекса на разрезе Бачатского угольного месторождения позволило снизить себестоимость БВР на 9,23 %.

2. Расчетный экономический эффект при реализации предложенных технологических решений по обоснованию оптимальных параметров БВР для высокоуступной геотехнологии и горнотранспортного оборудования большой единичной мощности в условиях Кедровского и Краснобродского угольных разрезов за счет увеличения сетки скважин, снижения удельного расхода ВВ, применения ЭВВ и подпорной стенки составил 251 и 65 млн руб. соответственно.

3. Доказано, что применение подпорной стенки улучшает качество дробления (средний размер куска уменьшается в 2–3 раза) и снижается сейсмический эффект в 5–7 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, изложено научное обоснование выбора параметров БВР при подготовке вскрышных пород на крупных угольных разрезах, что имеет важное значение для устойчивого функционирования угледобывающей отрасли России.

Основные выводы и результаты диссертационного исследования:

1. Установлено, что между глубиной открытой разработки и усложнением физико-механических свойств пород (плотность и крепость) существуют прямо пропорциональные зависимости, что предопределяет необходимость проведения соответствующего технического перевооружения горнодобывающих предприятий Кузбасса и обоснования рациональных параметров БВР в зависимости от характеристик массива.

2. Выполнены: систематизация основных факторов, влияющих на эффективность буровзрывных работ на разрезах Кузбасса; оценка энергетических затрат буровзрывной подготовки в общем энергобалансе выемки вскрышных пород для высокоуступной геотехнологии при установлении аппроксимированных зависимостей степени взрывного дробления от трещиноватости вскрышных пород. Установлено, что при увеличении энергоемкости процесса подготовки с 2 до 5,3 МДж/м³, степень взрывного дробления сильнотрещиноватых вскрышных пород возрастает с 1,2 до 1,6, среднетрещиноватых – с 1,8 до 2,6, малотрещиноватых – с 3,1 до 5,1.

3. Установлены зависимости энергоемкости технологических процессов: бурения, взрывного дробления, экскавации (черпания) и транспортирования вскрышных пород различной трещиноватости от среднего размера куска. Предложена классификация современных технологических комплексов по месту изготовлению эмульсионных составов взрывчатых веществ в соответствии с энергетическими характеристиками и сырьевыми ресурсами: стационарные (завод), полустационарные (контейнеры) и мобильные (передвижные комплексы).

4. Выполнено сравнение конкурирующих вариантов на примере разрезов «Кедровский» и «Краснобродский» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь». Предпочтительным является вариант: на первом этапе строительства, при внедрении новых типов ЭВВ и адаптации параметров БВР, – применение мобильных технологических комплексов, где транспортировка всех компонентов ЭВВ осуществляется танк-контейнером до промплощадки карьера, далее до заряжаемого блока СЗМ; а на втором этапе, при применении ЭВВ на массовых взрывах, – строительство стационарного или полустационарного технологического модульного комплекса для производства компонентов промышленных ЭВВ.

5. Установлено распределение гранулометрического состава крупных угольных разрезов Кузбасса, где размер кусков от 0 до 500 мм составил 74,68%, а размер кусков от 500 до 850 мм составил 25,32%. При этом пофракционное распределение кусков от общего объема горной массы следующее: фракция размером от 0 до 200 мм составляет 60%, фракция размером от 200 до 400 мм - 15% кусков. В свою очередь, $\frac{1}{4}$ часть горных пород составляют куски размером более 400 мм. Установлено, что существует параболическая зависимость между гранулометрическим составом взорванной породы и продолжительностью заполнения кузова автосамосвала экскаватором.

6. Установлено, что акустическая жесткость вскрышных пород месторождений Кузбасса (Калтанский, Кедровский, Краснобродский и Талдинский) находится в функциональной зависимости от естественной трещиноватости и с увеличением среднего расстояния между трещинами с 0,7 до 1,0 м акустическая жесткость возрастает с 14 до 18 кг/(м²с). Установлены зависимости приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин и среднего размера куска от категории трещиноватости массива для оптимальных параметров буровзрывных работ. Так, при снижении трещиноватости увеличиваются приведенные ЛСПП и сетка скважин, а также средний размер куска взорванной горной массы, повышение качества

дробления в средне- и малотрещиноватых породах возможно при применении подпорной стенки из неубранной горной массы.

7. Установлены эмпирические зависимости среднего размера куска, ЛСПП и сетки скважин от ширины подпорной стенки при взрывании уступов. Введен коэффициент снижения сейсмoeffекта $K_{\text{сейсм}}^B$, равный отношению расчетных (прогнозных) скоростей смещения для оптимальных параметров БВР без подпорной стенки, к значениям скоростей, полученным путем экспериментальных исследований влияния подпорной стенки. Установлено, что для условий АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» $K_{\text{сейсм}}^B = 0,14-0,86$, что позволяет снизить сейсмoeffект в 5–7 раз, снизить безопасные расстояния и увеличить допустимую сейсмобезопасную массу заряда ВВ в группе.

8. Предложена методика и номограмма для определения параметров БВР в зависимости от трещиноватости, высоты уступа ($H_y \geq 15$ м), конструктивных, геометрических и энергетических характеристик заряда с применением подпорной стенки для повышения качества дробления и снижения сейсмического эффекта. Реализация методики позволила улучшить качество дробления (средний размер куска уменьшается в 2–3 раза) и снизить сейсмический эффект в 5–7 раз. Внедрение проекта по созданию мобильного технологического комплекса на разрезе Бачатского угольного месторождения позволило снизить себестоимость БВР на 9,23%. Расчетный экономический эффект от внедрения методики и проектов аутсорсинга в условиях Кедровского и Краснобродского угольных разрезов составил 251 и 262 млн руб., соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Advanced Technology for Setting Out of Blastholes and Measurements while Drilling / Duan Y., Xiong D., Yao L., Wang F., Xu G. // 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. – Australia, 2015. – P. 593–598.
2. Андриевский, А.П. Физико-техническое обоснование параметров разрушения горного массива взрывом удлиненных зарядов: дис. ... д-ра техн. наук / А.П. Андриевский; Ин-т горн. дела СО РАН. – Красноярск, 2009. – 349 с.
3. Аникин, К.В. Перспективы применения в России экскаваторов с объемом ковша 20 м³ и более / К.В. Аникин // ГИАБ. – 2009. – Семинар № 10. – С. 365–369.
4. Анистратов, К.Ю. Оптимальный срок службы карьерных одноковшовых экскаваторов с электрическим приводом / К.Ю. Анистратов, С.А. Конопелько // Горная промышленность. – 2012. – №3(103). – С. 8–12.
5. Анистратов, К.Ю. Разработка стратегии технического перевооружения карьеров / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – № 4. – 2012. – С. 2-8.
6. Анистратов, К.Ю. Технико-экономическое обоснование эффективности применения карьерных экскаваторов ЭКГ-18 с речным напором ПАО «Уралмашзавод» на угольных разрезах / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – 2016. – №5 (129). – С. 18–23.
7. Atsumi, Miyake. Influence of physical properties of ammonium nitrate on the detonation behaviour of anfo / Atsumi Miyake, Keiya Takahara, Terushige Ogawa // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2001. – Vol. 14(6). – P. 533–538.
8. Аутсорсинг процесса подготовки горных пород к выемке строительного камня при использовании ЭВВ «Сибирит» на примере ООО «Уральский Сибирит» / Д.В. Доможиров, И.И. Носов, А.А. Прохоров, В.И. Носов // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. / под. ред. Г.Д. Першина – Магнитогорск: МГТУ, 2016. – С.86–90.

9. Баранов, Е.Г. Некоторые параметры физического состояния взорванного массива и их связь с коэффициентом разрыхления / Е.Г. Баранов, И.А. Тангаев, Я.М. Додис // ФТПРПИ. – 1972. – №2. – С. 45–49.
10. Барон, Л.И. Кусковатость и методы ее измерения / Л.И. Барон. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 124 с.
11. Баулин, А.В. Обоснование параметров технологии отработки вскрышных пород высокими уступами при транспортной системе разработки на угольных разрезах: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Баулин. – М., 2002. – 166 с.
12. Беляев, Ю.И. Влияние коэффициента разрыхления взорванных пород на усилия копания / Ю.И. Беляев, В.М. Матушенко // Добыча угля открытым способом: науч.-техн. реф. сб. – М.: Недра, 1967. – №6.
13. Беляков, Ю.И. Проектирование экскаваторных работ / Ю.И. Беляков. – М.: Недра, 1983. – 439 с.
14. Брагин, В.И. Вероятностный подход к оценке динамического бортового содержания / В.И. Брагин, М.Ю. Харитонов, Н.А. Мацко // Записки Горного института. – 2021. – Т. 251. – С. 617–625. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.1.2
15. Бухалков, М.И. Организация производства и управление предприятием / М.И. Бухалков, В.Б. Родинов, О.Г. Туровец. – М.: Инфра-М, 2005.
16. Бучин, С.А. Развитие аутсорсинга как инновационной формы интеграции промышленных предприятий: организационно-экономические аспекты: автореф. дис. ... канд. экон. наук / С.А. Бучин. – М., 2010.
17. Буянкин, П.В. Моделирование динамических нагрузок на опорноповоротное устройство экскаватора-мехлопаты / П.В. Буянкин, Е.К. Соколова // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XV межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2013. – С. 38-41.

18. Взрывание в зажатой среде на карьерах / Новожилов М.Г., Друкованный М.Д., Ильин В.И., Оксанич И.Ф. – Киев: Наукова думка, 1966. – 234 с.

19. Взрывание в зажатой среде на карьерах / М.Г. Новожилов, М.Ф. Друкованный, В. И. Ильин, И. Ф. Оксанич. – Киев: Наук. думка, 1986. – 170 с.

20. Взрывание высоких уступов при различных диаметрах скважин на Сарбайском руднике / С.А. Оспанов, А.И. Сухорученков, А.И. Дарменбаев, А.Т. Калашников // Взрывное дело: сборник. Выпуск №73/30. – М.: Недра, 1974. – С. 124–127.

21. Виноградов, Ю.И. Исследование влияния удельных энергозатрат и сетки расположения скважин на эффективность дробления горных пород взрывом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю.И. Виноградов. – Л.: ЛГИ, 1976.

22. Влияние изменения горно-геологических условий на надежность горного оборудования / В.С. Квагинидзе, А.Л. Фирсов, В.В. Акименко, Д.А. Бобровский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №S11. – С.408-411.

23. Возгрин, Р.А. Повышение качества горной массы при применении скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ уменьшенного диаметра: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.А. Возгрин; НМСУ «Горный». – Санкт-Петербург, 2015. – 18 с.

24. Воронов, А.Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Ю. Воронов. – Кемерово, 2015. – 19 с.

25. Высокоуступная технология открытых горных работ на основе применения кранлайнов / К.Н. Трубецкой, А.Н. Домбровский, И.А. Сидоренко и др. // Горный журнал. – 2005. – № 4. – С. 40–43.

26. Голубин К.А. Обоснование резерва взорванной горной массы на разрезах с автомобильным транспортом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. // Голубин К.А. Кемерово, 2013, 23с.

27. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / К.Н. Трубецкой, Ю.Н. Малышев, Л.А. Пучков и др.; под ред. К.Н. Трубецкого; РАН, АГН, РАЕН, МИА. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.

28. Демидюк, Г.П. О механизме действия взрыва и свойствах взрывчатых веществ / Г.П. Демидюк // Взрывное дело: сборник. Выпуск № 45(2). – М.: Госгортехиздат, 1960. – С. 20-35.

29. Демидюк, Г.П. Пути развития промышленных взрывчатых веществ / Г.П. Демидюк // Взрывное дело: сборник. Выпуск № 48(5). – М.: Госгортехиздат, 1962.

30. Длин, А.М. Математическая статистика / А.М. Длин. – М.: Сов. наука, 1958. – 466 с.

31. Добрынин, И.А. Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород: дис. ... канд. техн. наук / И.А. Добрынин; Институт проблем комплексного освоения недр РАН. – М., 2010. – 102 с.

32. Додис, Я.М. Критерии оценки качества взрывной подготовки горной массы к выемке / Я.М. Додис // Вестник КРСУ. – 2007. – Т. 7. – № 1. – С. 57-68.

33. Додис, Я.М. Управление информационным обеспечением добычи в условиях взрывной подготовки горной массы на карьерах / Я.М. Додис. – Бишкек: КРСУ, 2000. – 333 с

34. Доможиров, Д.В. Анализ техники и технологии производства буровзрывных работ при применении эмульсионных ВВ на карьерах Южно-Уральского региона / Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, А.В. Генкель // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2012. – С. 67–71.

35. Доможиров, Д.В. Пути повышения конкурентоспособности предприятий горнорудной промышленности в современных экономических условиях / Д.В. Доможиров, Д.Б. Симаков, И.Е. Зурков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №10. – С. 82–85.

36. Дорофеев, В.А. Обоснование организационно-технологических методов ведения горных работ в сложных горнотехнических и

геокриологических условиях открытой разработки угольных месторождений (на примере разреза «Восточный»): автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Дорофеев. – Чита, 2005. – 25 с.

37. Дроздова, Л.Г. Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт : учеб. пособие / Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова. – Владивосток, 2007. – С. 48–56.

38. Друкованный, М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах / М.Ф. Друкованный. – М., 1973. – 415 с.

39. Друкованный, М.Ф. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах / М.Ф. Друкованный, В.С. Куц, В.И. Ильин. – М., 1980. – 223 с.

40. Ефремов, Э.И. Взрывание с внутрискважинным замедлением / Э.И. Ефремов. – Киев, 1971.

41. Жариков, И.Ф. Разработка и научное обоснование энергосберегающих технологий взрывных работ на открытых разработках угольных месторождений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И.Ф. Жариков. – М.: Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского, 2001. – 45 с.

42. Жариков, С.Н. Изучение промышленной сейсмики для уточнения методики оценки влияния взрывов на устойчивость охраняемых объектов / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев // Горная промышленность. - 2023. – №1. – С. 122-127.

43. Жариков, С.Н. О рациональном подходе к уступной взрывной отбойке на карьерах и вопросах применения некоторых взрывчатых веществ / С.Н. Жариков, В.А. Кутуев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1. – С. 435-444.

44. Закономерности формирования показателей эффективности работы погрузочно-транспортных комплексов на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов / Д.В. Доможиров, А.А. Зубков, Н.В. Угольников, Е.В. Борисенко // Рациональное освоение недр. – 2024. – № 2. – С. 42-49.

45. Иванов, С.Л. Оценка наработки карьерных экскаваторов перспективного модельного ряда в реальных условиях эксплуатации / С.Л.

Иванов, П.В. Иванова, С.Ю. Кувшинкин // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 228–233. DOI: 10.31897/rmi.2020.2.228. Старшинов, А.В. Особенности сырьевой базы для изготовления взрывчатых веществ на местах применения в странах СНГ и Монголии / А.В. Старшинов, Ж. Жамьян, В.Ю. Фадеев // Горное дело в Казахстане: сб. трудов Первой межд. науч.-практ. конф. – Алма-Ата, РИО ВАК РК, 2000. – С. 234–236.

46. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits / Fomin S.I., Ivanov V.V., Semenov A.S., Ovsyannikov M.P. // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, vol. 15, no. 11, pp. 1306–1311.

47. Influence of an installation angle of the conveyor lift on the volumes of mining and preparing work at quarries at the cyclic-flow technology of ore mining / Yakovlev V.L., Glebov A.V., Bersenyov V.A., Kulniyaz S.S., Ligotskiy D.N. // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2020, vol. 4, no. 442, pp. 127–137. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.93.

48. Интенсификация дробления скальных горных пород с целью повышения эффективности горнотранспортного оборудования / Г.В. Кузнецов, А.А. Батманова, В.А. Малых и др. – М.: Недра, 1973. – 51 с.

49. Исайченков, А.Б. Оптимизация сопряженно выполняемых технологических процессов вскрышных работ при применении современных экскаваторно-автомобильных комплексов (на примере разреза «Тугнуйский»): автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Б. Исайченков; ИПКОН РАН. – М., 2017. – 23 с.

50. Казаков, Н.Н. О форме кусков раздробленной взрывом породы / Н.Н. Казаков, И.Н. Лапиков // Взрывное дело: сборник. Выпуск № 101/58. – М.: МВК по взрывному делу АГН, 2009. – С. 57–62.

51. Cameron, P. The ABC of Mine to Mill and metal price cycles / P. Cameron, D. Drinkwater, J. Pease // Proceedings 13th AusIMM Mill Operators' Conference. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 2016, pp. 349–358.

52. Каплунов, Д.Р. Особенности технического переоснащения подземных рудников на современном этапе развития геотехнологий / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 3. – С. 113–122.

53. Катанов, И.Б. Обоснование повышения качества взрывных работ с использованием пеногелеобразующих составов при открытой разработке месторождений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И.Б. Катанов; «Кузбасский государственный технический университет». – Кемерово, 2008. – 38 с.

54. Килин, А.Б. Научное обоснование системы непрерывного совершенствования производственного процесса открытой угледобычи: дис. ... д-ра техн. наук / А.Б. Килин; ФГБУН ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2021. – 296 с.

55. Климов, С.Л. О программе кооперированного производства экскаваторов нового поколения / С.Л. Климов, Р.М. Штейнцайг, П.Р. Хаспеков // Горная Промышленность. – 1999. – №2.

56. Колесников, В.Ф. Применение экскаваторов большой производственной мощности на разрезах Кузбасса / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 4. – С. 24–25.

57. Комащенко, В.И. Взрывные работы / В.И. Комащенко, В.Ф. Носков, Т.Т. Исмаилов. – М.: Высшая школа, 2007. – 439 с.

58. Комащенко, В.И. Влияние структурных особенностей и физико-механических свойств массивов на качество взрывной подготовки руды и эффективность защиты окружающей среды / Комащенко В.И., Анциферов С.В., Саммаль А.С. // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2016. – Вып. 3. – С. 190-203.

59. Кононенко, Е.А. Исследование и разработка технологии подготовки полускальных пород при применении гидрокомплексов на карьерах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Кононенко. – М.: МГИ, 1982. – 16 с.

60. Кочетков, П.А. Методы предварительного разупрочнения горных пород взрывом / П.А. Кочетков, О.В. Дымченко, А.А. Грубский // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. – 1992. – №6. – С. 54–58.

61. Крюков, Г.М. Модель взрывного рыхления горных пород на карьерах. Выход негабарита. Средний размер кусков в развале / Г.М. Крюков. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – 30 с.

62. Кузбассразрезуголь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kru.ru/ru/activity/primary_production/coal-mining/

63. Кузнецов, Д.В. Обоснование технологических комплексов горнотранспортного оборудования для открытой разработки рудных месторождений в суровых климатических условиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Кузнецов; Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск, 2015. – 19 с.

64. Кузнецова, В.Н. Исследование энергоэффективных параметров одноковшовых экскаваторов / В.Н. Кузнецова, В.В. Савинкин. – Омск: СибАДИ, 2015. – 210 с.

65. Кузнецов, В.А. Обоснование буровзрывных работ в карьерах и открытых горно-строительных выработках, на основе деформационного зонирования взрывааемых уступов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Кузнецов; МГГУ. – М., 2010. – 44 с.

66. Кукин, А.В. Обоснование параметров технологии переработки на щебень вскрышных пород железорудных месторождений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Кукин. – М.: МГИ, 2013. – 18 с.

67. Cunningham, C. V. B. Control over Blasting Parameters and Its Effect on Quarry Productivity / Cunningham C. V. B. – Rondebosch : AECI Explosives and Chemical Limited, 2011. P. 173–177.

68. Куринной В. П. Теоретические основы взрывного разрушения горных пород. Куринной В. П. – Днепр, 2018. - 280 с.

69. Кутузов, Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом / Б.Н. Кутузов. – М.: МГИ, 2009. – 471 с.

70. Кутузов, Б.Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов / Б.Н. Кутузов. – М.: МГГУ, 1996. – 54 с

71. Кутузов, Б.Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов Ч. 2. Взрывные технологии в промышленности / Б.Н. Кутузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГГУ, 1994. – 448 с.
72. Кутузов, Б.Н. Справочник взрывника: в 2 ч. Ч. 2. Техника, технология и безопасность взрывных работ / Б.Н. Кутузов. – М.: Горное дело, 2014. – 304 с.
73. Кутузов, Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности: учеб. пособие / Б.Н. Кутузов. – М.: Горная книга, 2009. – 669 с.
74. Кулешов, А.А. Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта. Справочник / А.А. Кулешов. – СПб., 1995.
75. Лапиков, И.Н. Прогнозирование качества дробления массива горных пород скважинными зарядами по классам крупности: дис. ... канд. техн. наук / И.Н. Лапиков. – М., 2011. – 120 с.
76. Лещинский, А.В. Научно-техническое обоснование рациональных средств и методов разрушения скальных пород при открытых горных работах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Лещинский; ГОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет». – Хабаровск, 2010. – 35 с.
77. Литвин, О.И. Обоснование рациональных технологических параметров производства вскрышных работ обратными гидравлическими лопатами на разрезах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.И. Литвин. – Кемерово, 2012. – 21 с.
78. Литвин, Я.О. Расчет затрат на перемещение горной массы карьерными автосамосвалами / Литвин Я.О. // Вестник КузГТУ. – 2011. – № 1. – С. 31–33.
79. Лукичѳв, С.В. Автоматизированное проектирование массовых взрывов в карьерах на основе моделирования разрушения горных пород / С.В. Лукичѳв, О.В. Наговицын, А.В. Корниенко // Взрывное дело. Горн. информ.-анал. бюл. – 2007. – № ОВ7. – С. 126–138.
80. Ляшенко, Ю.М. Ковшовые рабочие органы с конвейерным днищем: систематика и конструктивные особенности / Ю.М. Ляшенко, Е.А. Ревякина,

А.Ю. Ляшенко // *Advanced Engineering Research*. – 2020. – Т. 20. – № 3. – С. 302–310. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2020-20-3-302-310>

81. Магомедов, Т.М. Обоснование параметров зарядов эмульсионных взрывчатых веществ, обеспечивающих повышение эффективности дробления горных пород на карьерах Ленинградской области: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т.М. Магомедов; НМСУ «Горный». – Санкт-Петербург, 2012. – 21 с.

82. Маковеев, А.В. Обоснование параметров карьерных экскаваторов в зависимости от условий эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Маковеев; ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет». – Екатеринбург, 2008. – 17 с.

83. McKee, D. *Understanding mine to mill* / D. McKee. – Brisbane Australia: Cooperative research centre for optimising resource extraction, 2013. – 96 p.

84. Маляров, И.П. Оптимизация параметров буровзрывных работ на гранитных карьерах при разрушении крупноблочных пород / И.П. Маляров, А.В. Минченков, В.К. Угольников // *Комплексное использование минерального сырья*. – 1985. – №1.

85. Маляров, И.П. Оценка энергии, идущей на бесполезную (вредную) работу при взрывании одиночных зарядов ВВ / И.П. Маляров, Д.В. Доможиров // *Разработка мощных рудных месторождений: Межвуз. Сб. науч. тр.* – Магнитогорск, 1999. – С. 77–83.

86. Маляров, И.П. Энергоемкость процессов разрушения горных пород при взрывании и механическом дроблении в горно-обогатительном производстве: дис. ... д-ра техн. наук / И.П. Маляров. – Магнитогорск, 1990. – 364 с. (Магнитогорский горно-металлургический институт).

87. Marinina, O.A. *Curcular economy models in industry: developing a conceptual framework* *Energies* / O.A. Marinina, N.Y. Kirsanova, M.A. Nevskaya // *Energies*. 2022, vol. 15, pp. 9376—9386. DOI: 10.3390/en15249376.

88. Михайлов, А.Г. Проектирование параметров взрывных работ на карьерах / А.Г. Михайлов. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2002. – 268 с.

89. Михайлов, Ю.М. Безопасность аммиачной селитры и ее применение в промышленных взрывчатых веществах / Ю.М. Михайлов, Е.В. Колганов, В.А. Соснин. – Дзержинск: Партнер-плюс, 2008. – 304 с.

90. Молдован Д.В. Управление качеством взрывоподготовки горной массы на карьерах строительных материалов на основе оптимизации параметров БВР: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Молдован; СПГТИ (ТУ). – Санкт-Петербург, 2006. – 21 с.

91. Мосинец, В.Н. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / В.Н. Мосинец, А.В. Абрамов. – М.: Недра, 1982. – 248 с.

92. Мысин, А.В. Разработка конструкции скважинного заряда для повышения эффективности буровзрывных работ при отработке месторождений железной руды высокими уступами: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Мысин. – СПб., 2019. – 131 с.

93. Направления и результаты исследований по созданию проходческого оборудования нового технического уровня / Г. Ш. Хазанович [и др.] // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2013. – С. 148–152.

94. Ненашев, А.С. Технология ведения горных работ на разрезах при разработке сложноструктурных месторождений / А.С. Ненашев, В.Г. Проноза, В.С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2010. – 246 с.

95. Обоснование выбора способа изготовления и доставки эмульсионных взрывчатых веществ при внедрении нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса / И. А. Пыталев, Д. В. Доможиров, Е. В. Борисенко, Ю. К. Ильтинин // Горная промышленность. – 2023. – № 6. – С. 155-161.

96. Оверченко, М.Н. Рациональные конструкции зарядов эмульсионных ВВ, обеспечивающие эффективное дробление горных пород на высоких уступах карьеров: дис. ... канд. техн. наук / М.Н. Оверченко. – М., 2003. – 153 с.

97. Опанасенко, П.И. Оптимизация кусковатости взорванных полускальных вскрышных пород на разрезе «Тугнуйский» / П.И.

Опанасенко, А.Б. Исайченков // Горный журнал. – 2015. – № 9. – С. 25–35.
DOI: 10.17580/gzh.2015.09.12. 12.

98. Оценка влияния параметров технологии взрывной подготовки горных пород к выемке на производительность погрузочно-доставочного комплекса на угольных разрезах Кузбасса / И. А. Пыталев, Д. В. Доможиров, Е. В. Борисенко, Ю. К. Ильтинин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 2. – С. 145-156.

99. Падуков, В.А. Влияние параметров подпорной стенки на дробящее и сейсмическое действие взрыва скважинных зарядов / В.А. Падуков, И.П. Маляров, А.В. Минченков // Взрывное дело: сборник. Выпуск № 89/46. – М., Недра, 1986. – С. 145–150.

100. Падуков, В.А. Исследование процессов разрушения горных пород при ударе и взрыве на основе системного анализа: дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Падуков. – Л., 1971. – 341 с. (Ленинградский горный институт).

101. Падуков, В.А. Механика разрушения горных пород при взрыве / В.А. Падуков, И.П. Маляров. – Иркутск: ИГУ, 1985. – 128 с.

102. Пат. 101056 Российская Федерация, МПК E02F 3/40. Рабочий орган одноковшового экскаватора / Ляшенко Ю.М., Ревякина Е.А., Ляшенко А.Ю.; № 2010128718/03; заявл. 09.07.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1

103. Пат. 144647 Российская Федерация, МПК 6 E02 F3/40. Ковшовый рабочий орган / Ю. М. Ляшенко [и др.]; № 2014108406/03; заявл. 04.03.2014; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.

104. Пат. 2656286 Российская Федерация, МПК E02F 3/28. Ковш экскаватора сферический / Бурый Г.Г.; заявитель и патентообладатель Бурый Г.Г., заявл. 30.12.2016; опубл. 04.06.2018, Бюл. № 16. 3 с.

105. Патент на изобретение US 3447978 от 03.06.1996.

106. Пергамент, В.Х. Прогноз скоростей сейсмических колебаний при взрывах / В.Х. Пергамент, С.В. Медведев, В.Ф. Богацкий // Сейсмотехника. – 1975. – № 151. – С. 3–22.

107. Перечень взрывчатых материалов, оборудования приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации / утвержден Приказом Ростехнадзора от 15.09.2011, № 537.

108. Повышение производительности одноковшового гидравлического экскаватора за счет ковша новой конструкции / Бурый Г.Г., Потеряев И.К., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф. // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2019. – Вып. 9. – С. 12-19.

109. Повышение качества дробления и оптимизации параметров буровзрывных работ при применении эмульсионных ВВ и высокоуступной технологии добычи на рудных месторождениях / Д.В. Доможиров, И.А. Пыталев, И.И. Носов, В.И. Носов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S36. – С. 35–42.

110. Повышение конкурентноспособности и безопасности ведения взрывных работ при применении эмульсионных ВВ на базе мобильных технологических комплексов / Д.В. Доможиров, Д.Б. Симаков, И.И. Носов, В.И. Носов, С.А. Голяк // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S36. – С. 35–42.

111. Повышение эффективности функционирования карьерных автосамосвалов на основе обоснования их рациональной скорости с помощью имитационного моделирования / П.Н. Махараткин, Э.К. Абдулаев, Г.Ю. Вишняков, Е.Ю. Ботян, А.Е. Пушкарев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-2. – С. 237–250. DOI:10.25018/0236_1493_2022_62_0_237.

112. Подэрни, Р.Ю. Механическое оборудование карьеров : учебник для вузов / Р.Ю. Подэрни. – 5-е изд., перераб. и доп. – М., 2003. – 606 с.

113. Подэрни, Р.Ю. Экономико-вероятностная модель оценки стоимости эксплуатации, технического обслуживания и оптимального срока службы карьерного гидравлического экскаватора (КГЭ) / Р.Ю. Подэрни, П. Булес // Горная промышленность. – 2015. – № 6 (124). – С. 52–54.

114. Проектирование карьеров: учебник для вузов / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко. – 3-е изд., перераб. – М.: Издательство Академии горных наук, 2009. – 694 с

115. Производительность выемочно-погрузочного оборудования / И.В. Зырянов, Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин, Н.В. Мартынов, Р.С. Ганиев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 8. – С. 11–20.

116. Пронин, В.В. Обоснование параметров технологии буровзрывной подготовки пород к выемке экскаваторами с повышенной емкостью ковша на разрезах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Пронин. – Владикавказ, 2022. – 23 с.

117. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи полезных ископаемых / В.И. Ческидов [и др.]. – Новосибирск: СО-РАН, 2010. – 254 с.

118. Репин, Н.Я. Временная методика расчета параметров взрывной отбойки пород на угольных разрезах / Н.Я. Репин. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1976. – 48 с.

119. Репин, Н.Я. Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов / Н.Я. Репин. – М.: Недра, 1978. – 256 с.

120. Репин, Н.Я. Процессы открытых горных работ. Ч. 1. Подготовка горных пород к выемке / Н.Я. Репин. – М.: Горная книга, 2009. – 190 с.

121. Репин, Н.Я. Технологические свойства пород угольных разрезов: учеб. пособие / Н.Я. Репин, А.В. Бирюков, А.С. Ташкинов. – Кемерово: КузПИ, 1975. – 147 с.

122. Ржевская, С.В. Исследование разрыхляемости скальных и полускальных пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Ржевская. – М.: МГИ, 1979. – 17 с.

123. Ржевский, В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Недра, 1984.

124. Рождественский, В.Н. Прогнозирование качества дробления трещиноватых горных массивов при многорядном взрывании зарядов / В.Н.

Рождественский // Технология и безопасность взрывных работ: сб. трудов. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – С. 38–43.

125. Рубцов, В.К. Исследование дробимости горных пород взрывами на карьерах: дис. ... д-ра техн. наук / В.К. Рубцов; МГИ. – М., 1971. – 412 с.

126. Садовский, М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва / М.А. Садовский. – М.: Наука, 1999. – 335 с.

127. Саменов Г.К. Обоснование границ рационального использования экскаваторно-автомобильных комплексов различной мощности в глубоких карьерах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Саменов Галымжан Кайыржанович. – Алматы, 2010. – 24 с.

128. Сеинов, Н.П. Ведение взрывных работ на угольных разрезах / Н.П. Сеинов, И.Ф. Жариков. – М., 1984. – 28 с.

129. Сеинов, Н.П. Исследование эффективности действия взрыва при многоточечном инициировании удлиненных зарядов / Н.П. Сеинов, Л.Н. Марченко, И.Ф. Жариков // Взрывное дело: сборник. – М.: Недра, 1972.

130. Симаков, Д.Б. Влияние удельных затрат энергии процесса подготовки горных пород к выемке и блочности на степень взрывного дробления / Д.Б. Симаков // Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения: материалы международной научно-технической конференции, г. Учалы, 2005. – Магнитогорск, 2006. – С. 226–229.

131. Соснин, В.А. Исследование детонационных процессов эмульсионных взрывчатых веществ / В.А. Соснин, Е.В. Колганов // Взрывное дело. – 2004. – № 94/5. – С. 181–195.

132. Совершенствование взрывной подготовки выемочного блока трещиноватых скальных пород к экскавации / В. П. Сафронов, В. И. Сарычев, Ю. В. Зайцев, В. В. Сафронов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1-1. – С. 371-381.

133. Стенин, Д.В. Обоснование влияния ресурса несущих систем и степени загрузки на производительность карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Стенин; Кузбасский государственный технический университет. – Кемерово, 2008. – 124 с.

134. Substantiation of Choice of Method of Manufacturing and Delivery of Emulsion Explosives in Modern Conditions of Functioning of Mining Enterprises / D. V. Domozhurov, I. A. Pytalev, I. I. Nosov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Russky Island, 04–06 марта 2019 года. Vol. 272, 2. – Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 022178. – DOI 10.1088/1755-1315/272/2/022178. – EDN SDYZMO.

135. Суханов, А.Ф. Разрушение горных пород / А.Ф. Суханов, Б.Н. Кутузов. – М.: Недра, 1967

136. Сысоев, А.А. Инженерно-экономические расчеты для открытых горных работ: учеб. пособие / А.А. Сысоев; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 175 с.

137. Сытенков, В.Н. Сопоставительный выбор экскаваторов типа механическая лопата с канатным и гидравлическим перемещением рабочего органа / В.Н. Сытенков // Рациональное освоение недр. – 2013. – №5. – С. 56–62. <http://gornoe-delo.ru/jgd/2014/1/>

138. Сытенков, В.Н. Энергопотребление технологических процессов как критерий выбора наилучших доступных технологий в системе «карьер - ОФ» / В.Н. Сытенков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 315-327.

139. Тангаев, И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых / И.А. Тангаев. – М.: Недра, 1986. – 231 с.

140. Ташкинов, А.С. Проектирование взрывных работ на угольных разрезах: учеб. пособие / А.С. Ташкинов, В.И. Кузнецов; КузГТУ. – Кемерово, 1995. – 86 с.

141. Ташкинов, А.С. Сравнительная оценка производительности и карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород / Ташкинов А.С., Сысоев А.А., Ташкинов И.А. // Вестник Кузбасс. гос. техн. ун-та. – 2009. – №4. – С. 17–20.

142. Ташкинов, А.С. Экспериментально-теоретические основы управления качеством взрывной подготовки пород при открытой

угледобыче: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.С. Ташкинов. – Кемерово, 1991. – 38 с.

143. Технический регламент Таможенного Союза 028/2012. О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе / Принят Советом Евразийской Экономической Комиссии 20.07.2012. – М.: ЕЭК, 2012. – 23 с.

144. Технология крупномасштабной взрывной отбойки на удароопасных рудных месторождениях Сибири / С.Д. Викторов, А.А. Еременко, В.М. Закалинский, И.В. Машуков. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.

145. Томаков, П.И. Интенсификация использования оборудования на карьерах // П.И. Томаков. – М.: Недра, 1980. – 219 с.

146. Томаков, П.И. Интенсификация использования мощных карьерных экскаваторов при погрузке горной массы / П.И. Томаков, А.П. Терещенко // Уголь. – 1970. – № 11. – С. 63–64.

147. Томаков, П.И. Технология, механизация и организация открытых горных работ: учебник для вузов / П.И. Томаков, И.К. Наумов. – 3-е изд., перераб. – М.: Издательство МГИ, 1992. – 464 с.

148. Трубецкой, К.Н. О новом направлении в развитии буровзрывного комплекса на открытых горных работах / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, В.М. Закалинский // Перспективы освоения недр – комплексное решение актуальных проблем. Научн. чтения им. акад. Н.В. Мельникова: сб. трудов. – М.: Изд. ИПКОН РАН, 2002. – С. 84–91.

149. ТУ 7276-010-774801-2012. Вещества взрывчатые промышленные. «Истрит». Технические условия.

150. ТУ 7276-001-37945333-2014. Вещества взрывчатые промышленные. «НПГМ». Технические условия.

151. ТУ 7276-001-23308410-2002. Вещества взрывчатые промышленные. «Фортис». Технические условия.

152. ТУ 7276-019-05608605-2005. Вещества взрывчатые промышленные. «Сибирит-1000 и 1200». Технические условия.

153. Угольников, В.К. Обоснование рациональных параметров сетки скважинных зарядов на карьерах по критерию максимального КПД

взрывного дробления: дис. ... канд. техн. наук / В.К. Угольников. – Магнитогорск, 1989. – 170 с.

154. Угольников, В.К. Обоснование рационального удельного расхода для применяемого типа ВВ / В.К. Угольников, П.С. Симонов, Н.В. Угольников // Освоение запасов мощных рудных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2000. – С. 130-134.

155. Угольников, В.К. Определение энергоемкости разрушения горных пород при шарошечном бурении / В.К. Угольников, Д.Б. Симаков, Н.В. Угольников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №10. – С. 78–81.

156. Угольников, В.К. Оптимизация энергопотребления технологических процессов открытых горных работ / В.К. Угольников, Д.Б. Симаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №12. – С. 65–68.

157. Управление качеством минерального сырья путем обоснования технологии и параметров подготовки к выемке пород природных массивов при открытой геотехнологии / И. А. Пыталев, Д. В. Доможиров, Д. Б. Симаков, Е. В. Борисенко // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 472-484.

158. Федоров, А.В. Обоснование технологии и комплексов оборудования для модернизируемых мощных буроугольных разрезов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Федоров Андрей Витальевич. - Иркутск, 2013. - 24 с.

159. Федотенко, В.С. Обоснование параметров и разработка технологии эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими вскрышными уступами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.С. Федотенко. – М.: ИПКОН, 2018. – 34 с.

160. Fomin, S.I. Determining height of benches in open mining of steeply-dipping deposits with consideration of ore losses and dilution / Fomin S.I., Rodionovhkov S.K., Rodionov A.O. // International Journal of Civil Engineering

and Technology. 2019, vol. 10, no. 3, pp. 225–233.
DOI:10.34218/IJARET.10.3.2019.023.

161. Фурман, А.С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.С. Фурман. – Кемерово, 2018. – 19 с.

162. Хазанович, Г.Ш. Методика эксперимента в исследованиях процессов погрузки и транспортировки кусковых пород: учеб.-метод. пособие / Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, Е.В. Никитин. – Новочеркасск, 2003. – 150 с.

163. Ханукаев, А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А.Н. Ханукаев. – М.: Недра, 1974. – 223 с.

164. Хаспеков, П.Р. Повышение эффективности выемочно-погрузочных работ с использованием карьерных гидравлических экскаваторов нового поколения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.Р. Хаспеков. – М.: МГГУ, 2000. – 17с.

165. Characterization of commercial, composite explosives / Finger M., Helm F., Lee E. and others. // Proc. XIth Symp. (Int.) on detonation, USA, 1976. P. 1–11.

166. Хорошавин, С.А. Повышение эффективности карьерных одноковшовых экскаваторов за счет совершенствования рабочего оборудования: дис. ... канд. техн. наук / С.А. Хорошавин; ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет». – Екатеринбург, 2015. – 123 с.

167. Чирков, В.Н. Кинематика рабочего оборудования мощных карьерных гидравлических экскаваторов / В.Н. Чирков // Добыча угля открытым способом: науч.-техн. реф. сб. / ЦНИЭИуголь. – Москва, 1983. – № 4. – С. 20–22.

168. Шадрин, А.И. Оценка живучести элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов в условиях холодного климата / А.И. Шадрин, В.А. Храмовских // Горные машины и автоматика. –2003. – №10 – С. 34-38.

169. Шеменев, В.Г. Методика экспериментального определения основных характеристик взрывчатых веществ / В.Г. Шеменев, В.А. Сеницын, П.В. Меньшиков // Горный журнал Казахстана. – 2014. – № 2. – С. 44–46.

170. Шеметов, П.А. Опыт эксплуатации канатных и гидравлических экскаваторов в условиях карьера Мурунтау / П.А. Шеметов, С.К. Рубцов // Горная промышленность. – 2005. – №5. URL: <http://www.miningmedia.ru/ru/article/karertekh/1227-opyt-ekspluatatsii-kanatnykh->

171. Штейнцайг, В.М. Методика определения параметров и показателей эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов / В.М. Штейнцайг. – М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1980. – 43 с.

172. Щербич, С.В. Пути оптимизации параметров БВР при отработке камер Малевского рудника методом скважинных зарядов на основе учета свойств горного массива / С.В. Щербич, В.А. Артемов // Взрывное дело: сборник. Выпуск №99/56. – М., 2008. – С. 110–118.

173. Экскаваторные работы / А.И. Астахов, А.П. Дегярев и др. – М.: Госстройиздат, 1962. – 364 с.

174. Энергетика процессов, систем открытых горных работ и рудоподготовки / И.А. Тангаев, И.П. Маляров, В.К. Угольников, А.Л. Каширин. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 66 с.

175. Эффективное развитие угледобывающего производственного объединения: практика и методы: монография / А.Б. Килин, В.А. Азев, А.С. Костарев, И.А. Баев, Н.В. Галкина; под ред. В.Б. Артемьева. – М.: Горная книга, 2019. – 280 с. ISBN 978-5-98672-488-1.

176. Юматов, Б.П. Зависимость производительности экскаваторов и локомотивосоставов от выхода крупнокусковых фракций / Б.П. Юматов, М. И. Ройзман // Горный журнал. – 1966. – № 5. – С. 24–28.

177. Яковлев, В.Л. Внутрипроизводственное планирование в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия / В.Л. Яковлев, В.А. Азев, А.М. Макаров. – Челябинск: АБРИС, 2019. – 164 с.

Приложение А

КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ
Бачатский
угольный разрез

Акционерное общество
«Угольная компания «Кузбассразрезуголь»
филиал «Бачатский угольный разрез»

Комсомольская ул., здание 19А, офис 205, пгт. Бачатский, Беловский городской округ,
Кемеровская область — Кузбасс, 652642

тел. (38452) 7-04-20 | e-mail office@bach.kru.ru

ОКПО 14789675 | ОГРН 1034205040935 | ИНН/КПП 4205049090/420202004

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора-
технический директор
АО «УК» «Кузбассразрезуголь»
филиал «Бачатский угольный разрез»
Чеваля К.В.
« 2024 г.
М.П.



АКТ

внедрения материалов диссертации Борисенко Евгения Владимировича
«Обоснование параметров буровзрывной подготовки вскрышных пород при внедрении нового
технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса» в филиале АО «УК
Кузбассразрезуголь «Бачатский угольный разрез»

1. Наименование системы

Методика обоснования эффективности процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке при применения мобильных технологических комплексов изготовления эмульсионных взрывчатых веществ в условиях переходе к новому технологическому укладу на мощных угольных разрезах Кузбасса

2. Новизна технологического решения

Разработана методика обоснования эффективности процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке при применения мобильных технологических комплексов изготовления эмульсионных взрывчатых веществ в условиях переходе к новому технологическому укладу на мощных угольных разрезах Кузбасса с использованием «метода эталонного сравнения». В методике обоснованы основные критерии оценки эффективности процесса буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке при применения мобильных технологических комплексов изготовления эмульсионных взрывчатых веществ и проекта аутсорсинга, которыми являются: качество подготовки, безопасность и экологичность, производительность предприятия, затраты и планирование. Обоснованные критерии оцениваются методами экспертных оценок.

Предложена матрица сравнительной эффективности собственного подразделения (применения мобильного технологического комплекса) и аутсорсера.

Успешная реализация предложенной методики и внедрение проекта по созданию мобильного технологического комплекса на разрезе Бачатского угольного месторождения позволило снизить себестоимость буровзрывных работ на 9,23 %.

3. Место внедрения

Бачатское месторождение угля филиал АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез»

4. Время работы после внедрения

Начало сравнительной оценки работы мобильного технологического комплекса изготовления эмульсионных взрывчатых веществ – май 2023 года.

Окончание сравнительной оценки работ мобильного технологического комплекса изготовления эмульсионных взрывчатых веществ – «31» декабря 2023г.

5. Экономическая эффективность

Суммарный экономический эффект от реализации проекта по созданию мобильного технологического комплекса на Бачатском угольном разрезе в период с мая 2023 по «31» декабря 2023 составил 15,12 млн. руб.

Приложение Б

КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ
Кедровский
угольный разрез

Акционерное общество
«Угольная компания «Кузбассразрезуголь»
филиал «Кедровский угольный разрез»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора-
технический директор
АО «УК» «Кузбассразрезуголь»
филиала «Кедровский угольный разрез»

Давыльченко Д.В.

«22» _____ 2024 г.

АКТ

внедрения материалов диссертации Борисенко Евгения Владимировича
«Обоснование параметров буровзрывной подготовки вскрышных пород при внедрении
нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса» в филиале АО
«УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез»

1. Наименование системы

Технология буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке высокими
уступами при применении подпорной стенки из неубранной взорванной горной
массы

2. Новизна технологического решения

Разработана технология буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке
высокими уступами при применении подпорной стенки из неубранной взорванной горной
массы, обеспечивающая согласование спектра взрывного импульса при меньших
значениях линии сопротивления по подошве (ЛСПП), что позволяет улучшить качество
дробления горной массы и снизить сейсмоакустический эффект по сравнению с
взрыванием на подобранный уступ.

Предложена технология буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке,
учитывающая акустическую жесткость взрывааемых пород и результаты районирования
вскрышных пород по степени трещиноватости. Обоснованы параметры взрывной
технологии с учетом перераспределения энергии взрыва между энергией взрывного
дробления и энергией упругих колебаний массива: ширина подпорной стенки и
геометрические параметры буровзрывных работ (ЛСПП и сетка скважин).

Установлено, что для условий АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский
угольный разрез» коэффициент снижения сейсмозффекта составил $K_{сейсмВ} = 0,14 - 0,86$,
что позволяет уменьшить сейсмическое воздействие взрыва в 5-7 раз, снизить безопасные
расстояния и увеличить допустимую сейсдобезопасную массу одновременно взрывааемого
заряда ВВ.

Внедрение технических и технологических решений в условиях Кедровского
угольного разреза, предусматривающих районирование карьерного поля по степени
трещиноватости и акустической жесткости, применение подпорной стенки шириной 12 м

и обоснованных оптимальных ЛСПИ и сетки скважин, позволило получить минимальные значения скорости смещения грунта и оптимальный средний размер куска. Достигнуто повышение производительности выемочного оборудования большой единичной мощности с емкостью ковша 33 м³.

3. Место внедрения

Кедровское месторождение угля филиал АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез»

4. Время работы после внедрения

Начало внедрения технологии буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке высокими уступами при применении подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы – январь 2023 года.

Окончание работ по использованию технологии буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке высокими уступами при применении подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы – «31» декабря 2023 г.

5. Экономическая эффективность

Суммарный экономический эффект от применения технологии подготовки в период с января 2023 по «31» декабря 2023 составил 251 млн. руб.

Приложение В



Общество с ограниченной ответственностью
«Кузбассразрезголь-Взрывпром»

Пионерский бульвар, 4а, Кемерово, Россия, 650054

Тел. (3842) 44-00-17 | E-mail office@krup.kru.ru

ОКПО 10886720 | ОГРН 1024202050795 | ИНН/КПП 4234009327/420501001

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер

ООО «КРУ-Взрывпром»

Козыревцев А.В.

2024 г.

М.П.



АКТ

внедрения материалов диссертации Борисенко Евгения Владимировича
«Обоснование параметров буровзрывной подготовки вскрышных пород при внедрении нового технологического уклада на мощных угольных разрезах Кузбасса» на ООО «КРУ-Взрывпром»

1. Наименование системы

Методика обоснования технологии и расчета энергетических, конструктивных и геометрических параметров скважинных зарядов при подготовке вскрышных пород к выемке на мощных угольных разрезах Кузбасса при внедрении нового технологического уклада, с учетом разработанных сетчатых номограмм

2. Новизна технологического решения

Разработана методика обоснования технологии и параметров буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке высокими уступами на мощных угольных разрезах Кузбасса, базирующаяся на критерии оптимальной интегральной энергоёмкости и обеспечивающая управление качеством горной массы с учетом технологических требований и соблюдения условий безопасности. Обоснованы оптимальные параметры буровзрывной подготовки вскрышных пород к выемке высокими уступами при применении подпорной стенки из неубранной взорванной горной массы.

Предложена номограмма оперативного определения оптимальных параметров буровзрывных работ для высокоуступной геотехнологии при управлении качеством взорванной горной массы на мощных угольных разрезах Кузбасса. Номограмма позволяет определять массу одновременно взрываемого заряда, ширину подпорной стенки, ЛСПП и параметры сетки скважин для обеспечения заданного качества дробления и сейсмоакустической безопасности при взрывах скважинных зарядов.

Успешная реализация предложенной методики и разработанной номограммы при составлении проектной документации на производство массовых взрывов позволила получить требуемую степень дробления и средний размер куска с заданным гранулометрическим составом горной массы при минимальном сейсмоакустическом эффекте, а так же повысить производительность выемочного оборудования большой единичной мощности с емкостью ковпа 33-36,5 м³ для условий угольных месторождений «Калтанское», «Кедровское», «Краснобродское» и «Талдинское».

3. Место внедрения

Угольные месторождения АО «Кузбассразрезуголь»: «Калтанское», «Кедровское», «Краснобродское» и «Талдинское».

4. Время работы после внедрения

Начало внедрения работ по использованию методики расчета параметров буровзрывной подготовки – январь 2023 года.

Окончание работ – декабрь 2023 года.