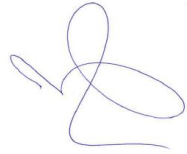


На правах рукописи



БОРИСЕНКО ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

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

2.8.8. Геотехнология, горные машины

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент,
Зубков Антон Анатольевич

Официальные оппоненты: Сафронов Виктор Петрович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики материалов и геотехнологий ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула

Жариков Сергей Николаевич
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией разрушение горных пород института горного дела УрО РАН,
г. Екатеринбург

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» (ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»), г. Владикавказ

Защита диссертации состоится 26 сентября 2024 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.2.324.06 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, малый актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»: <http://www.magtu.ru>.

Автореферат разослан «24» июля 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук


С.Н. Корнилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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. Запасы угля Кузбасского бассейна благоприятны для открытой добычи характеризуются изменяющейся мощностью угольных пластов, 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 выемочного оборудования с емкостью ковша большой единичной мощностью 30 м³ и более, что предъявляет особые требования к состоянию взорванной горной массы. 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 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 находятся в состоянии технического перевооружения на основе обновления парка горнотранспортного оборудования высокопроизводительной техникой.

Поэтому при внедрении нового горного оборудования 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 энергоем-

костью 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 м³ 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 заполнения 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 сейсмoeffекта в 5–7 раз ($K_{\text{сейсм}}^B = 0,14-0,86$).

Научная новизна:

1. Систематизация основных технологических, технических и организационных факторов повышения эффективности процесса подготовки вскрыши на 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 $5,3 \text{ МДж/м}^3$ 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 мин.

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 закономерностях изменения энергетических, конструктивных и геометрических параметров скважинных зарядов в зависимости от требований к качеству подготовки горной массы и условий сейсмической безопасности.

Достоверность результатов обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных; использованием современных программных комплексов; доверительной сходимостью результатов различных методов исследований; положительными результатами апробаций на действующих разрезах Кузбасса.

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 значимость заключается в разработке: методики определения оптимальных параметров буровзрывных работ на вскрышных участках 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 технологических решений 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 апробации 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ состояния практики и перспектив БВР при подготовке пород вскрыши к выемке на мощных разрезах Кузбасса при переходе на применение горнотранспортных комплексов нового поколения с учетом требований к их качеству, а также тенденций развития методик обоснования технологии и параметров процесса взрывной подготовки пород к выемке.

Развитие открытой геотехнологии добычи угля сопровождается ростом масштабов производства, увеличением глубины разрезов и коэффициентов вскрыши, уменьшением рабочей зоны, усложнением горно-геологических условий эксплуатации основного технологического оборудования: 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 переход на применение новых технологий. Для наиболее полного и экономичного использования горнотранспортных комплексов при разработке угольных месторождений требуется качественная взрывная подготовка горной массы, представленной углями и породами вскрыши.

Значительный вклад в исследование процессов взрывного разрушения внесли академики: С.А. Давыдов, Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, К.Н. Трубецкой, М.А. Садовский; профессора: В.В. Адушкин, Л.И. Барон, Ф.А. Баум, С.Д. Викторов, Г.П. Демидюк, В.А. Падуков, М.Ф. Друкованный, Б.Н. Кутузов, И.П. Маляров, Г.И. Покровский, В.П. Сафронов, Н.П. Сеинов, В.Н. Сытенков, И.А. Тангаев, В.С. Федотенко, Е.И. Шемякин, Л.И. Барон, Г.П. Парамонов, А.Б. Штейнберг А.Б. и многие другие ученые.

Выполненный анализ ранее проведенных научных исследований и практического опыта эксплуатации карьерных горнотранспортных комплексов позволили выделить научно-практические подходы к повышению его эффективности работы на вскрышных горизонтах мощных угольных разрезов.

Из 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 оборудо-

вания цикличного действия. Вопросы оптимизации параметров и показателей работы погрузочно-транспортного комплекса возникали постоянно по мере развития и совершенствования основных технологических процессов и техники с оценкой снижения экологической нагрузки на окружающую среду при реализации технологических рекомендаций.

Во второй главе изучены научные основы проектирования параметров БВР при подготовке вскрышных пород на разрезах Кузбасса с учетом оценки его энергоемкости в общем энергобалансе принятой высокоуступной геотехнологии и обоснования способов подготовки эмульсионных взрывчатых веществ.

Кузнецкий угольный бассейн является крупнейшей эксплуатируемой площадкой открытой геотехнологии, где горно-геологические и физико-механические условия вскрышных и вмещающих пород в районе залегания угольных пластов характеризуются очень широким спектром и диапазоном изменяющихся параметров: мощность - от 4,5 до 80 м, угол падения - от 0 до 90°, коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова - от 6 до 16. В работе на основе анализа параметров БВР при выполнении массовых взрывов на разрезах Кузбасса представлены аппроксимированные зависимости (рисунок 1).

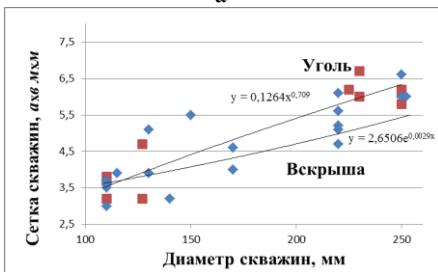
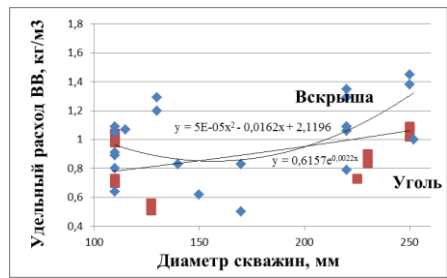
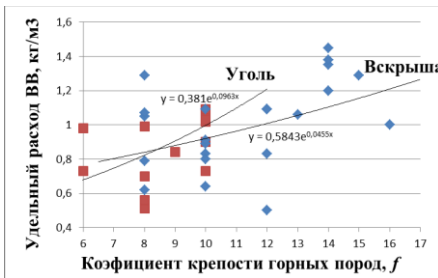


Рисунок 1 – Графики зависимостей: удельного расхода ВВ от крепости пород (а) и диаметра заряда (б); сетки скважин от диаметра заряда (в) во взрывааемых породах на угольных месторождениях Кузбасса

С целью повышения эффективности процесса подготовки высоких вскрышных уступов на разрезах Кузбасса, в работе систематизированы технологические, технические и организационные факторы, определяющие качество буровзрывных работ:

- переход на эмульсионные ВВ;
- переход на механизированный способ заряжания скважин;
- переход на не электрические системы инициирования и электронное взрывание;
- применение поскважинного и внутрискважинного замедления;
- обоснование 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.

Процесс подготовки вскрыши на месторождениях является энергозатратным, что связано с физическим разрушением горных пород. В работе выполнены исследования на Краснобродском и Кедровском угольных месторождениях и представлены аппроксимированные зависимости энергоёмкости: бурения, взрыва, экскавации и транспортирования вскрышных пород различной трещиноватости от среднего размера куска (рисунок 2).

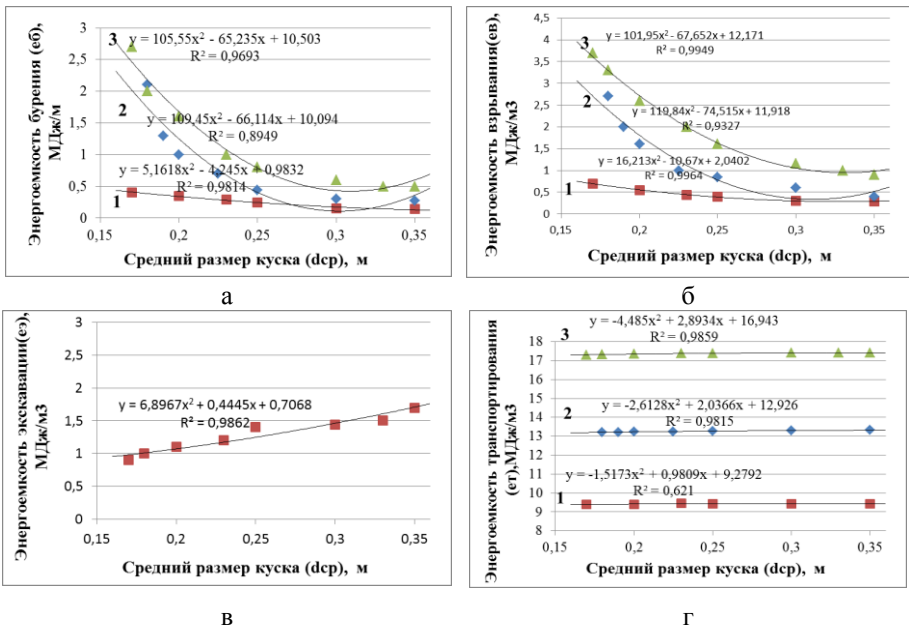


Рисунок 2 – Графики зависимостей энергоёмкости бурения (а), взрыва (б), экскавации ЭКГ-12,5 (в) и транспортирования (г) вскрышных пород от среднего размера куска: 1 – сильнотрещиноватые; 2 – среднетрещиноватые; 3 – малотрещиноватые

Исследования показали, что энергоёмкость процессов буровзрывной подготовки к выемке и экскавации является частью управляемых затрат и определяется грансоставом взорванной породы пропорциональными зависимостями и практически не влияет на энергоёмкость процесса транспортирования согласно аддитивной факторной модели. Энергоёмкость вскрышных работ имеет вид параболы (рисунок 3):

$$e_{\text{сумм}} = e_{\text{б}} + e_{\text{в}} + e_{\text{э}} + e_{\text{т}}, \quad (1)$$

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

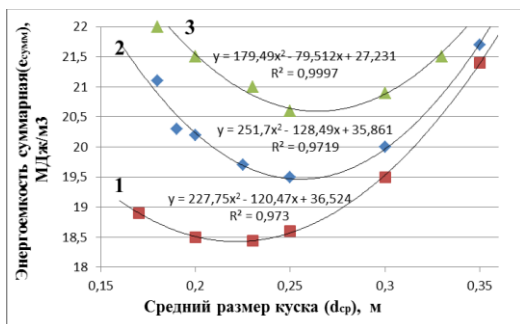


Рисунок 3 – Зависимость суммарной энергоёмкости от среднего размера куска:
1 – сильнотрещиноватые;
2 – среднетрещиноватые;
3 – малотрещиноватые

При этом оптимальная область находится в диапазоне, когда

$$e_{\text{сумм}} = \sum e_i \rightarrow (\min \pm \Delta) \cdot \quad (2)$$

Применение эмульсионных ВВ на разрезах Кузбасса подтвердило их преимущество по сравнению с простейшими или смесевыми ВВ. Это - варьирование диапазона качественных характеристик с учетом соотношения изменения физико-механических свойств пород. Так, на выбор состава ЭВВ оказывают существенное влияние применяемые способы изготовления, доставки ЭВВ к приготавливаемому блоку, а также схема зарядки скважин, поэтому в работе на основе анализа мирового и отечественного опыта изготовления эмульсионных составов предлагается их классифицировать на три класса в соответствии с энергетическими и технологическими характеристиками (таблица 1).

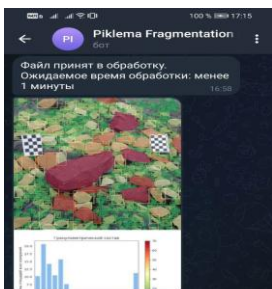
В работе предложена методика выполнения экспериментальных исследований (таблица 2), основанная на определении влияния грансостава взорванных пород вскрыши на показатели эффективности работы экскаваторов (рисунок 4) с обязательным проведением хронометражных наблюдений за временем цикла процесса экскавации в зависимости от величины средневзвешенного размера кусков $D_{\text{св}}$.

Таблица 1 - 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, орнотехническими 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

Таблица 2 - Методика проведения хронометражных исследований

Процесс	Грансостав вскрышных пород	Производительность выемочно-транспортного комплекса
Сбор данных	- средний размер куска (мм); - коэффициент однородности; - выход фракции более 1 м (%)	- время цикла экскавации (с); - количество ковшей в самосвал (шт); - масса породы в самосвале (т)
Анализ результатов	- фотофиксация забоя; - фотопланиметрический анализ изображений; - гистограммы распределения грансостава	- фотовидеофиксация забоя; - анализ фотовидеофиксации; - анализ системы диспетчеризации



а



б

Рисунок 4– Определение грансостава горной массы в развале вскрышных пород в забое с помощью:
а - программного обеспечения CVision.PitFace;
б - прибора PortaMetrics

В работе на основании данной методики проведена серия опытных экспериментов, предусматривающих следующие характерные погрузочно-доставочные комплексы угольных разрезов Кузбасса:

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

В третьей главе выполнены исследования влияния параметров БВР при подготовке высоких вскрышных уступов на показатели эффективности эксплуатации большегрузного выемочно-погрузочного комплекса.

В работе для обоснования параметров БВР при высокоуступной геотехнологии проведен сбор и анализ горнотехнических и горногеологических особенностей освоения месторождений угля по мере увеличения глубины разрезов. Для определения перспективного направления роста показателей эффективности процессов подготовки, экскавации и транспортирования вскрышных пород были проведены опытно-промышленные эксперименты изучения распределения грансостава взорванных пород с использованием методов лазерной granulometрии и хронометражных наблюдений.

Распознавание и статистическая обработка грансостава взорванных пород по фотоснимку осуществлялось с применением программных продуктов CVision.PitFace и PortaMetrics. На рисунке 5 приведены результаты замеров granulometрии одного из забоев Кедровского угольного разреза, а на рисунке 6 представлены кумулятивные кривые распределения кусков взорванной горной массы - результаты обработки данными программами с использованием фотопланиметрического метода расчета крупности кусков.



а

б

Рисунок 5– Снимки грансостава нижнего горизонта (экскаватор Р&Н – 2800 №152) Кедровского угольного разреза при использовании программного обеспечения: а - CVision.PitFace ; б – PortaMetrics

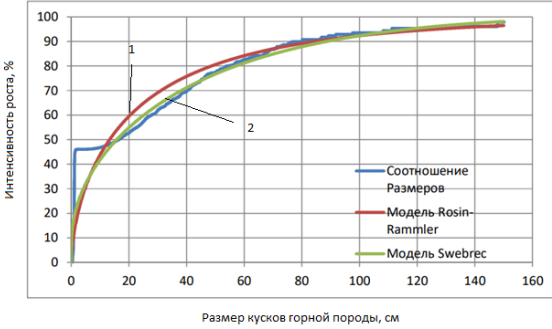


Рисунок 6 – Кумулятивные кривые распределения грансостава взорванной горной массы:
1 – интегральное;
2 – относительное

Исследования распределения грансостава показали, что расхождение в значениях полученных результатов по двух методикам не превысило 5%, что свидетельствует о достаточно хорошей сходимости результатов. В работе определено среднее распределение грансостава на Краснобродском угольном разрезе, где размер кусков от 0 до 500 мм составил 74,68%, а размер кусков от 500 до 850 мм составил 25,32%. Полученные результаты распределения фракционного состава в развале горной массы свидетельствует, что в большей степени объем пород, составляющий порядка 80%, представлен размером кусков средней фракции. Причем в случае, если наличие мелкой фракции является превалирующей, то такое распределение фракции не способствует повышению производительности экскаваторов. Это было доказано при проведении последующей фото - и видеофиксации рабочего процесса экскаваторов и оценки хронометражных наблюдений времени, затраченного на цикл операций экскавации при погрузке горной массы экскаваторами с емкостью ковша $E=33,6-35 \text{ м}^3$ в кузов автосамосвала грузоподъемностью 220 т и определены их эмпирические зависимости (рисунки 7 и 8).

Кедровского угольного разреза: а - внедрение и наполнение ковша экскаватора R&N2800 с электрическим приводом и объемом ковша 33 м^3 ; б - погрузка горной массы в автосамосвал Белаз-75302 грузоподъемностью 220 т

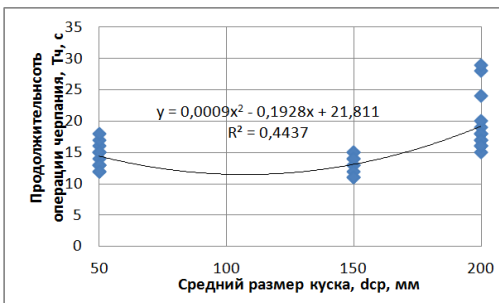


Рисунок 7 – График зависимости продолжительности операции черпания процесса экскавации с $E=33,6-35 \text{ м}^3$ от среднего размера куска

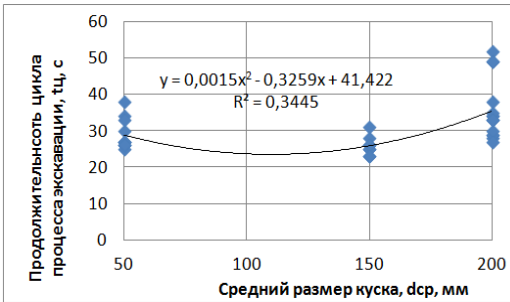


Рисунок 8 – График зависимости продолжительности цикла процесса экскавации от среднего размера куска для емкости ковша $E=33,6-35 \text{ м}^3$

Исследованиями установлено, что существует параболическая зависимость между гранулометрическим составом взорванной породы и продолжительностью заполнения кузова автосамосвала экскаватором (рисунок 9). Так, при среднем фракционном составе развала взорванной горной массы в большем его объеме составляет 100-200 мм, то время наполнения автосамосвала в среднем 2,5 минуты, тогда как при увеличении или 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.

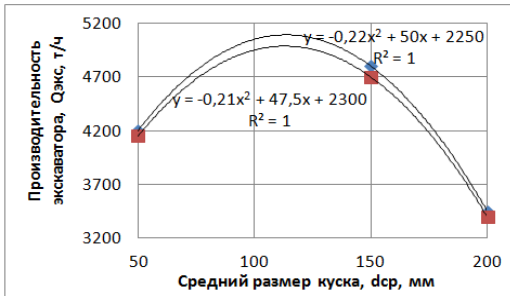


Рисунок 9 – График зависимости расчетной и фактической часовой производительности экскаваторов большой единичной мощности от среднего размера куска

Для интенсификации работ на разрезах Кузбасса применяется выемочно-транспортный комплекс оборудования большой мощности при высокоуступной буровзрывной технологии подготовки вскрышных пород. При этом действие взрыва в массиве пород рассматривается на основе положения системы ввода и вывода энергии, то есть как открытая колебательная система асимметричного распределения энергии взрывчатого вещества в колонке заряда в зависимости от оптимального соотношения ЛСПП и массы заряда. В работе, для дополнительной связи в открытой колебательной системе ввода и вывода энергии применяется подпорная стенка, что позволяет обеспечить согласование спектра взрывного импульса при меньших значениях ЛСПП.

Буровзрывная технология с применением подпорной стенки при подготовке высоких вскрышных уступов (рисунок 10) выполняется в трех фазах разрушения: 1 - ограничение перемещения; 2 - качественное дробление за

счет увеличения способности развития трещин в массиве путем дополнительного притока энергии в виде волн напряжений и 3 – минимальный развал взорванной горной массы.

С целью установления влияния ширины подпорной стенки при определении оптимальных параметров БВР на вскрышных уступах разрезов Кузбасса, с учетом перераспределения энергии взрывного дробления и энергии упругих колебаний массива, в работе были проведены исследования. На рисунке 11 представлена принципиальная схема расположения сейсмических датчиков относительно взрывного блока.

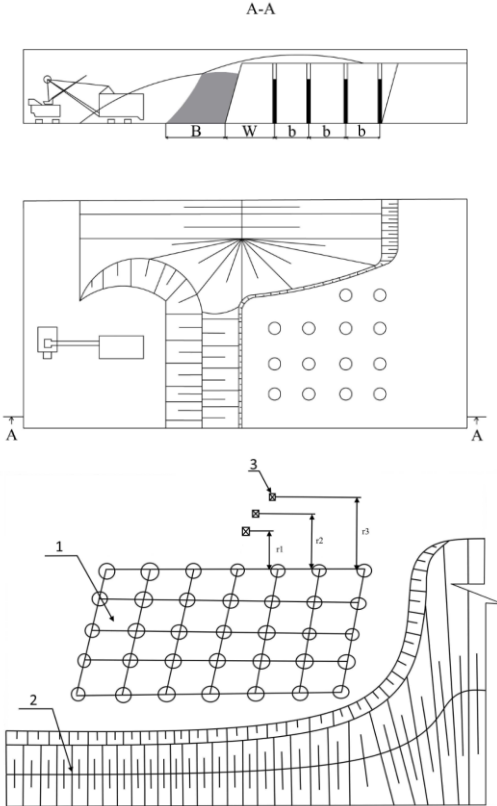


Рисунок 10 – Схема взрывания вскрышных уступов скважинными зарядами на подпорную стенку:

B – ширина подпорной стенки;

W – ЛСПП;

b – расстояние между рядами скважин

Рисунок 11 – Схема расположения сейсмических датчиков относительно взрываемого блока:

1 - взрываемый блок;

2 - подпорная стенка;

3 – сейсмотатчики

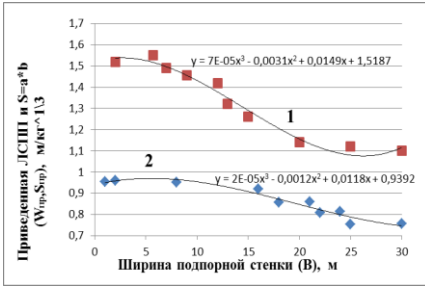
Расстояние от взрывного блока до сейсмотатчиков (r_1 , r_2 и r_n) изменялось в диапазоне 50 - 1000 м, масса заряда ВВ зарегистрированных взрывов от 20 до 200 т. Максимальная масса одновременно взрываемого заряда колебалась от 190 до 520 кг. Значение приведенных расстояний при записи сейсмических колебаний изменялось в пределах $R_{np} = 10-100 \text{ м/кг}^{1/3}$. В результате исследований были получены зависимости скорости смещения массива и

среднего размера куска от трещиноватости и приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин и ширины подпорной стенки (рисунки 12 и 13).

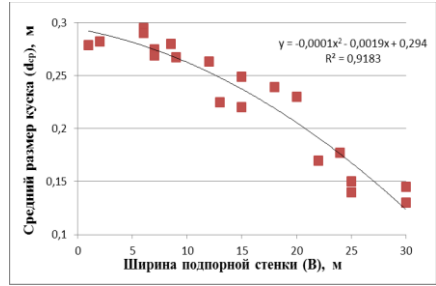
Для оценки сейсмического эффекта взрыва при применении подпорной стенки, в работе вводится коэффициент снижения сейсмoeffекта $k_{сейсм}^{нодн}$, равный отношению скоростей смещения, полученных путем экспериментальных исследований влияния подпорной стенки, к расчетным (прогнозным) для оптимальных параметров БВР без подпорной стенки, согласно принципу геометрического подобия и зависимости М.А. Садовского:

$$V_{нодн} = k_{сейсм}^{нодн} V = k_{сейсм}^{нодн} K_v / \sqrt{R_{np}^3}, \quad (3)$$

где V – максимальная расчетная (прогнозная) векторная скорость смещения частиц пород для оптимальных параметров БВР без подпорной стенки, м/с; K_v – коэффициент грунтовых условий; R_{np} – приведенное расстояние, м/кг^{1/3}.



а



б

Рисунок 12 – Зависимости оптимальных приведенных параметров ЛСПП, сетки скважин (а) и среднего размера куска (б) от ширины подпорной стенки: 1 – ЛСПП; 2 – сетка скважин

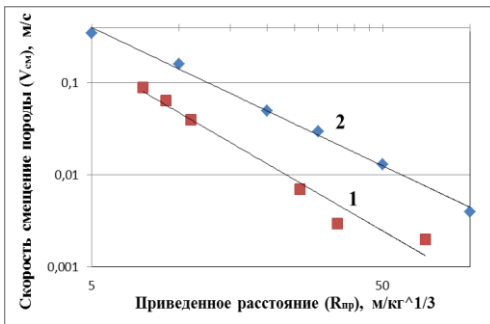
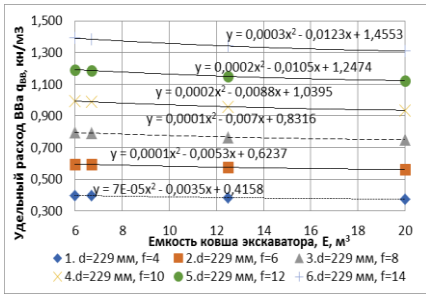


Рисунок 13 – Зависимости скоростей смещения пород от приведенного расстояния при применении подпорной стенки из неубранной горной массы ($B=12$ м): 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные прогнозные данные (методика М.А. Садовского)

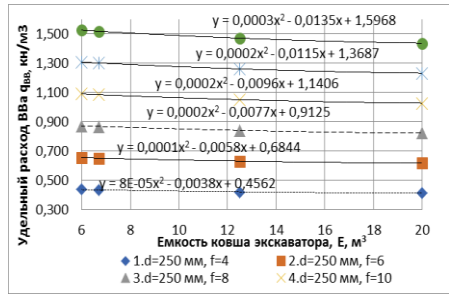
Согласно экспериментальным исследованиям, для условий АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» $k_{сейсм}^{нодн} = 0,14 - 0,86$.

Доказано, что применение технологии взрывания высоких вскрышных уступов на подпорную стенку позволяет снизить сейсмический эффект и, как следствие, увеличить допустимую сейсмобезопасную массу заряда ВВ. Также установлено, что для определенных приведенных параметров ЛСПП и сетки скважин существует оптимальная ширина подпорной стеки, где наблюдается максимальный положительный эффект взрыва, а именно минимальные значения скоростей смещения грунта и средний размер куска.

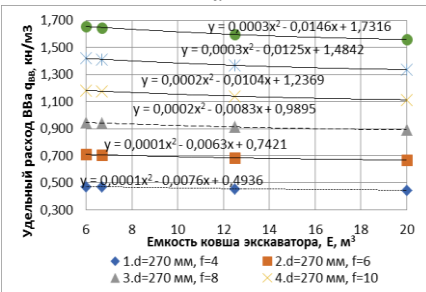
Основные параметры буровзрывных работ можно условно разделить на энергетические, конструкционные и геометрические, где основным энергетическим параметром является удельный расход ВВ. В работе выполнены исследования влияния параметров бурового оборудования (диаметр скважины $d_{СКВ}$, мм) и выемочного (емкость ковша экскаватора E , м³) на удельный расход ВВ (НПГМ и РПГМ) в зависимости от рациональной степени дробления горной массы (рисунок 14).



а



б



в

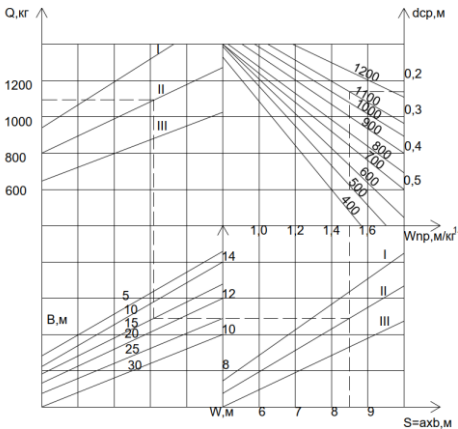
Рисунок 14 – Влияние на удельный расхода ВВ различного бурового и выемочного (обратная мехлопата) оборудования и крепости горных пород при:

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

В работе предложена методика обоснования параметров БВР (рисунок 15). С целью оперативного расчета параметров БВР при высокоуступной геотехнологии разработана номограмма, учитывающая трещиноватость, высоту уступа ($H_u \geq 15$ м), конструктивные, геометрические и энергетические параметры скважинного заряда с применением подпорной стенки для повышения качества дробления и снижения сейсмического эффекта (рисунок 16).

1. Горно-геологические условия; физико-механические свойства вскрышных пород	
2. Районирование по трещиноватости	Технологическая карта по буримости
	Технологическая карта по взрываемости
3. Геометрические условия с учетом интегральной энергоемкости	$d_{кв}, d_{ср}, V_n^+, \text{грансостав}$
4. Оптимальные параметры БВР	Конструктивные, геометрические и энергетические
• Конструктивные параметры БВР	$d_{скв}, L_{скв}, l_{здр}, l_{заб}, l_{нпр}, P$
• Геометрические параметры БВР	$W, a \times b$
• Энергетические параметры БВР	$q_{ВВ}, Q_{ВВ}^{скв}, Q_{ВВ}^{ср}, Q_{ВВ}^{бл}$
5. Ограничение факторов взрыва	$R_{сейсм}, R_{УВВ}, R_{разв}, R_{зат}$
6. Экономическая оценка новых технологических решений	Применение подпорной стенки
7. Определяются параметры (ширина) подпорной стенки	$d_{ср} = f(B); V_{сейсм} = f(B);$
8. Оптимальные параметры БВР с применением подпорной стенки	Конструктивные, геометрические и энергетические

Рисунок 15 – Методика обоснования параметров БВР

Рисунок 16 – Номограмма для
выбора параметров
БВР с применением подпор-
ной стенки для повышения
качества дробления и
снижения сейсмического
эффекта

В четвертой главе разработаны рекомендации по параметрам БВР с оценкой технико-экономической эффективности внедрения технологических решений на разрезах «Бачатский», «Кедровский» и «Краснобродский».

Для условий Бачатского угольного разреза выполнена оценка эффективности проектов собственного мобильного технологического комплекса и

проекта аутсорсинга. Сравнительный анализ представлен в виде матрицы (рисунок 17). Внедрение проекта по созданию мобильного технологического комплекса на разрезе Бачатского угольного месторождения позволило снизить себестоимость БВР на 9,23 % (таблица 3).

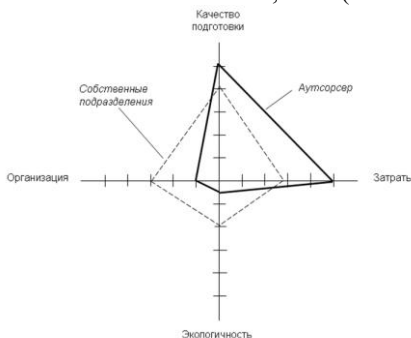


Рисунок 17 – Матрица сравнительной эффективности собственного подразделения (применения мобильного технологического комплекса) и проекта аутсорсинга на примере Бачатского угольного разреза

Таблица 3 - Экономическая эффективность проекта собственного мобильного технологического комплекса на Бачатском угольном разрезе

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

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 по-

род. 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 «Кузбассразрезголь». 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, ¼ 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 малотрещино-

ватых породах возможно при применении подпорной стенки из необработанной 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.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих работах:

Издания, рекомендуемые ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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. 59-68.

Прочие издания:

5. **Борисенко, Е.Б.** Основные тренды совершенствования технологических процессов и горнотранспортной техники при открытой разработке месторождений угля / Е.В. Борисенко, В.В. Пронин // Комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: сборник статей по результатам Международной конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. – С. 206-207.

6. Исследования и анализ показателей качества и параметров буровзрывных работ для эффективного функционирования мощных погрузочно-транспортных комплексов на крупных угольных разрезах Кузбасса / И. А. Пыталев, Д.В. Доможиров, **Е. В. Борисенко**, А.А. Сизиков, Ю. К. Ильтинин // Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-производственных семинаров по взрывным работам. – Екатеринбург: Типография «Печатное поле», 2024. – С. 153-163.

Подписано в печать 28.06.2024. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.
Усл. печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ 174.

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38