

*На правах рукописи*



**ДОМОЖИРОВ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ**

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ  
И ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОДГОТОВКИ К ВЫЕМКЕ  
ГОРНЫХ ПОРОД СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

2.8.8. Геотехнология, горные машины

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Магнитогорск – 2023

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

**Научный консультант** – доктор технических наук, профессор,  
**Пыталев Иван Алексеевич**

**Официальные оппоненты:** **Агафонов Валерий Владимирович**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры геотехнологий освоения недр  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС», г. Москва

**Качурин Николай Михайлович**  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой геотехнологий и строительства  
подземных сооружений ФГБОУ ВО «Тульский  
государственный университет», г. Тула

**Сытенков Виктор Николаевич**  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
отделом методических основ оценки проектной и  
технической документации на разработку  
месторождений твердых полезных ископаемых  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
институт минерального сырья  
им. Н.М. Федоровского», г. Москва

**Ведущая организация** – ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
(ФГАОУ ВО «СФУ»), г. Красноярск

Защита диссертации состоится 26 декабря 2023 г. в 12<sup>00</sup> 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 « »

2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук



С.Н. Корнилов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Современное состояние открытой геотехнологии характеризуется усложнением горно-геологических и горнотехнических условий, снижением качества полезного ископаемого, увеличением подготавливаемых к выемке объемов горной массы в силу возрастающей производственной мощности горных предприятий и, как следствие, ростом затрат на добычу и переработку минерального сырья.

Согласно прогнозу экспертов, расширение минерально-сырьевой базы России обеспечивается за счет вовлечения в отработку сложноструктурных месторождений полезных ископаемых, а также освоения запасов с низкими качественно-количественными характеристиками, применения новых технологических решений, обеспечивающих требуемое качество товарной продукции. К минеральному сырью предъявляются различные требования к качеству, что, в свою очередь, определяет выбор технологии их добычи и переработки.

Качество рудных полезных ископаемых оценивается средним содержанием полезного компонента, потерями и разубоживанием и минимальным количеством вредных примесей на выходе технологической цепочки процессов добычи. Нерудные полезные ископаемые характеризуются как природными показателями качества – декоративность, белизна, желтизна, зольность, так и технологическими – гранулометрический состав и сортность, потери и разубоживание. При этом качество горных работ – это один из показателей технического, технологического и организационного уровней горного производства, включающий специфические условия разработки месторождения, который оценивается потерями и разубоживанием, стабильностью качественных свойств минерального сырья, производительностью по полезному ископаемому и технико-экономическими показателями.

Современная тенденция развития открытой геотехнологии направлена на получение недропользователем широкого спектра видов и ассортимента сортов товарной продукции с целью получения максимальной прибыли от реализации готовой продукции с заданными потребительскими и технологическими свойствами. Это в первую очередь относится к сложноструктурным месторождениям, поскольку в отличие от месторождений с простым геологическим строением, где повышение эффективности достигается преимущественно увеличением производительности, селективная же добыча требует дополнительных затрат и усложнение технологии подготовки горных пород к выемке при неизбежном снижении производительности. Технологически обеспечить селективную подготовку пород к выемке является особо важным, поскольку это приводит к увеличению объемов низкосортного сырья, а в отдельных случаях к полной потере потребительских свойств высокоценных видов и сортов товарной продукции.

При этом сегодня оценка качества выполнения горных работ осуществляется отдельно по технологическим процессам и переделам, поэтому на этапе подготовки пород к выемке должны учитываться требования потребителей к минеральному сырью и конечной продукции, которыми являются не только обогатительные фабрики, но и участники рынка.

В настоящее время управление качеством минерального сырья на месторождениях с простым геологическим строением в основном осуществляется на этапе погрузки, транспортирования и складирования без учета этапа подготовки горных пород к выемке. В условиях сложноструктурных месторождений отсутствие методологии управления качеством минерального сырья на этапе подготовки горных пород к выемке приводит к повышенным потерям и разубоживанию, снижению эффективности обогатительного передела, а порой и к полной потере высокоценной продукции не только на этапе переработки, но и в недрах. Это обусловлено тем, что сегодня буровзрывная подготовка оценивается следующими основными критериями: минимальными энергетическими затратами, обеспечением требуемого грансостава и минимального размера куска с учетом применяемого горнотранспортного оборудования. При этом в условиях сложноструктурных месторождений управление качеством минерального сырья, имеющимися технологическими решениями приводит к снижению производительности карьера по полезному ископаемому и сортов товарной продукции и эффективности горнодобывающего предприятия и комплексности освоения запасов. Поэтому развитие методологии управления качеством минерального сырья путем обоснования технологии и параметров подготовки горных пород сложноструктурных месторождений является актуальной научно-практической задачей.

**Цель работы:** обоснование технологии и параметров подготовки к выемке пород сложноструктурных природных массивов для повышения качества минерального сырья при комплексном освоении месторождения с обеспечением эффективности функционирования горнопромышленного комплекса.

**Идея работы:** развитие методологии управления качеством минерального сырья с ростом эффективности производства достигается совершенствованием технологий подготовки к выемке горных пород сложноструктурных месторождений за счет районирования природных массивов по вещественному составу, свойствам и структурным особенностям и регулирования энергоемкости процессов взрывного разрушения и механического дробления в ходе добычи и переработки, что обеспечивает требования кондиций и гранулометрического состава.

**Задачи исследования:**

– анализ современного состояния открытой геотехнологии и перспектив развития процесса подготовки горных пород к выемке при разработке сложноструктурных природных массивов;

- обоснование качества взрывной подготовки сложноструктурных природных массивов с учетом критериев и показателей горно-перерабатывающего производства и требований потребителей готовой продукции;

- обоснование концепции управления качеством минерального сырья на этапе подготовки к выемке горных пород для повышения эффективности его добычи и переработки;

- разработка методики оценки потерь и разубоживания полезных ископаемых при подготовке к выемке горных пород месторождений со сложными горно-геологическими условиями в зоне контактов со сложноструктурными прослойками и тектоническими нарушениями;

- обоснование технологий и параметров подготовки горных пород к выемке для повышения качества, комплексности и эффективности освоения сложноструктурных месторождений;

- развитие методологии выбора технологии и обоснования параметров подготовки горных пород к выемке на сложноструктурных месторождениях для управления качеством минерального сырья;

- разработка практических рекомендаций по выбору технологии и параметров подготовки горных пород к выемке на сложноструктурных месторождениях руды, угля и нерудных строительных материалов;

- оценка технико-экономической эффективности разработанных технологических решений.

**Объект исследования:** технологический процесс подготовки к выемке пород природных массивов при открытой геотехнологии.

**Предмет исследования:** параметры технологического процесса подготовки пород к выемке, обеспечивающие качество минерального сырья и максимальную эффективность горно-перерабатывающего комплекса.

**Методы исследования.** Использован комплекс методов исследований, включающий: анализ литературных источников, патентов и обобщение опыта процесса подготовки пород к выемке открытой геотехнологией на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями; систематизацию результатов исследований в области управления качеством минерального сырья при подготовке на стадиях добычи и переработки; моделирование и проведение экспериментов в полупромышленных и промышленных условиях с использованием инструментальных замеров; обработку результатов экспериментов и промышленной апробации разработанных рекомендаций методами математической статистики; экономическую оценку технологических решений.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Управление качеством минерального сырья достигается районированием природных массивов сложноструктурного месторождения по текстурно-структурным особенностям с учетом оптимальной интегральной энергоемкости процессов подготовки и механического дробления минерального

сырья в ходе добычи и переработки для обеспечения заданного требования кондиций и гранулометрического состава.

2. Эффективность процесса управления качеством минерального сырья определяется оптимальной интегральной энергоемкостью дезинтеграции пород в ходе добычи и переработки полезного ископаемого, учитывающей удельную химическую энергию взрывной подготовки и удельную электрическую энергию процессов дробления на обогатительном переделе, что достигается оптимальной областью приведенной глубины заложения скважинного заряда в диапазоне  $0,9-1,1 \text{ м/кг}^{1/3}$ , зависящей от энергетических, конструктивных и геометрических параметров буровзрывных работ: массы и конструкции зарядов, сетки скважин и схемы их коммутации.

3. В условиях сложноструктурных месторождений обеспечение минимальных потерь и разубоживания полезных ископаемых в зонах контактов с прослоями вмещающих пород и тектоническими нарушениями достигается уменьшением выхода фракции 0-20 мм путем применения однорядного взрывания с параметрами сетки, равными 30-40 диаметров скважинного заряда, установленными на основании выявленной степенной зависимости расстояниями между скважинами в ряду от диаметра заряда и удельного расхода взрывчатого вещества. В процессе подготовки горных пород к выемке снижение переизмельчения и увеличение выхода негабарита приводит к повышению объема товарной продукции, снижению потерь и разубоживанию вредными включениями. В частности, для нерудных полезных ископаемых снижение переизмельчения на каждые 10% и увеличение выхода негабарита до 50% приводит к повышению выхода товарной продукции на 8-12%, снижению потерь более чем на 5% и разубоживания вредными включениями менее чем на 4%.

4. Повышение качества минерального сырья достигается снижением зоны нерегулируемого дробления горных пород за счет применения технологии подготовки к выемке пород с крепостью от 6 до 21 по шкале проф. М.М. Протодыконова с оптимальными параметрами БВР, учитывающей принцип автоматизации для расчета критических скоростей смещения, генерируемых взрывом, и характеристик проводящей среды в диапазоне 2-4 и 15-20 м/с при действии растягивающих и сжимающих напряжений соответственно, при этом учитываются структурные особенности природного массива, вещественный состав и качественные показатели товарной продукции.

5. Повышение комплексности освоения запасов и качества минерального сырья при подготовке природных массивов к выемке обеспечивается обоснованием оптимальных энергетических параметров буровзрывных работ с учетом скорости прохождения взрывной волны в проводящих средах посредством: усиления интерференционных эффектов сейсмических волн при короткозамедленном взрывании с интервалом замедления менее 20 мс - в массиве горных пород; одновременности наложения давлений на фронте

ударно-воздушных волновых возмущений в различных разноудаленных взрывных блоках и морфометрических характеристиках рельефа; пространственного расположения зарядов взрывчатых веществ, обеспечивающих увеличение акустической нагрузки до 2 раз и снижение избыточного давления до 40% в воздухе.

**Научная новизна:**

1. Развитие методологии управления качеством минерального сырья заключается в учете принципов разрушения природного массива путем формирования структурных элементов раскрытия и разделения по критерию оптимальной интегральной энергоемкости процесса подготовки на стадиях добычи и переработки; в обосновании технологии и параметров взрывной подготовки пород к выемке и механического дробления для снижения потерь и разубоживания в условиях безопасности ограничивающих факторов.

2. Методика районирования природных массивов сложноструктурного месторождения на участки по структурным характеристикам и вещественному составу, типу и сортам товарной продукции, учитывающая показатель качества пород RQD и трещиноватость на этапе определения технологических параметров процессов подготовки и механического дробления, что позволяет управлять комплексностью освоения балансовых запасов при повышении качества минерального сырья.

3. Модель и методика расчета параметров буровзрывной подготовки пород к выемке для повышения качества минерального сырья, увеличения спектра товарной продукции и полноты освоения запасов месторождения, отличающаяся учетом оптимальной области приведенной глубины заложения скважинного заряда ( $h_{\text{пр}} = 0,9-1,1 \text{ м/кг}^{1/3}$ ), технологических, качественных, ограничивающих факторов и масштабных поправок на сейсмоакустические условия безопасности для охраняемых объектов.

4. Классификация месторождений (участков) полезных ископаемых и видов добываемого сырья по сложности структурного строения, учитывающая показатели его изменчивости, физико-механические характеристики, позволяющая с учетом разработанных принципов управления качеством минерального сырья обосновывать методы управления качеством подготовки горных пород к выемке.

5. Методика обоснования технологии и параметров подготовки пород к выемке сложноструктурных месторождений, базирующаяся на установленных зависимостях конструктивных и геометрических параметров скважинных зарядов от требований кондиций, гранулометрического состава и безопасности, с использованием разработанных номограмм.

**Достоверность результатов** обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных; использованием современных программных средств; соответствием полученных научных результатов фундаментальным положениям теории взрывной подготовки, механического раз-

рушения и дезинтеграции природного массива; доверительной сходимостью результатов экспериментальных исследований с практическими данными производственной деятельности горно-перерабатывающих предприятий; положительными результатами апробаций на действующих карьерах Урала, разрабатывающих месторождения руд черных металлов, угля, декоративного камня и строительных материалов.

**Личный вклад автора** состоит в: постановке цели и задач исследования; проведении теоретического анализа современного состояния открытой геотехнологии и перспектив развития процесса подготовки горных пород к выемке при разработке сложноструктурных природных массивов, гипотез и механизмов разрушений горных пород; разработке концепции управления качеством минерального сырья на этапе подготовки к выемке горных пород с учетом требований кондиций; разработке методики оценки показателей потерь и разубоживания сложноструктурных месторождений (участков); постановке и проведении экспериментов; обработке экспериментальных данных и инструментальных замеров воздействия взрывных волн; анализе и обобщении полученных результатов; разработке алгоритма выбора технологии и параметров подготовки пород к выемке с учетом качества минерального сырья, спектра товарной продукции, технологических требований и условий безопасности; в разработке и технико-экономическом обосновании эффективности внедрения технологических рекомендаций.

**Теоретическая значимость** работы заключается в развитии методологии управления качеством минерального сырья и научном обосновании новых геотехнологических решений и рациональных параметров подготовки к выемке пород природных массивов для эффективного функционирования горнопромышленных предприятий.

**Практическая значимость** результатов исследования состоит в разработке рекомендаций по выбору и обоснованию параметров технологии подготовки к выемке минерального сырья при открытой разработке сложноструктурных месторождений. Рекомендации были реализованы при разработке месторождений строительных материалов (известняковые, доломитовые, мраморные и гранитные) и декоративного камня (мраморные и гранитные), угольных и рудных (железорудные).

**Реализация выводов и рекомендаций.** Результаты, научно-практические и технологические рекомендации диссертации приняты к использованию при обосновании проектных решений для взрывной и механической подготовки в период строительства и эксплуатации карьеров ПАО «ММК», АО «Талдинская горная компания», АО «Орское карьероуправление», АО «ЮГК», ООО «РИФ» и ООО «РИФ-Микромрамор» и др. Эффективность разработанных технологических решений и рациональных параметров подготовки пород к выемке подтверждена соответствующими актами внедрения с достигнутыми экономическими эффектами.

Также основные научные положения и практические решения диссертации использованы в научно-методическом обеспечении учебного процесса по дисциплинам: «Управление качеством рудопотока на открытых горных работах», «Планирование открытых горных работ», «Технология и безопасность взрывных работ», «Рациональное использование природных ресурсов», «Разработка рудных и угольных месторождений» специальности 21.05.04 – Горное дело, специализации «Открытые горные работы», при подготовке курса «Спецдисциплина» для аспирантов по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и межрегиональных конференциях и симпозиумах: «Неделя горняка» (Москва, 1999 г.); «Технология и безопасность взрывных работ» (Екатеринбург, 2017, 2021, 2023 гг.); «Комбинированная геотехнология» (Магнитогорск, 2019, 2021, 2023 гг.); «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2012, 2015, 2019-2023 гг.); «Добыча, обработка и применение природного камня» (Магнитогорск, 2008, 2015, 2016, 2018 гг.); на заседаниях технических советов ГОП Рудник ПАО «ММК», АО «Галдинская горная компания», АО «Орское карьероуправление», ООО «РИФ», ООО «РИФ-Микрорамор»; научно-технические семинары докторантов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (Магнитогорск, 2020-2023 гг.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 46 научных работах, из них: 16 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 4 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 16 – в прочих изданиях; 7 учебных пособий и 1 монография, а также зарегистрирована 1 программа для ЭВМ и получен 1 патент.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 352 страницах машинописного текста, содержит 85 таблиц, 145 рисунков, список использованной литературы из 292 наименований и 3 приложения.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

*В первой главе проведен анализ современного состояния открытой геотехнологии и перспектив развития процесса подготовки горных пород к выемке при разработке сложноструктурных природных массивов и тенденций развития научно-методических основ обоснования технологии и параметров процессов подготовки пород к выемке с учетом требований к качеству минерального сырья.*

В последнее десятилетие ежегодный прирост мирового объема добычи полезных ископаемых составляет 10% в год, т.е. около 500 млрд т, а ежегодный объем выемки вскрышных и вмещающих пород превышает 800 млрд т.

В связи с этим увеличились в среднем затраты на подготовку пород к выемке с 5–6 до 28–30% в общем объеме затрат на разработку месторождений открытым способом. На горнодобывающих предприятиях в настоящее время добыча полезных ископаемых ведется в сложных горно-геологических условиях и со сложными текстурно-структурными особенностями, вовлекаются в разработку разные сорта и компоненты руд. Показано, что современные методы управления качеством минерального сырья осуществляются на этапе погрузки, транспортирования и складирования без учета этапа подготовки к выемке, что в условиях сложноструктурных месторождений приводит к снижению эффективности функционирования предприятия.

Отсутствие концепции управления качеством минерального сырья и научно-методологической основы проектирования взрывной подготовки массивов сложноструктурных месторождений на практике приводит к значительным потерям и разубоживанию вплоть до потерь отдельных видов товарной продукции, а также повышению энергоемкости, исключая возможности повышения эффективности горнодобывающих предприятий. Что особую важность имеет на сложноструктурных месторождениях в силу текстурных и структурных особенностей и вещественного состава добываемого минерального сырья. При этом управление качеством минерального сырья на рудных месторождениях должно обеспечивать снижение потерь, а на месторождениях угля и строительных материалов – снижение и исключение разубоживания.

На месторождениях мрамора отсутствие подхода к управлению качеством при подготовке к выемке горных пород приводит к значительному сокращению ассортимента товарной продукции при снижении его качества и объема, вплоть до экономической нецелесообразности разработки месторождения.

В условиях сложноструктурных месторождений кровельных сланцев примешивание вредных кварцевых включений в объеме до 1% приводит к полной потере товарной продукции. Аналогичная ситуация на известняковых месторождениях, где товарная продукция представляется сортовым сырьем в зависимости от глинизации и включений оксида магния.

В угольной промышленности зольность определяет качество товарной продукции, объем и ее стоимость, которая в зависимости от сортности изменяется до 5 раз.

Подготовка пород к выемке на рудных сложноструктурных месторождениях без учета требований к качеству готовой продукции приводит к росту потерь до 7% на контактных локальных зонах при увеличении коэффициента сложности залежи на 20%.

Изучению вопроса обоснования параметров подготовки к выемке горных пород, энергоемкости процессов и управления качеством минерального сырья при разработке полезных ископаемых открытым способом посвящены

труды ведущих отечественных ученых: академиков: С.А. Давыдова, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.А. Садовского, К.Н. Трубецкого; чл.-корр. РАН: Д.Р. Каплунова, В.Л. Яковлева; профессоров: Ф.А. Авдеева, В.В. Агафонова, Ю.И. Анистратова, Л.И. Барона, П.П. Бастана, Ф.А. Баума, Б.П. Бельх, А.Ф. Беляева, Д.М. Бронникова, С.Д. Викторова, О.Е. Власова, С.Е. Гавришева, Г.П. Демидюка, М.Ф. Друкованного, Н.Н. Казакова, В.Н. Калмыкова, Н.М. Качурина, С.В. Корнилкова, Б.Н. Кутузова, Ю.И. Лель, Г.Г. Ломоносова, И.П. Малярова, С.В. Медведева, Э.О. Миндели, В.Н. Мосинца, Г.Я. Новика, М.Г. Новожилова, В.А. Олевского, В.К. Олейникова, В.А. Падукова, И.А. Пыталева, Г.И. Покровского, Н.Я. Репина, М.В. Рыльниковой, Н.И. Смолий, К.П. Станюковича, А.Ф. Суханова, В.Н. Сытенкова, И.А. Тангаева, П.И. Тарасова, В.Н. Тюпина, В.К. Угольникова, В.С. Федотенко, А.Н. Ханукаева, Э.А. Хопунова, Я.И. Цейтлина и других, внесших значительный вклад для горной науки и производства, в их работах предложены идеи, подходы и решения эффективной подготовки пород к выемке. Следует отметить, что научно-методическая база управления качеством минерального сырья на этапе подготовки пород к выемке не рассматривает особенности сложноструктурных месторождений с целью выхода максимального количества видов и объемов продукции высокоценных сортов при повышении эффективности функционирования горно-перерабатывающего предприятия.

В работе под сложноструктурными месторождениями понимаются месторождения с геологическим строением и структурными особенностями по показателю сложности залежи  $\lambda_{\text{сл.зал}}$  более 0,2 и частоте включений (пересечений)  $v_{\text{вкл}}$  менее 0,8, учитывающими площадь контактов, объем запасов, число пересечений включений пропластов и различных сортов полезного ископаемого (таблица 1).

Расчет показателей сложности залежи и частоты включений (пересечений) осуществляются по формулам:

$$\lambda_{\text{сл.зал}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{сopmi}}^{\text{конт}}}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{сopmi}}^{\text{ну}}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{сл.зал}}$  – показатель сложности залежи, 1/м;  $S_{\text{сopmi}}^{\text{конт}}$  – площадь контакта  $i$ -го сорта полезного ископаемого с вмещающими породами (включениями, другими сортами полезного ископаемого), м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{сopmi}}^{\text{ну}}$  – запасы (объем)  $i$ -го сорта полезного ископаемого месторождения (участка), м<sup>3</sup>;

$$v_{\text{вкл}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{\text{сopmi}}^{\text{ну}} N_{\text{сopmi}}^{\text{ну}}}{\sum_{i=1}^n m_{\text{сopmi}}^{\text{ну}} N_{\text{сopmi}}^{\text{ну}} + \sum_{j=1}^k m_{\text{вклj}} N_{\text{вклj}}}, \quad (2)$$

где  $v_{\text{вкл}}$  – частота включений (пересечений);  $N_{\text{сopmi}}^{\text{ну}}$  – число пересечения  $i$ -го сорта полезного ископаемого по месторождению (участку);  $m_{\text{сopmi}}^{\text{ну}}$  – мощность пересечения  $i$ -го сорта полезного ископаемого по месторождению (участку);  $n$  – количество сортов полезного ископаемого месторождения

(участка);  $N_{вклj}$  – число пересечения  $j$ -го пропласта вмещающих пород и вредных включений по месторождению (участку);  $m_{вклj}$  – мощность пересечения  $j$ -го пропласта вмещающих пород и вредных включений по месторождению (участку);  $k$  – количество пропластов вмещающих пород и вредных включений по месторождению (участку).

Таблица 1 – Классификация по сложности структурного строения месторождений (участков) твердых полезных ископаемых

| Группа месторождений (участков) |                                       | Показатели изменчивости структурного строения |           |
|---------------------------------|---------------------------------------|---|-----------|
|                                 |                                       | $\lambda_{сл.зар}$ 1/м                        | $v_{вкл}$ |
| 1-я                             | Простого структурного строения        | 0-0,2   | 0,8-0,9   |
| 2-я                             | Сложного структурного строения        | 0,2-0,3                                       | 0,6-0,8   |
| 3-я                             | Очень сложного структурного строения  | 0,3-0,4                                       | 0,4-0,6   |
| 4-я                             | Весьма сложного структурного строения | >0,4  | <0,4      |

На основании анализа выполнена систематизация физико-механических свойств различных видов полезного ископаемого сложноструктурных месторождений (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-механические характеристики сложноструктурных видов твердых полезных ископаемых

| Типы полезного ископаемого     | Физико-механические характеристики   |                          |  |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--|
|                                | Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Категория трещиноватости | Крепость по шкале проф. М.М. Протодяконова |
| Руда                           | 2,9-4,9                              | I-V                      | 10-21                                      |
| Уголь                          | 0,9-1,8                              | I-III                    | 1-8  |
| Декоративный камень            | 2,2-2,8                              | IV-V                     | 8-16                                       |
| Строительный камень (материал) | 1,2-3,0                              | I-V                      | 6-16                                       |

В современных условиях эффективность горных предприятий обуславливается обеспечением постоянно растущих требований к качеству товарной продукции и его ассортименту. Следует отметить, что обеспечение заданных показателей качества выполнения буровзрывных работ в условиях сложноструктурных месторождений без изменения подхода к обоснованию параметров взрывной подготовки не представляется возможным, поскольку сегодня основными критериями качества ведения горных работ являются выход негабарита, кондиционный и средний размер куска, не учитывающие возможность управления качеством минерального сырья при подготовке горных пород к выемке при наличии контактов в сложноструктурном массиве.

Управление качеством минерального сырья при взрывной подготовке предусматривает обоснование технологии и параметров подготовки, позво-

ляющей с учетом требований к качеству товарной продукции по необходимости смешивать, сотрясать, не допускать перемешивания, переизмельчать, повышать выход крупной фракции и т.д., а ее выбор осуществлять на основании сравнения по экономическим критериям. Данный подход обеспечивает комплексное освоение минерального сырья, а в отдельных случаях – месторождения в целом, и позволяет повысить эффективность и безопасность горнодобывающего производства и конкурентоспособность его продукции.

*Во второй главе обоснована концепция управления качеством минерального сырья на этапе подготовки к выемке горных пород для повышения эффективности добычи и его переработки; выполнена систематизация показателей качества минерального сырья сложноструктурных природных массивов и технологий взрывной подготовки с учетом критериев и показателей горно-перерабатывающего производства и требований потребителей готовой продукции; разработана методика оценки потерь и разубоживания полезных ископаемых при подготовке к выемке горных пород месторождений со сложными горно-геологическими условиями в зоне контактов со сложноструктурными прослойками и тектоническими нарушениями.*

В горном деле существуют два понятия качества: качество минерального сырья (полезного ископаемого и готовой продукции) и качество горных работ. В работе под качеством минерального сырья понимается свойство или совокупность свойств части массива, содержащего полезные компоненты или минеральные образования, удовлетворяющие степени пригодности для потребителей. При этом сегодня качество горных работ рассматривается как технический, технологический и организационный уровень горного производства, соответствующий специфическим условиям разработки месторождения. Для условий месторождений с простым геологическим строением природное качество минерального сырья является относительно стабильным, где управление качеством горных работ осуществляется с целью обеспечения производительности карьера по полезному ископаемому. На сложноструктурных месторождениях на качество минерального сырья, с учетом разноразности и наличия контактных зон, существенное влияние оказывают показатели потерь и разубоживания, величина которых обусловлена применяемой геотехнологией.

В работе применительно к сложноструктурным месторождениям эти два показателя качества необходимо рассматривать в совокупности, поскольку качество горных работ (качество подготовки) определяет качество минерального сырья. Сегодня при проектировании открытой геотехнологии и эксплуатации месторождения качество горных работ оценивается коэффициентом изменения (снижения) качества  $e^I$ , который является обратным показателем коэффициента разубоживания  $P$ . В работе при расчете показателей разубоживания в условиях сложноструктурных месторождений предлагается определять ценность полезного ископаемого в недрах и в отбитом от массива с учетом его типа и сортности:

$$e^I = \frac{\sum_{i=1}^n U_{Д}^{copmi}}{\sum_{i=1}^n U_{н(\bar{\delta})}^{copmi}} 100\%; \quad (3)$$

$$P = 1 - e^I = \frac{\sum_{i=1}^n U_{н(\bar{\delta})}^{copmi} - \sum_{i=1}^n U_{Д}^{copmi}}{\sum_{i=1}^n U_{н(\bar{\delta})}^{copmi}} 100\%, \quad (4)$$

где  $U_{н(\bar{\delta})}^{copmi}$ ,  $U_{Д}^{copmi}$  – соответственно ценность полезного ископаемого  $i$ -го сорта в недрах (балансовые запасы) и в отбитом от массива (добытого), руб./м<sup>3</sup>.

С целью определения сложноструктурных зон в работе систематизированы природные, технологические, техногенные, ограничивающие, технические и организационные факторы, оказывающие влияние на качество минерального сырья и процесс его разрушения при подготовке горных пород к выемке (рисунок 1).

Подготовка пород к выемке на сложноструктурных месторождениях является весьма энергозатратным процессом, связанным с физическим разрушением горных пород. Затраты энергии на разрушение и дробление горной массы в работе предлагается оценивать показателем интегральной энергоемкости процессов разрушения, являющимся суммой энергоемкости процессов подготовки горных пород на стадиях добычи и переработки:

$$e_{подг} = \sum_{i=1}^n e_{подgi}^{ОГР} + \sum_{j=1}^m e_{подgj}^{ОПН}, \quad (5)$$

где  $e_{подg}^{ОГР}$ ,  $e_{подg}^{ОПН}$  – соответственно энергоемкость процессов подготовки на стадиях открытой геотехнологии и обогатительного передела, МДж/м<sup>3</sup>.

Эффективность подготовки может достигаться в соответствии с целевой функцией, значение которой в зависимости от поставленной задачи должно стремиться к минимуму ( $e_{подg} \rightarrow \min$ ), либо к максимуму ( $e_{подg} \rightarrow \max$ ). Минимальное значение целевой функции обеспечивает достижение максимального объема единственного вида товарной продукции без учета возможного количества сортов, максимальное – при максимальной совокупной стоимости товарной продукции с учетом всех возможных ее типов и сортов. Кроме того, при достижении максимума целевой функции эффективность освоения балансовых запасов на сложноструктурных месторождениях обуславливается балансом энергии за счет оптимального перераспределения химической и электрической энергии на разрушение и дробление (рисунок 2).

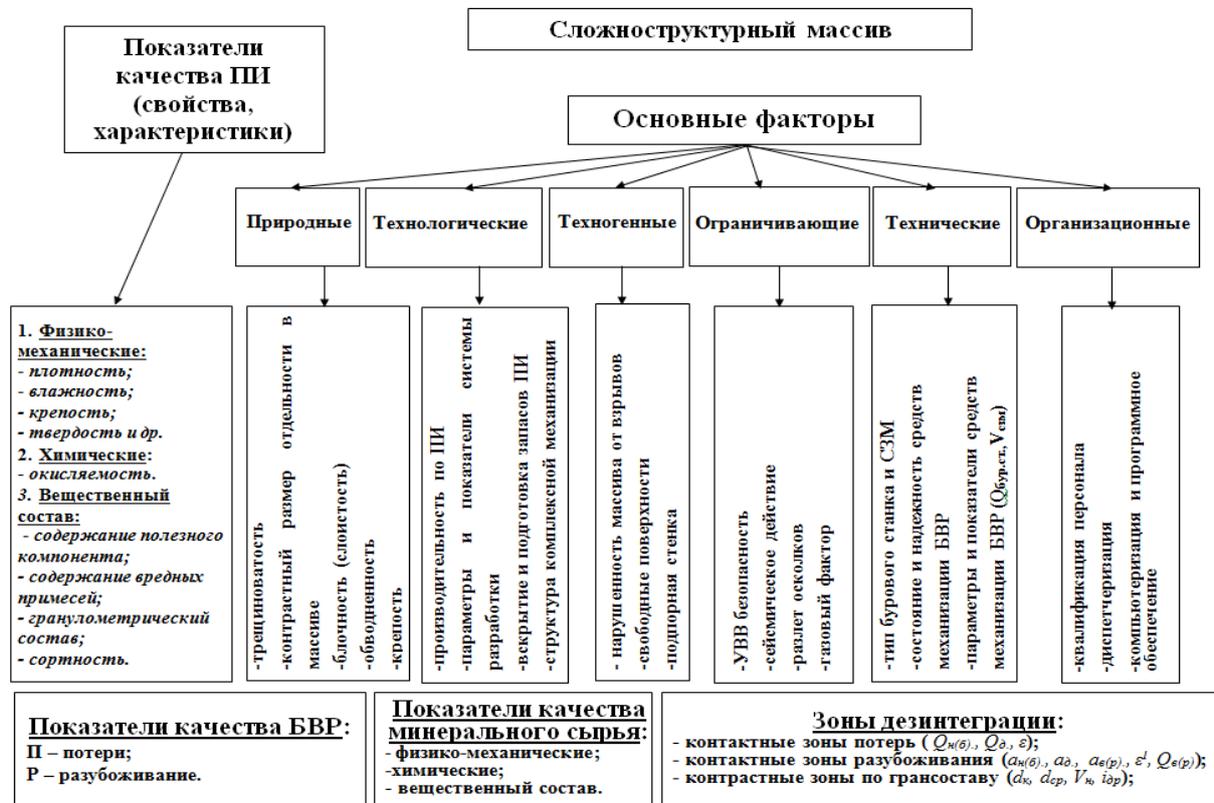


Рисунок 1 – Систематизация основных факторов, оказывающих влияние на качество минерального сырья и процесс дезинтеграции природных сложноструктурных массивов при БВР

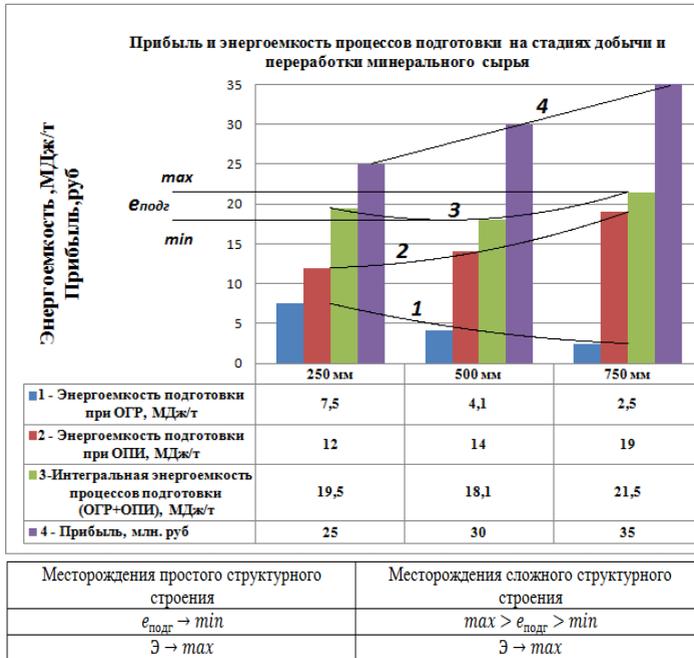


Рисунок 2 – Область регулирования энергоёмкости процессов добычи и переработки минерального сырья

В работе предложена модель, определяющая эффективность процесса подготовки сложноструктурного месторождения, включающая целевую функцию и систему ограничений:

$$\mathcal{E}_{подг} = f(\Phi M, K, T, C_{комп}) \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\begin{cases} \Phi M = f(\text{трещиноватость, крепость}); \\ K = f(\text{текстура(структура), содержание(п.к., примеси), потери, засорение}); \\ T = f(\text{БВР, МП(ОГР), МП(ОПИ)}); \\ C_{комп} = f(\text{продукция, сортность, цена}), \end{cases}$$

где  $\Phi M$  – физико-механические свойства горных пород (трещиноватость и блочность, крепость) в массиве, определяющие вид товарной продукции минерального сырья;  $K$  – качество минерального сырья и процесса подготовки на стадиях добычи и переработки;  $T$  – технология подготовки минерального сырья при добыче и переработке; БВР – буровзрывная подготовка к выемке минерального сырья; МП (ОГР) – механическая подготовка минерального сырья при открытой геотехнологии; МП (ОПИ) – механическая подготовка минерального сырья при обогащительном переделе;  $C_{комп}$  – совокупная ценность товарной продукции.

Для определения суммарной ценности всех видов товарной продукции предложена методика расчета, учитывающая технологически возможные виды (сорта) товарной продукции минерального сырья:

$$C_{\text{комн}} = V_m \sum_{i=1}^{n=i} \sum_{j=1}^{m=j} (D_i C_i + D_j C_j), \quad (7)$$

при этом

$$\left( \sum_{i=1}^m D_i + \sum_{j=1}^n D_j \right) \leq 1, \quad (8)$$

$$1 - \left( \sum_{i=1}^m D_i + \sum_{j=1}^n D_j \right) = P, \quad (9)$$

где  $V_m$  – балансовые запасы, т ( $\text{м}^3$ );  $D_i$  – доля объема  $i$ -го вида (сорта) товарной продукции;  $C_i$  – стоимость единицы  $i$ -го вида (сорта) товарной продукции;  $D_j$  – доля объема  $j$ -го фракционного состава в общем объеме вмещающих пород;  $C_j$  – стоимость единицы  $j$ -й фракции, руб./т( $\text{м}^3$ );  $n$  – число фракций в объеме вмещающих пород;  $P$  – потери, дол. ед.

Установлено, что качество буровзрывных работ обуславливает цикличность преобразования продуктов разрушения в процессах подготовки минерального сырья при добыче и переработке (рисунок 3), что позволят сбалансировать объемы химической энергии ВВ и электроэнергии и в некоторых случаях отказаться от нескольких циклов стадий дроблений процесса переработки в результате снижения или увеличения кусковатости.

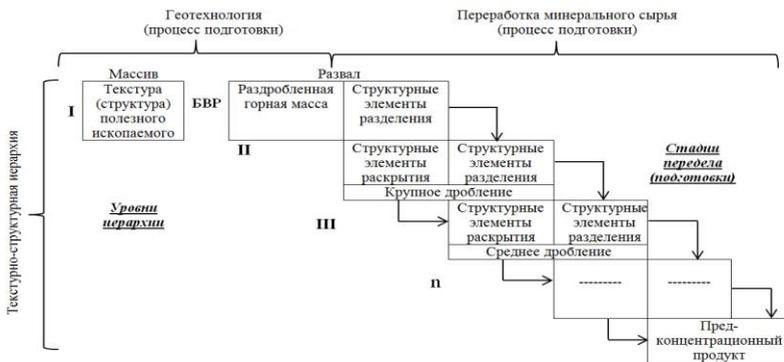


Рисунок 3 – Схема преобразования продуктов селективного разрушения и иерархия процессов подготовки минерального сырья при добыче и переработке

Карьерное поле сложноструктурных месторождений характеризуется широким диапазоном прочностных характеристик и структурными особенностями. С целью управления качеством минерального сырья в условиях сложноструктурных месторождений на стадии подготовки пород к выемке

необходимо осуществлять на этапе геологической разведки районирование карьерного поля по показателю качества породы RQD, а при эксплуатационной разведке уточнять и корректировать геологическую модель по коэффициенту трещиноватости, сложности залежи и частоте включений.

В работе предложена методика районирования месторождения по критерию качества товарной продукции (рисунок 4), основанного на учете текстурно-структурных характеристик (трещиноватости), физико-механических свойств (крепости) и требований к качеству (наличие вредных включений), обеспечивающая повышение полноты и комплексности освоения запасов сложноструктурных месторождений за счет обоснования технологии подготовки по интегральному показателю энергоемкости (рисунок 5).

В современных условиях сложноструктурные месторождения рассматриваются с точки зрения негативных факторов и сложности горно-геологических условий и технологической разработки и не рассматриваются как потенциальные месторождения для производства товарной продукции с высокими ценными сортами, дорогостоящими компонентами, высокими декоративными свойствами. С целью реализации потенциала сложноструктурных месторождений и технологических схем управления качеством минерального сырья обоснована концепция (рисунок 6).

В результате исследования влияния качества горных работ на показатели качества минерального сырья сложноструктурных месторождений выявлено, что гранулометрический состав горной массы по крупности является одним из определяющих показателей при управлении качеством на этапе подготовки. На примере месторождений строительных материалов и анализа технологических показателей установлено, что увеличение разубоживания до 3% приводит к увеличению потерь товарной продукции до 20% за счет переизмельчения (фракция 0-20 мм) (рисунок 7).

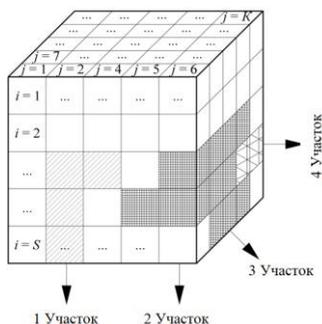
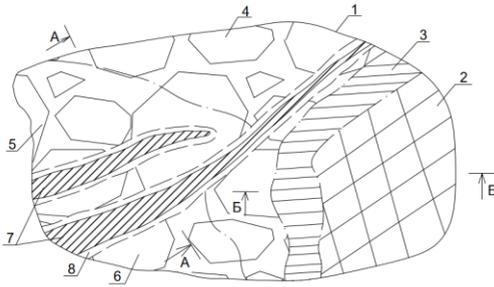
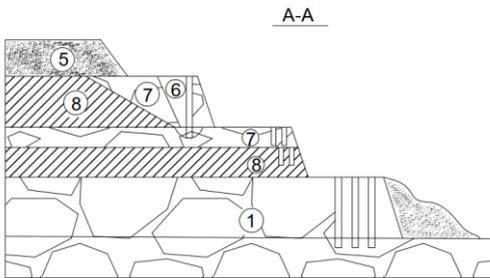


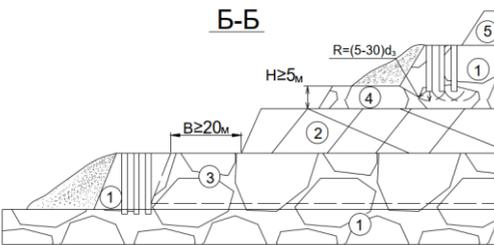
Рисунок 4 – Принципиальная модель районирования карьерного поля:  
 1 – Участок декоративного камня;  
 2 – Участок фракционного щебня;  
 3 – Участок на контакте декоративного камня и фракционного щебня;  
 4 – Участок на контакте полезного ископаемого с вредными включениями



1 – лицензионный участок сложно-структурного месторождения;  
 2 – участок декоративного камня;  
 3 – демпферная зона – участок фракционного щебня;  
 4 – участок фракционного щебня (I сорта товарной продукции);  
 5 – участок фракционного щебня (II сорта товарной продукции);  
 6 – участок фракционного щебня ( $n$ -го сорта товарной продукции);  
 7 – участок вредных включений;  
 8 – участок на контакте полезного ископаемого с вредными включениями



1 – участок фракционного щебня (БВР – многорядное КЗВ),  $e_{подг} = 16-19 \text{ МДж/м}^3$ ;  
 2 – участок декоративного камня,  $e_{подг} = 26-34 \text{ МДж/м}^3$ ;  
 3 – первая демпферная зона – участок фракционного щебня высокой ценности (Бугобой),  $e_{подг} = 19-25 \text{ МДж/м}^3$ ;  
 4 – вторая демпферная зона – участок фракционного щебня высокой ценности (Фрезерный комбайн)  $e_{подг} = 21-28 \text{ МДж/м}^3$ ;  
 5 – участок рыхлых горных пород (без подготовки к выемке);



6 – участок фракционного щебня (БВР – однорядное взрывание),  $e_{подг} = 18-21 \text{ МДж/м}^3$ ;  
 7 – участок на контакте полезного ископаемого с вредными включениями (БВР – ЭВВ, конструкция заряда – Бугобой, Фрезерный комбайн),  $e_{подг} = 19-28 \text{ МДж/м}^3$ ;  
 8 – участок вредных включений (БВР – взрывание на сотрясение – диаметр и сетка скважин),  $e_{подг} = 16-24 \text{ МДж/м}^3$

Рисунок 5 – Районирование карьерного поля сложноструктурного месторождения по технологическим участкам подготовки горных пород к выемке, по видам и сортам товарной продукции

| <b>Сложноструктурные месторождения полезных ископаемых</b>   |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
|--|----------------|---------------------|-----------------------|--|--|----------------------------|---|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|
| <b>Негативные факторы и условия</b>  |                |                     |                       | (горногеологические; технологические)                              |  |                            | <b>Эффективность подготовки:</b>  |                         |                         |                |              |
| <b>Положительные факторы и условия</b>   |                |                     |                       | (сортность; многокомпонентность; декоративность; высокая ценность) |  |                            | $e_{подг} = \sum_{i=1}^m e_{подг}^{OPF} + \sum_{j=1}^n e_{подг}^{ОПИ} \rightarrow \min(\max)$ $\mathcal{E}_{подг} = f(\Phi M, K, e_{подг}, \Pi_{КОМП}) \rightarrow \max,$ |                         |                         |                |              |
| <b>Заказчик (потребитель)</b>  |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Максимальный объем товарной продукции без учета возможного количества сортов;</li> <li>Максимальная совокупная стоимость товарной продукции с учетом всех возможных сортов</li> </ul> |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| <b>Показатели качества минерального сырья:</b>   |                |                     |                       |  | <b>Месторождения по видам полезного ископаемого:</b> |                            |   |                         |                         |                |              |
| 1.Содержание полезного компонента  |                |                     |                       |  | А. Рудные  |                            |   |                         |                         |                |              |
| 2.Содержание вредных примесей (включений)  |                |                     |                       |  | Б. Угольные  |                            |   |                         |                         |                |              |
| 3.Гранулометрический состав  |                |                     |                       |  | В. Декоративного камня                               |                            |   |                         |                         |                |              |
| 4.Сортность  |                |                     |                       |  | Г. Строительных материалов                           |                            |   |                         |                         |                |              |
| 5.Трещиноватость   |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| <b>Районирование карьерного поля по текстурно-структурным особенностям – основное условие управление качеством минерального сырья</b>  |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| <b>Принципы управления качеством минерального сырья для достижения показателей</b>   |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| Разделение (селективное)   |                |                     | Усреднение (смешение) |  |  | Разупрочнение              |   | Переизмельчение         |                         |                |              |
| 2; 3; 4; 5   |                |                     | 1; 2; 3               |  |  | 3; 4; 5                    |   | 2; 3                    |                         |                |              |
| <b>Методы управления качеством горных работ на этапе подготовки горных пород к выемке</b>  |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| <i>Бурозрывной</i>   |                |                     |                       |  | <i>Механической</i>                                  |                            |   |                         |                         |                |              |
| 1А; 2Г; 3А;3Б; 3Г;   |                |                     |                       | 3А; 3Б; 3Г; 4Б; 4Г;  |  |                            | 1А; 5А; 5Б;5Г   |                         | 4В; 5В                  |                | 2Г;4Б; 4Г    |
| Многорядное КЗВ  | Однорядное КЗВ | Каскадное взрывание | Диаметр заряда        | Эмульсионные ВВ  | Конструкция заряда                                   | Многооточное инициирование | Расширители   | Парно-сближенные заряды | Алмазно-канатные машины | Баровые машины | Гидромолоты  |
| <b>Показатели качества горных работ на этапе подготовки горных пород к выемке</b>  |                |                     |                       |  |  |                            |   |                         |                         |                |              |
| $\Pi = f(P); P \rightarrow \max; \Pi \rightarrow 0$  |                |                     |                       | $\Pi = f(P); P \rightarrow 0; \Pi \rightarrow \max$                |  |                            | $\Pi = f(H^+); P = f(H^+)$  |                         | $\Pi = f(T); P = f(T)$  |                | $\Pi = f(P)$ |

Примечание.  $\Pi$  – коэффициент потерь;  $P$  – коэффициент разубоживания;  $H^+$  - выход негабарита;  $T$  – коэффициент трещиноватости.

Рисунок 6 – Концепция управления качеством минерального сырья сложноструктурных месторождений на этапе подготовки горных пород к выемке

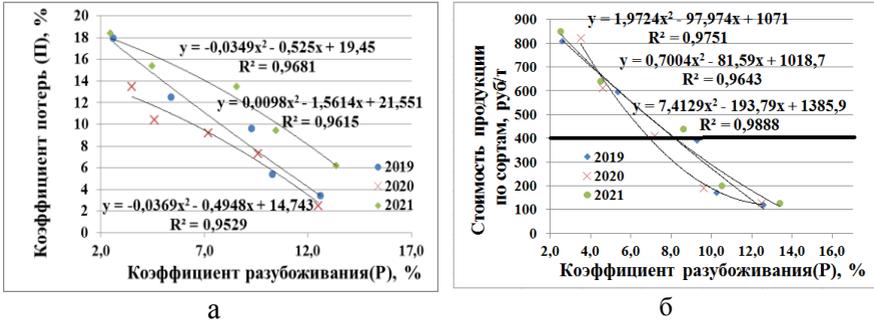


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента потерь (а) и стоимости продукции по сортам (б) от коэффициента разубоживания

С целью управления качеством минерального сырья на этапе подготовки к выемке горных пород сложноструктурных месторождений, где массив представлен несколькими сортами и перебитыми контактными зонами с вредными включениями, в работе обоснована методика определения потерь для всех типов полезных ископаемых со сложноструктурным строением, учитывающая зону разрушения скважинным зарядом в развале (рисунок 8).

На основе проведенных исследований доказано, что процесс разрушения сложноструктурного массива происходит в соответствии с механизмами динамической и волновой теории взрыва. Спецификой производства буровзрывных работ в условиях сложноструктурного массива с наличием значительного количества свободных поверхностей является как эффект усиления отраженных волн, так и эффект их гашения за счет многократного преломления. В работе с учетом данных особенностей обосновано применение принципа автомодельности, учитывающего текстурно-структурные особенности и селективное разрушение среды при условии равенства или превышения скоростей смещения критических значений, генерируемых взрывом напряжений.

С целью эффективного использования химической энергии взрыва в работе при определении параметров взрывной подготовки и расчетах критических скоростей смещения массива дополнительно необходимо учитывать показатели акустической жесткости вредных включений и трещиноватости массива:

$$V_{кр}^{сж(p)} = \frac{\sigma_{сж(p)}}{\rho_0 C_p \cdot \rho_B C_{p(B)} / (\rho_0 C_p + \rho_B C_{p(B)})} K_\delta K_m, \quad (10)$$

где  $V_{кр}^{сж(p)}$  – скорость смещения массива (критическая), при которой происходит разупрочнение за счет сжимающих (растягивающих) напряжений, м/с;  $\rho_0 C_p$  ( $\rho_B C_{p(B)}$ ) – акустическая жесткость полезного ископаемого (вмещающих пород);  $K_\delta$  – коэффициент динамичности;  $K_m$  – коэффициент, учитывающий трещиноватость.

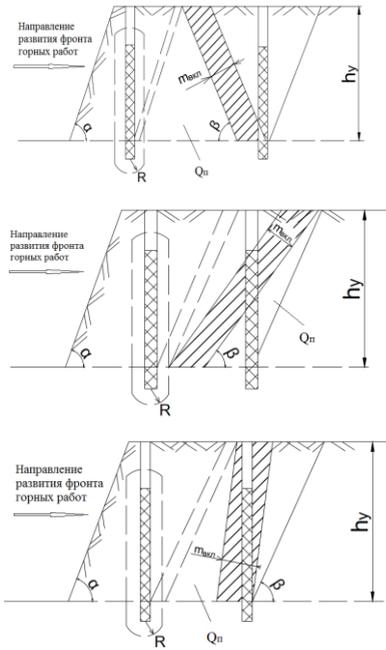


Рисунок 8 – Схема определения величины потерь при исключении разубоживания:

$h_y$  – высота уступа, м;  $\alpha$  – угол откоса уступа, град;  $\beta$  – угол падения пропласта, град;  $R$  – радиус зоны разрушения горных пород сжимающими нагрузками возле скважинного заряда, м;  $Ш_{взр.бл(min)}$  – минимальная ширина взрывного блока, м;  $m_{вкл}$  – мощность пропласта с вредными включениями, м

В работе установлено, что механизм разрушения согласно волновой теории взрыва при проявлении резонансных явлений в отдельностях структурных неоднородностей соответствующего масштаба позволяет управлять эффектом селективного разрушения массива за счет генерирования упругих волн требуемой длины путем регулирования спектра взрывного импульса для обоснования параметров буровзрывной подготовки.

**В третьей главе** выполнены исследования влияния параметров буровзрывных работ на управление качеством минерального сырья с учетом типов ВВ, сложности залегания, конструкции заряда ВВ, удельного расхода ВВ на качество минерального сырья при взрывной подготовке сложно-структурных месторождений.

Исследованиями установлено, что управление качеством минерального сырья обеспечивается эффективным переходом химической энергии взрыва в полезные формы механической работы с учетом диссипативных потерь пу-

а) Фронт работ от лежачего бока залежи к висячему:

$$Q_n = h^2 (ctg \alpha + ctg \beta) + \frac{Rh_y}{\sin \alpha}, \quad (11)$$

$$Ш_{взр.бл(min)} = h(ctg \alpha + ctg \beta) + m_{вкл} / \sin \alpha + R; \quad (12)$$

б) Фронт работ от висячего бока залежи к лежащему при  $\alpha > \beta$ :

$$Q_n = h^2 (ctg \beta - ctg \alpha) + \frac{Rh_y}{\sin \alpha}, \quad (13)$$

$$Ш_{взр.бл(min)} = h(ctg \beta - ctg \alpha) + m_{вкл} / \sin \alpha + R \quad (14)$$

в) Фронт работ от висячего бока залежи к лежащему при  $\alpha < \beta$ :

$$Q_n = h^2 (ctg \alpha - ctg \beta) + \frac{Rh_y}{\sin \alpha}, \quad (15)$$

$$Ш_{взр.бл(min)} = h(ctg \alpha - ctg \beta) + m_{вкл} / \sin \alpha + R. \quad (16)$$

тем регулирования взрывного импульса. В условиях сложноструктурных месторождений регулирование спектра взрывного импульса должно осуществляться путем определения конструктивных параметров скважинного заряда ВВ (приведенная глубина заложения, конструкция заряда, тип ВВ) и геометрических параметров расположения зарядов (линия сопротивления по подошве, сетка скважин и схемы коммутации) на подготавливаемом массиве.

С целью обеспечения требуемого гранулометрического состава разработана методика определения оптимальной приведенной глубины заложения:

$$h_{np} = \frac{H_c - 0,5(H_c - h_{заб} - h_n)}{\sqrt[3]{Q_c}}, \quad (17)$$

где  $H_c$  – глубина скважины, м;  $h_{заб}$  – длина забойки, м;  $h_n$  – длина промежутка (воздушного или инертного), м;  $Q_c$  – масса заряда ВВ в скважине, кг.

В результате проведенных опытно-промышленных исследований на месторождениях рудных и строительных материалов при высоте уступа 8–15 м для получения среднего размера куска от 0,2 до 0,35 м установлено, что оптимальная приведенная глубина заложения, которая находится в диапазоне 0,9–1,1 кг/м<sup>1/3</sup>, обеспечивает требуемый грансостав и заданные показатели потерь и разубоживания, независимо от применяемых типов ВВ и полезного ископаемого (рисунок 9). При этом эффективность перераспределения химической энергии ВВ обуславливает оптимальную интегральную энергоемкость процессов разрушения на стадиях добычи и переработки.

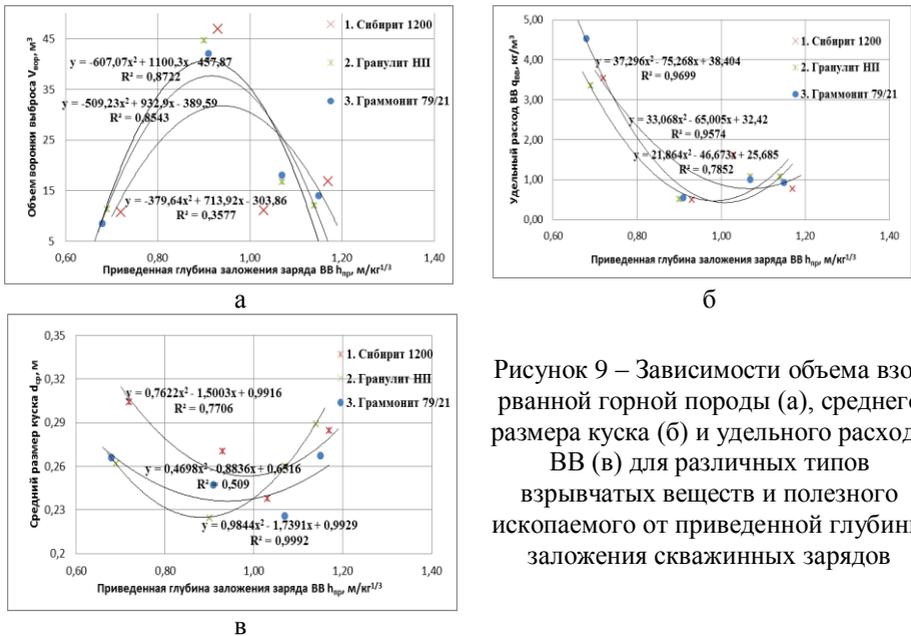


Рисунок 9 – Зависимости объема взорванной горной породы (а), среднего размера куска (б) и удельного расхода ВВ (в) для различных типов взрывчатых веществ и полезного ископаемого от приведенной глубины заложения скважинных зарядов

При проектировании параметров БВР регулирование химической энергии взрывной подготовки пород к выемке в условиях сложноструктурных месторождений осуществляется путем обоснования конструкции скважинного заряда. С целью повышения качества товарной продукции в работе выполнено моделирование конструкции заряда (рисунок 10) и установлено, что величина забойки и воздушного промежутка обеспечивает на практике перераспределение энергии взрыва в каждую требуемую зону разрушаемого массива.

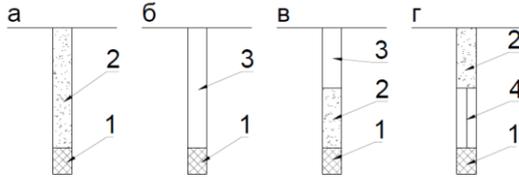


Рисунок 10 – Схемы конструкции заряда:

- а – забойка всей незаряженной части; б – без забойки;  
 в – 1/2 забойки от незаряженной части; г – воздушный промежуток между зарядом и забойкой ( $l_{вп} = 1/2 l_{нч}$ );  
 1 – заряд БВ; 2 – забойка; 3 – незаряженная часть; 4 – воздушная подушка

Выполненными опытно-промышленными исследованиями влияния конструкции скважинных зарядов на качество взрывного дробления горных пород на угольных разрезах и карьерах строительных материалов (рисунок 11) установлено, что рациональные параметры БВР (сетка скважин, конструкция заряда и схема коммутации внутрискважинного заряда) необходимо определять с учетом оптимальной приведенной глубины заложения.

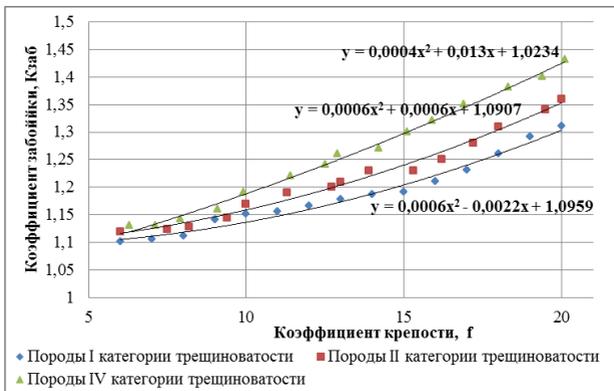


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента забойки скважинного заряда от категории трещиноватости и крепости горных пород

Доказано, что с увеличением коэффициента крепости горных пород  $b$  до 21 коэффициент забойки изменяется в диапазоне 0,1–0,3 и 0,12–0,43 для пород I и III категории трещиноватости соответственно. При этом величина забойки при управлении качеством минерального сырья определяется по формуле:

$$h_{заб}^{омт} = H_c - (1 + K_{заб})l_{зар}, \quad (18)$$

где  $K_{заб} = 0,12–0,43$  – коэффициент забойки, учитывающий величину конструкции заряда, трещиноватость и крепость горных пород, м;  $l_{зар}$  – длина колонки заряда, м.

Неоднородность строения массива на сложноструктурных месторождениях, как правило, прослеживается в вертикальной плоскости. При этом применение штатных ВВ не позволяет управлять энергией взрыва для обеспечения требуемого гранулометрического состава. Современные эмульсионные ВВ типа «вода в масле» лишены данного недостатка за счет регулирования энергии взрыва добавлением газогенерирующих добавок, что позволяет дифференцированно перераспределить энергию взрыва по колонке заряда ВВ. На основании проведенных исследований и выполненного моделирования колонкового заряда эмульсионного ВВ за счет дифференцирования плотности эмульсионной матрицы разработана методика, позволяющая на этапе проектирования определить параметры скважинного заряда и учитывающая его глубину и диаметр заряда, а также крепость и рецептуру применяемых эмульсионных ВВ (рисунок 12).

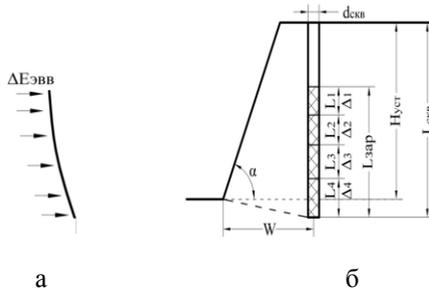


Рисунок 12 – Эпюра перераспределения энергии эмульсионного заряда ВВ и схема дифференцирования плотности эмульсионной матрицы по колонке заряда:

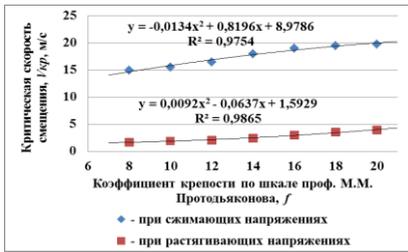
$\Delta E_{ЭВВ}$  – изменение энергии ЭВВ по длине скважинного заряда;

$W$  – ЛСПП, м;  $\alpha$  – угол откоса уступа, градус;  $d_{скв}$  – диаметр скважины, м;

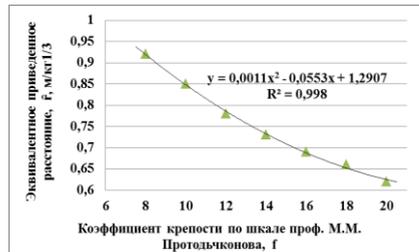
$L_1, L_2, L_3, L_4$  – длины участков колонки заряда с дифференцированной плотностью соответственно  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ ;  $L_{зар}$  – длина колонки скважинного заряда эмульсионного ВВ, м;  $H_{уст}$  – высота уступа, м;  $L_{скв}$  – длина заряда, м

Практическая реализация управления качеством минерального сырья в условиях подготовки блоков сложноструктурных месторождений осуществляется не только с учетом оптимальной приведенной глубины заложения и конструкции заряда, плотности ВВ, но и на основе обоснованных геометрических и энергетических параметров буровзрывных работ: линия сопротивления по подошве, сетка скважин, удельный расход и величина скважинного заряда.

В условиях сложноструктурных месторождений для повышения производительности карьера по полезному ископаемому при отработке высотой уступа более 15 м проведена серия опытно-промышленных испытаний для параметров сетки скважин и величины расширителя для крупноблочных пород средней и высокой крепости, рассчитанных по разработанной методике (рисунки 13–15).



а



б

Рисунок 13 – Значение критических скоростей смещения массива (а) и оптимального эквивалентного приведенного расстояния (б) от крепости пород

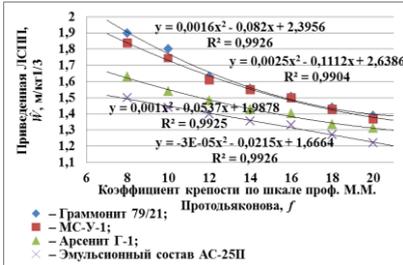


Рисунок 14 – Зависимость приведенной ЛСПП от коэффициента крепости пород:  
 1 – Граммонит 79/21;  
 2 – МС-У-1;  
 3 – Арсенит Г-1;  
 4 – Эмульсионный состав АС-25П

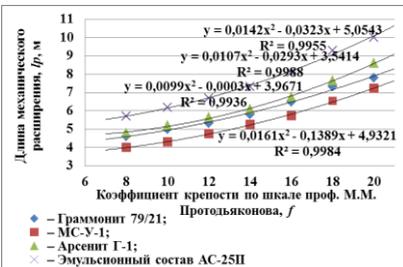
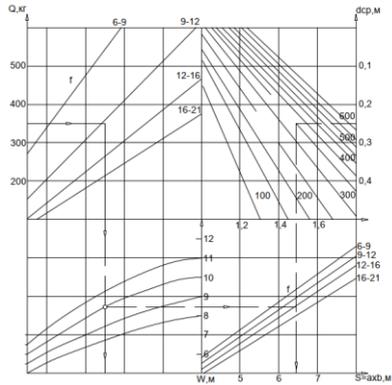
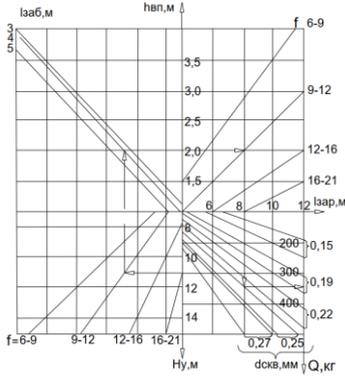


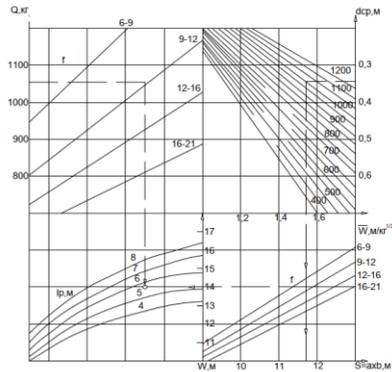
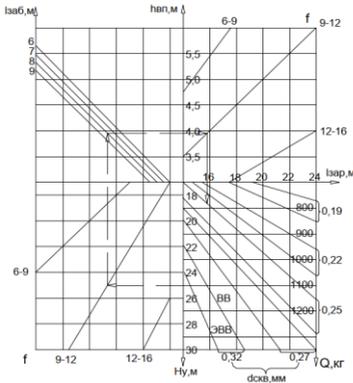
Рисунок 15 – Зависимость длины механического расширения скважины от крепости пород:  
 1 – Граммонит 79/21;  
 2 – МС-У-1;  
 3 – Арсенит Г-1;  
 4 – Эмульсионный состав АС-25П

Доказано, что качество минерального сырья с учетом структурных особенностей природного массива, вещественного состава и качественных показателей товарной продукции достигается применением буровзрывной подготовки пород к выемке с учетом принципа автомодельности. Определены критические скорости смещения массива в диапазоне 2–4 м/с и 15–20 м/с при действии растягивающих и сжимающих напряжений в породах с крепостью от 6 до 21 по шкале проф. М.М. Протодыконова соответственно.

Результатом развития методологии для практики является оперативный расчет параметров буровзрывной подготовки при управлении качеством минерального сырья на сложноструктурных месторождениях согласно разработанных номограмм, учитывающих высоту уступа, конструктивные, геометрические и энергетические параметры скважинного заряда и физико-механические свойства горных пород.



а



б

Рисунок 16 – Номограмма расчета параметров буровзрывной подготовки для управления качеством минерального сырья на сложноструктурных месторождениях: а – высота уступа до 15 м; б – высота уступа 15–30 м

*В четвертой главе обоснованы технологии и параметры подготовки горных пород к выемке для повышения качества, комплексности и эффективности освоения сложноструктурных месторождений; разработаны технологии взрывной и механической подготовки для обеспечения требуемого качества товарной продукции и заданного гранулометрического состава с учетом трещиноватости массива; разработан алгоритм их выбора при управлении качеством на сложноструктурных месторождениях.*

В работе для управления качеством минерального сырья на этапе подготовки предложена методика расчета параметров БВР, определяющая распределение гранулометрического состава на заданные фракции, учитывающая энергетические параметры взрывной подготовки:

$$d_{cp} = \frac{1}{\frac{1}{d_c} + \frac{300 + H_y}{100 + d_e} q_{BB}}, \quad (19)$$

где  $d_e$  – диаметр средней естественной отдельности в массиве, м;  $H_y$  – высота уступа, м;  $d_c$  – диаметр скважинного заряда ВВ, мм;  $q_{BB}$  – удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>.

Апробация методики проведена на железорудных и строительных сложноструктурных месторождениях. Коэффициент корреляции теоретического и опытно-промышленного распределения гранулометрического состава 95,7% (рисунок 17).

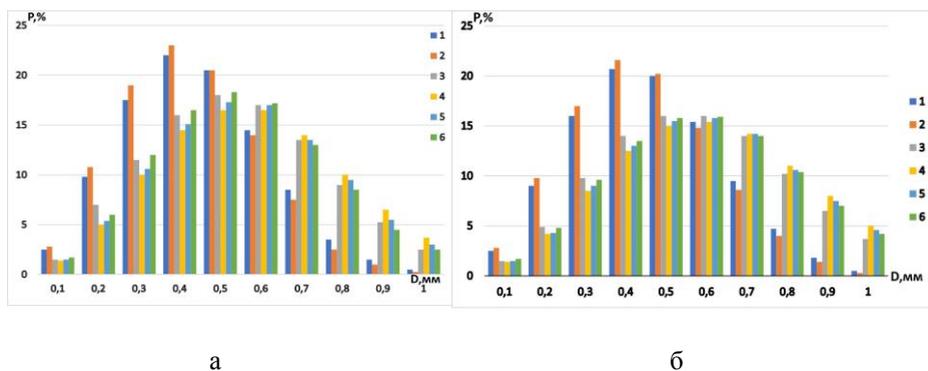


Рисунок 17 – Распределение гранулометрического состава:  
а – теоретическое; б – опытно-промышленные испытания

На месторождениях, где стоимость продукции определяется чистотой полезного ископаемого, не допускается разубоживание на контактах с прослоями вмещающих пород и тектоническими нарушениями. В работе доказано, что на данных месторождениях управление качеством минерального сырья обеспечива-

ется сочетанием технологии однорядного взрывания с параметрами сетки, равными 30–40 диаметров скважинного заряда, за счет увеличения выхода негабарита до 50% при снижении переизмельчения на каждые 10%.

На месторождениях с IV и V категориями трещиноватости в зоне контактов, не превышающих 20 диаметров скважинных зарядов, обосновано применение технологии механической подготовки, позволяющей компенсировать снижение производительности карьера по полезному ископаемому повышением стоимости товарной продукции (рисунок 18).

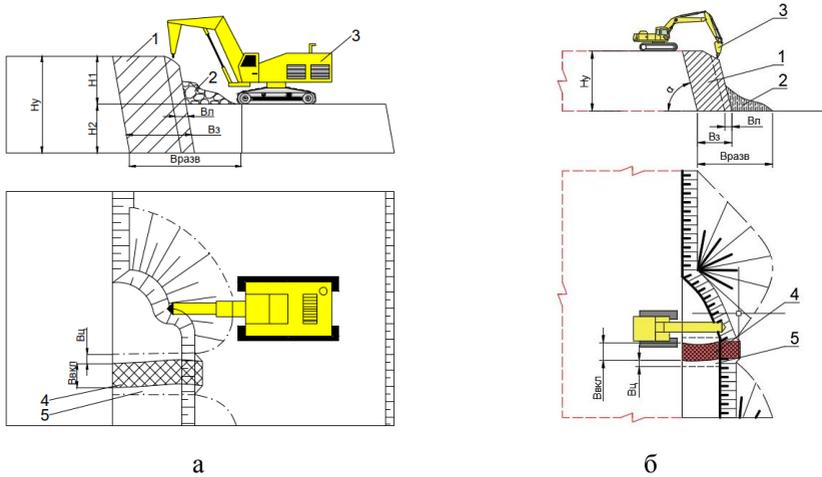


Рисунок 18 – Паспорт забоя на контакте полезного ископаемого с вредными включениями: а – с нижней постановкой гидромолота; б – с верхней постановкой гидромолота;

- 1 – участок массива полезного ископаемого; 2 – развал по полезному ископаемому; 3 – гидромолот; 4 – участок вредных включений; 5 – охранный целик;  $H_v$  – высота уступа, м;  $H_1$  и  $H_2$  – высота подступа верхнего и нижнего соответственно, м;  $B_3$  – ширина заходки, м;  $B_n$  – ширина ленты откола, м;  $B_{ркл}$  – мощность пропласта вредных включений, м;  $B_{ц}$  – ширина охранный целика, м;  $B_{разв}$  – ширина развала, м

Основным условием эффективности освоения запасов сложноструктурных месторождений с категорией трещиноватости от I до III и наличием двух и более сортов является сохранение смежных с производством взрывных работ зонированных участков. В работе для расширения спектра товарной продукции предложено и обосновано использование защитного экрана в виде горизонтального и вертикального демпферов, позволяющих снизить переизмельчение, нарушенность массива и повысить безопасность ведения взрывной подготовки (рисунок 19).



Для управления качеством взрывной подготовки в условиях действующего производства помимо показателей качества необходимо учитывать и ограничивающие факторы безопасности.

*В пятой главе обосновано развитие методологии выбора технологии и обоснования параметров подготовки горных пород к выемке на сложноструктурных месторождениях для управления качеством минерального сырья с обеспечением сохранности охраняемых объектов.*

Управление качеством минерального сырья на сложноструктурных месторождениях на этапе подготовки приводит к снижению производительности карьера по полезному ископаемому, компенсация которой осуществляется увеличением числа одновременно подготавливаемых блоков, что приводит к концентрации различных негативных факторов взрыва во времени и пространстве, являющихся ограничивающими. В работе предложены технологические решения по увеличению производительности карьера по полезному ископаемому при соблюдении требований промышленной безопасности. Увеличение производительности карьеров, вытянутых в плане, обеспечивается разделением блоков по горизонтам (рисунок 21).

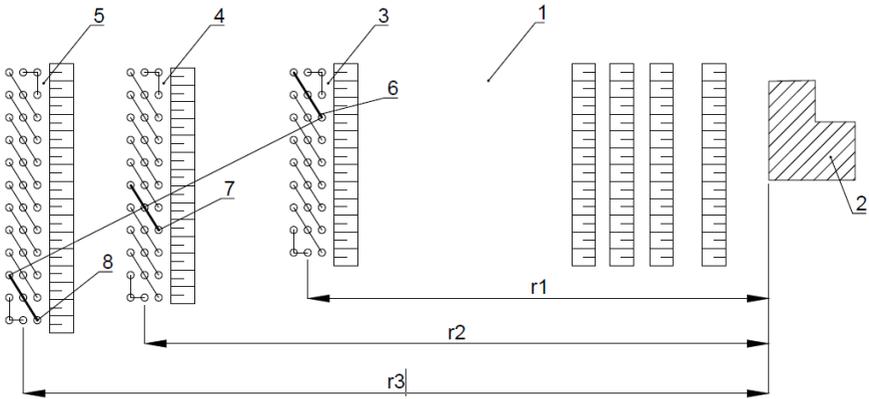


Рисунок 21 – Расчетная схема УВВ безопасности при каскадном взрывании: 1 – карьерное поле; 2 – охраняемый объект; 3–5 – блоки №1, 2 и 3 каскадного взрывания соответственно; 6–8 – группы взрываемых зарядов с одновременным приходом УВВ возмущения к охраняемому объекту от блоков №1, 2 и 3 соответственно;  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  – расстояние от взрываемых блоков №1, 2 и 3 до охраняемого объекта соответственно, м

Оценка негативных факторов основывается на расчете эквивалентного накладного заряда. В работе для обоснования параметров буровзрывных работ при управлении качеством минерального сырья на сложноструктурных

месторождениях и каскадом взрывания с учетом наложения акустических волн обоснована методика расчета энергетических параметров взрывной подготовки:

$$\sum_{i=1}^n Q_{zi(R)} = \sum_{i=1}^n Q_{z1} \left( \frac{r_1}{r_i} \right)^3 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n Q_{zi(r)} = \sum_{i=1}^n Q_{z1} \left( \frac{r_1}{r_i} \right)^2. \quad (20)$$

В работе обоснованы схемы распространения УВВ в пространстве (таблица 3) с учетом управления ограничивающих факторов, зависящих от морфометрических параметров рельефа и абсолютной высотной отметки ведения взрывных работ для достижения заданной проектной мощности по полезному ископаемому.

Предложенная методика для обеспечения заданной производительности по полезному ископаемому с учетом одновременного ведения взрывной подготовки на различных горизонтах и нескольких участках с учетом морфометрических условий базируется на классическом определении эквивалентного накладного заряда, распространяющегося в безграничном полусферическом пространстве. Выбор схемы определяется на основе расчета коэффициента рельефа  $K_{\text{рельеф}}$ , при этом достигается снижение избыточного давления на фронте воздушной волны до 40%, что позволяет увеличить заряд в 1,18 раза при обработке верхних горизонтов. Регулирование массы заряда ВВ в скважине и замедляемой группе определяется по формуле:

$$Q_{z,\text{рельеф}} = Q_z K_{\text{рельеф}} \quad (21)$$

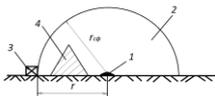
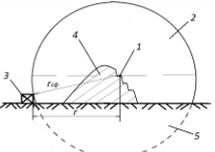
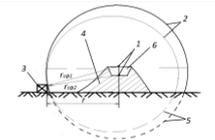
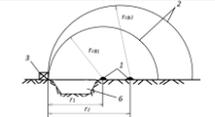
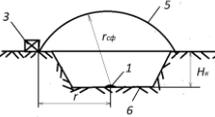
где  $K_{\text{рельеф}}$  – поправка, учитывающая объем фактически охватываемого возмущения на расстоянии  $r$ , м, по сравнению со сферой радиусом  $r_{\text{сф}} \geq r$ , за счет неоднородности рельефа на пути распространения УВВ.

$$1 \leq K_{\text{рельеф}} = \frac{V_{\text{н.сф.}}}{V_{\text{н.сф.}} + V_{\text{рельеф}}} \leq 1. \quad (22)$$

С целью оперативного определения оптимальных параметров взрывной подготовки при управлении качеством минерального сырья на сложноструктурных месторождениях разработана номограмма по установлению массы одновременно взрываемого заряда для обеспечения ударно-воздушной волновой безопасности при взрывах в каскадах, учитывающая конструктивные особенности скважинного заряда (рисунок 22).

В соответствии с принципами управления качеством минерального сырья, формирования структурных элементов раскрытия и разделения, а также ограничивающих факторов разработан алгоритм определения параметров подготовки пород к выемке с помощью буровзрывных работ при открытой геотехнологии с учетом технологических требований к взрывной подготовке, качеству минерального сырья и условий безопасности ведения взрывных работ по критерию оптимальной интегральной энергоемкости (рисунок 23).

Таблица 3 – Схемы распространения УВВ и поправка на рельеф (коэффициент рельефа)  $K_{\text{рельеф}}$  в зависимости от неоднородности рельефа и расположения накладного контактного заряда ВВ

| № п/п | Форма неоднородности рельефа  | Условия реализации  | Поправка на рельеф (коэффициент рельефа), $K_{\text{рельеф}}$  |
|-------|---|---|--|
| 1     |  | Возвышенность на пути распространения УВВ при взрыве контактного накладного заряда ВВ ( $r_{\text{сф}} = r$ )   | $K_{\text{рельеф}} = \frac{V_{\text{н.сф.}}}{V_{\text{н.сф.}} - V_{\text{рельеф}}} \geq 1$   |
| 2     |  | Разработка нагорного месторождения ( $r_{\text{сф}} > r$ )  | $K_{\text{рельеф}} = \frac{V_{\text{сф}} - V_{\text{сегм}}}{V_{\text{сф}} - V_{\text{сегм}} - V_{\text{рельеф}}} \geq 1$                   |
| 3     |  | Разработка нагорного месторождения с карьерной выемкой на вершине ( $r_{\text{сф}} > r$ )                       | $K_{\text{рельеф}} = \frac{V_{\text{сф}} - V_{\text{сегм}}}{V_{\text{сф}} - V_{\text{сегм}} - V_{\text{рельеф}} + V_{\text{выем}}} \geq 1$ |
| 4     |  | Выемка (карьер) на пути распространения УВВ при взрыве контактного накладного заряда ВВ ( $r_{\text{сф}} = r$ ) | $K_{\text{рельеф}} = \frac{V_{\text{н.сф.}}}{V_{\text{н.сф.}} + V_{\text{выем}}} \leq 1$   |
| 5     |  | Взрыв контактного накладного заряда ВВ в карьере ( $r_{\text{сф}} > r$ )  | $K_{\text{рельеф}} = \frac{V_{\text{н.сф.}}}{V_{\text{сегм}} + V_{\text{выем}}} \leq 1$  |

Примечание.  $r$  – расстояние от взрыва до охраняемого объекта, м;  $r_{\text{сф}}$  – радиус сферы возмущения УВВ, м;  $H_k$  – глубина выемки (карьера), м; 4 – неоднородность рельефа; 5 – сегмент; 6 – выемка (карьер).

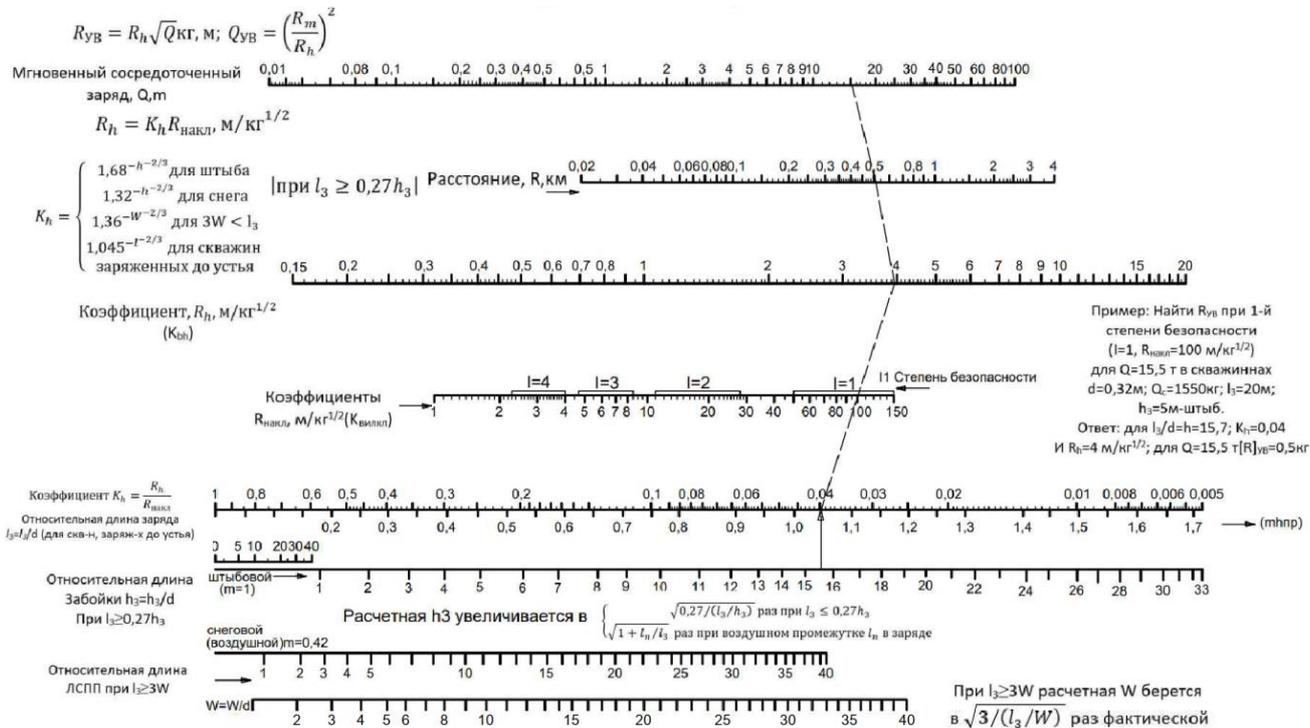


Рисунок 22 – Номограмма расчета параметров взрывной подготовки для повышения производственной мощности и управления качеством минерального сырья

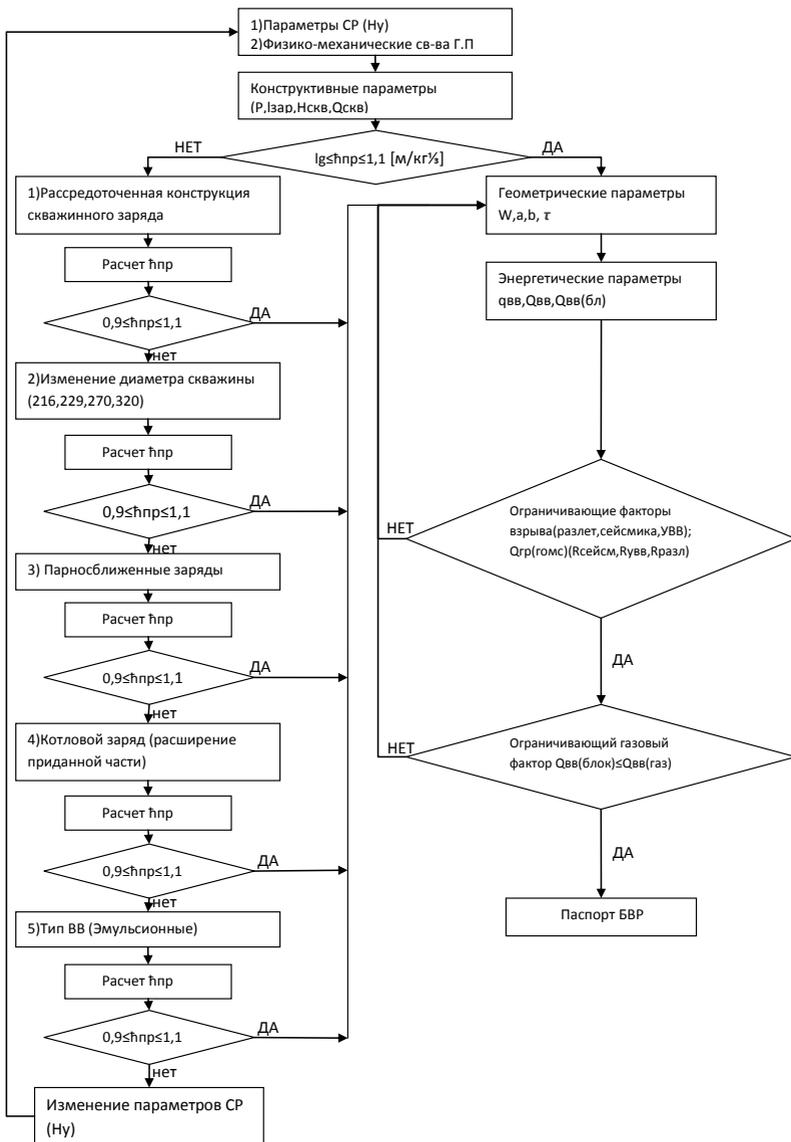


Рисунок 23 – Алгоритм определения параметров БВР с учетом геометрических условий, требований к качеству минерального сырья и виду (ассортименту) товарной продукции и ограничивающих факторов безопасности

*В шестой главе разработаны практические рекомендации по обоснованию технологии и параметров подготовки горных пород к выемке на сложноструктурных месторождениях руды, угля и нерудных строительных материалов с оценкой технико-экономической эффективности предлагаемых технологических решений.*

Разработанные технологические рекомендации внедрены на ряде месторождений рудных, угольных и строительных материалов. Для условий Полоцкого месторождения мрамора была осуществлена экономическая оценка предложенных технологических решений, предусматривающих районирование карьерного поля, однорядное взрывание и механическое дробление гидромолотом и обеспечивающих повышенный выход блочного камня, что позволяет вовлечь в переработку некондиционное сырье с целью производства микрокальцита. Достигнуто повышение полноты освоения запасов до 80% при годовом эффекте 55,3 млн руб.

В условиях Еленинского месторождения на основе предложенной методики районирования выделены участки для добычи блочного камня. Для защиты данных участков обоснованы параметры вертикального демпфера, применение которого позволяет обеспечить одновременную добычу блоков и мраморного щебня. При этом расчетный годовой эффект составил 57,2 млн руб., а рентабельность увеличена до 34%.

Расчетный экономический эффект при реализации предложенных технологических решений по ведению буровзрывных работ в условиях Талдинского угольного разреза составил 268,3 млн руб. за счет регулирования гранулометрического состава, учета текстурно-структурных особенностей и неоднородности массива путем увеличения сетки скважин, снижения удельного расхода ВВ и применения эмульсионных взрывчатых веществ рассредоточенной конструкции скважинного заряда.

Для получения максимального спектра видов и сортов товарной продукции и обеспечения их максимального выхода с заданным гранулометрическим составом горной массы при минимальных потерях и разубоживании при составлении проектной документации на производство массовых взрывов для условий месторождений строительных материалов «Абзаковское», «Гомзовское» и «Кизильское», были успешно реализованы предложенные методики и номограммы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, на основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана совокупность технологических решений по управлению качеством минерального сырья при открытой разработке сложноструктурных месторождений на основе реализации предложенных способов и методов обоснования параметров буровзрывной подготовки горных пород к выемке,

что имеет важное социально-экономическое значение для развития горнодобывающей промышленности России.

**Основные выводы и результаты диссертационного исследования:**

1. В результате анализа отечественной и зарубежной практики буровзрывных работ при разработке месторождений твердых полезных ископаемых установлено, что в настоящее время параметры технологии взрывного дробления горных пород определяются преимущественно условиями удовлетворения технологических требований добычи и переработки полезных ископаемых и не рассматриваются с позиций управления качеством минерального сырья. Расширение ассортимента товарной продукции для обеспечения максимальной прибыли обуславливает необходимость выбора параметров технологии подготовки горных пород к выемке с учетом районирования карьерного поля по текстурно-структурным характеристикам и интегральной энергоёмкости подготовки минерального сырья выделенных участков.

2. Предложена методика районирования природных массивов сложно-структурного месторождения по структурным характеристикам и вещественному составу, типу и сортам товарной продукции, учитывающая на этапе определения технологических параметров процессов подготовки и механического дробления горных пород показатель их качества RQD и трещиноватость. Реализация методики позволила при разработке месторождений декоративного камня Южно-Уральского региона увеличить выход товарной продукции более чем в 2 раза.

3. Доказано, что при достижении оптимальной интегральной энергоёмкости процессов взрывного разрушения массива горных пород и механического дробления извлеченной минеральной массы из районированных участков обеспечивается максимальный выход товарной продукции. Достижение оптимальной интегральной энергоёмкости при разработке месторождений мрамора Еленинской группы привело к повышению выхода товарной продукции на 18%, в том числе увеличение на 12% щебня фракции 40–200 мм.

4. Доказано, что оптимальная интегральная энергоёмкость взрывной подготовки пород к выемке определяется соответствием области приведенной глубины заложения скважинного заряда  $h_{пр} = 0,9-1,1$  м/кг<sup>1/3</sup> независимо от применяемых типов ВВ. Установлена обратная пропорциональная зависимость удельного расхода ВВ от геометрических размеров емкости ковша применяемого выемочно-погрузочного оборудования большой единичной мощности, диаметра и конструкции скважинного заряда. Увеличение емкости ковша экскаваторов типа ЭКГ с 15 до 20 м<sup>3</sup> привело к снижению удельного расхода ВВ на 8%.

5. Разработана методика выбора технологии и обоснования параметров буровзрывной подготовки горных пород сложноструктурных месторождений к выемке, основанная на установленных зависимостях конструктивных параметров скважинных зарядов от требований кондиций, гранулометрического

состава и учитывающая потери и разубоживание полезных ископаемых в зонах структурных нарушений и контактов с вмещающими породами. Методика предусматривает практическое применение предлагаемых номограмм в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Доказано, что на сложноструктурных месторождениях, где стоимость товарной продукции определяется чистотой полезного ископаемого и не допускается разубоживание на контактах с вмещающими породами, управление качеством минерального сырья обеспечивается сочетанием механической подготовки пород гидромолотами в зоне контактов шириной, не превышающей 20 диаметров скважинных зарядов, с технологией однорядного взрывания ВВ с параметрами сетки скважин, равными 30-40 диаметров заряда, чем достигается снижение переизмельчения на каждые 10% за счет увеличения выхода негабарита до 50%.

6. Для управления качеством минерального сырья на этапе подготовки горных пород к выемке обоснована методика расчета энергетических параметров буровзрывных работ, базирующаяся на установленном логарифмическом нормальном законе распределения фракционного состава и позволяющая определить гранулометрический состав взорванной горной массы. Методика апробирована на железорудных и сложноструктурных месторождениях строительных материалов с коэффициентом корреляции 95,7%. Разработаны номограммы для оперативного расчета параметров буровзрывной подготовки горных пород к выемке минерального сырья на сложноструктурных месторождениях, учитывающие конструктивные, геометрические параметры горнотехнической системы, энергетические характеристики скважинного заряда и физико-механические свойства горных пород.

7. Доказано, что определение оптимальных параметров скважинных зарядов, снижающих размеры зоны нерегулируемого дробления в сложноструктурном массиве при открытой геотехнологии, должно основываться на принципе автотельности для расчета критических скоростей смещения массива горных пород, генерируемых взрывом в диапазоне 2-4 и 15-20 м/с при действии растягивающих и сжимающих напряжений соответственно. Установлено, что увеличение выхода взорванной горной массы достигается за счет применения механических расширений скважинных зарядов в средне- и трудновзрываемых горных породах на 15-26 и 10-18% соответственно при применении парносближенных скважин.

8. Разработана комплексная методика оперативного определения параметров буровзрывной подготовки горных пород сложноструктурных месторождений к выемке, позволяющая учесть конструктивные особенности и энергетические характеристики скважинного заряда. Определены и систематизированы масштабные коэффициенты, учитывающие: одновременность наложения прихода возмущений к охраняемому объекту от мгновенно взрывающихся участков массива горных пород в различных разноудаленных блоках

при каскадных взрывах; рельеф в зависимости от его неоднородности и расположения заряда ВВ, что обеспечивает увеличение акустической нагрузки до 2 раз и снижение избыточного давления до 40% в воздухе.

9. Реализация методики выбора технологии и обоснования параметров подготовки горных пород сложноструктурных месторождений к выемке при открытой геотехнологии, оптимизирующей интегральную энергоемкость и приведенную глубину заложения скважинного заряда, позволила обеспечить повышение качества и расширение номенклатуры товарного минерального сырья при комплексном освоении месторождений твердых полезных ископаемых Урала и Сибири с соблюдением требований промышленной и экологической безопасности. Апробация результатов исследований проводилась на месторождениях Челябинской области: строительных материалов – Доломитовое, Известняковое, Кизильское, Абзаковское, Еленинское и Полоцкое; железорудном – Малый Куйбас; угля Кузбасса – Талдинское. Подтвержденный годовой экономический эффект от реализации разработанных в диссертации технологических решений по управлению качеством минерального сырья и расширению спектра товарной продукции при освоении месторождений составил: Талдинское – 268,3 млн. руб., Еленинское – 57,2 млн руб. и Полоцкое – 55,3 млн руб.

**Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих работах:**

*Издания, рекомендуемые ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ*

1. Доможиров, Д.В. Совершенствование технологии взрывных работ для снижения сейсмоакустического эффекта на карьерах ОАО «ММК» / Д.В. Доможиров, И.Е. Зурков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – № 9. – С. 51-53.

2. 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 (научно-технический журнал). – 2004. – № 10. – С. 82-85.

3. Доможиров, Д.В. Оценка затрат энергии на бесполезную (вредную) работу при взрывании одиночных скважинных зарядов дробления / Д.В. Доможиров, И.Е. Зурков, Д.Б. Симаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – № 2. – С. 118-119.

4. Доможиров, Д.В. Пути повышения конкурентоспособности предприятий горнорудной промышленности / Д.В. Доможиров, Д.Б. Симаков, И.Е. Зурков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – С. 2.

5. Современные способы подготовки гранитных блоков к выемке / Г.Д. Першин, С.А. Голяк, Д.В. Доможиров [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1-4. – С. 655-658.

6. 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.

7. Повышение конкурентоспособности и безопасности ведения взрывных работ при применении эмульсионных ВВ на базе мобильных технологических комплексов / Д.В. Доможиров, Д.Б. Симаков, И.И. Носов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S36. – С. 43-51.

8. Доможиров, Д. В. Обеспечение безопасности буровзрывных работ при взрывании парносближенных скважин высоких уступов на карьерах / Н.В. Угольников, Д.В. Доможиров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 332-343.

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

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

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

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

13. Метод одностадийной проходки восстающего при одновременном формировании отрезного компенсационного пространства / А.М. Мажитов, И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, Е.В. Боровиков, И.Н. Струков // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 5(67). – С. 46-51.

14. Обоснование ударно-воздушной волновой безопасности промышленных взрывов больших блоков в каскадах / Д.В. Доможиров, В.Х. Пергамент, А.А. Полинов, И.А. Пыталев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1. – С. 413-426.

15. Доможиров, Д.В. К вопросу повышения эффективности добычи и переработки минерального сырья за счет управления параметрами буровзрывных работ для достижения требований к качеству / Д.В. Доможиров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2023. – Т. 21. – №1. – С. 5-14.

16. Влияние рельефа на ударно-воздушный волновой эффект при взрывных работах в карьере / Д.В. Доможиров, В.Х. Пергамент, А.А. Полинов, И.А. Пыталев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 147-157.

***Научные издания, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования:***

17. Substantiation of Choice of Method of Manufacturing and Delivery of Emulsion Explosives in Modern Conditions of Functioning of Mining Enterprises / D.V. Domozhirov, I.A. Pytalev, I.I. Nosov, V.I. Nosov, I.V. Gaponova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Rusky Island, 04–06 марта 2019 года. Vol. 272, 2. – Rusky Island: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 022178.

18. The Formation of Man-Made Landscape with the Use of Wastes of Mining and Metallurgical Production on the Example of the vostochny Quarry / I.A. Pytalev, D.V. Domozhirov, I.V. Gaponova, A.A. Prokhorov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019; 272(2): 022179.

19. Improving the production technology of drilling and blasting operations by blasting of high ledges / N.V. Ugolnikov, D.V. Domozhirov, N.G. Karaulov, A.A. Prochorov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020; 966(1): 012022.

20. Application of hydrohammers of heavy class in the development of marble deposits in mining operations / I.A. Pytalev, D.V. Domozhirov, N.V. Ugolnikov, A.A. Prochorov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020; 966(1): 012020.

***Монографии и учебные пособия:***

21. Основы открытой геотехнологии разработки месторождений белого мрамора: монография / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, А.А. Прохоров, Е.Е. Швабенланд – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носов, 2023. – 145 с.

22. Развитие геотехнологии подготовки горных пород к выемке при использовании эмульсионных взрывчатых веществ / Д.В. Доможиров, И.А. Пыталев, С.Е. Гавришев, Н.В. Угольников. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. – 135 с.

23. Угольников, Н.В. Технология и безопасность взрывных работ. Часть 2 [Электронный ресурс] / Н.В. Угольников, Д.В. Доможиров. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019.

24. Доможиров, Д.В. Проектирование и планирование открытых горных работ с применением современных программных средств [Электронный

ресурс] / Д.В. Доможиров, И.А. Пыталев. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018.

25. Доможиров, Д.В. Технология разработки угольных месторождений [Электронный ресурс] / Д.В. Доможиров, И.А. Пыталев. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018.

26. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Вскрытие и системы разработки месторождений [Электронный ресурс] / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Караулов, Д.В. Доможиров. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016.

27. Пыталев, И.А. Тенденции развития техники и технологии добычи и переработки белого мрамора [Электронный ресурс] / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023.

28. Особенности геотехнологии буровзрывной подготовки горных пород к выемке высокими уступами на угольных разрезах [Электронный ресурс] / Д.В. Доможиров, И.А. Пыталев, К.И. Струков, В.В. Якшина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023.

#### ***Патенты РФ и охранные документы:***

29. Патент № 2790308 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/26, E01C 23/088 . Способ открытой разработки месторождения полезных ископаемых с применением фрезерных комбайнов / И.А. Пыталев, В.В. Якшина, А.М. Мажитов, Е.Е. Швабенланд, Д.В. Доможиров, А.Б. Аллабердин, А.С. Валеев, К.В. Важдаев // №2022100316; заявл. 11.01.2022 опубл. 16.02.2023.

30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 202366752. Программа расчета потерь и разубоживания полезного ископаемого на открытых горных работах / И.А. Пыталев, А.К. Артюшин, В.В. Якшина, Е.А. Романько, Д.В. Доможиров, А.Г. Рыльников, Е.Е. Швабенланд, А.А. Козловский, А.Г. Шадронов; правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ». Опубл. 01.09.2023.

#### ***Прочие издания:***

31. Доможиров, Д.В. Оценка эффективности проектов аутсорсинга процесса подготовки горных пород к выемке при использовании эмульсионных ВВ на карьерах / Д.В. Доможиров, Д.Б. Симаков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. науч. тр. – 2012. – Т. 1, № 70. – С. 58-59.

32. Угольников, Н.В. Анализ техники и технологии производства буровзрывных работ при применении эмульсионных ВВ на карьерах Южно-Уральского региона / Н.В. Угольников, Д.В. Доможиров, А.В. Генкель // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. науч. тр. – 2012. – Т. 1, № 70. – С. 67-70.

33. Обоснование подхода к повышению полноты освоения запасов мрамора при совершенствовании технологии его добычи и переработки / Д.В.

Доможиров, А. А. Прохоров, И. А. Пыталев, И. В. Гапонова // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сборник научных трудов по материалам II международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 17–19 февраля 2015 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – С. 105-108.

34. Аутсорсинг процесса подготовки горных пород к выемке на карьерах 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: сборник научных трудов / под ред. Г.Д. Першина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – С. 86-90.

35. Взрывной и альтернативные способы подготовки на карьерах блочного камня / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, И.И. Носов, В.И. Носов // Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-производственного семинара по взрывным работам, Екатеринбург, 18–19 октября 2016 года / отв. ред. Г.П. Берсенёв. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2017. – С. 112-119.

36. Доможиров, Д.В. Анализ способов подготовки блочного камня на карьерах Уральского региона / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, А.А. Прохоров // Добыча, обработка и применение природного камня: сборник научных трудов Международной технической конференции / под ред. Г.Д. Першина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. – С. 46-57.

37. Обоснование рационального способа подготовки горных пород к выемке при добыче блочного камня / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, В.А. Фомин, А.А. Прохоров // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: сборник статей по результатам Международной конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – С. 84-93.

38. Угольников, Н.В. Обоснование рациональных параметров расположения парносближенных скважин на карьерах нерудных строительных материалов / Н.В. Угольников, Д.В. Доможиров // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: сборник статей по результатам Международной конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – С. 361-369.

39. Комплексное освоение месторождений мрамора с применением карьерного комбайна wirtgen / И.А. Пыталев, Н.Г. Караулов, Д.В. Доможиров, А.А. Прохоров // Актуальные проблемы горного дела. – 2020. – № 1. – С. 26-30.

40. Пыталев, И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии добычи мрамора высокой степени белизны как ответ на вызовы рынка / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, А.А. Прохоров // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. С. 54-55.

41. Возможности комплексного освоения месторождений мрамора / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, О.А. Долгушева, А.М. Утарбеков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы 80-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 18–22 апреля 2022 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2022. – Т. 1. – С. 12.

42. Проектирование буровзрывных работ, обеспечивающих максимальный объем товарной продукции на карьерах строительных материалов / Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, Л.А. Гребенкин, С.В. Фурцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы 80-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 18–22 апреля 2022 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. – Т. 1. – С. 9.

43. Обеспечение высокого качества взрывной подготовки пород к выемке при открытом способе добычи в сложных горно-геологических условиях и существенном росте масштабов работ / Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, Д.Б. Симаков, А.А. Прохоров // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. – С. 87-88.

44. Пыталев, И.А. Требования к качеству минерального сырья и процесса разрушения природных и техногенных сложноструктурных массивов при БВР, определяющих эффективность их дальнейшей переработки / И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров // 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. 43-45.

45. Доможиров, Д.В. Управление качеством минерального сырья путем обоснования технологии и параметров подготовки к выемке пород природных и техногенных массивов при открытой геотехнологии / Д.В. Доможиров, Н. В. Угольников // 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. 124-126.

46. Доможиров, Д.В. Оценка сейсмического воздействия при производстве взрывных работ на прилегающие к карьери АО «Михеевский ГОК» техногенные образования / Д.В. Доможиров, А.А. Сизиков // 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. 162-164.