

На правах рукописи



Башков Владимир Иванович

**Обоснование параметров систем разработки
слепых рудных тел на удароопасных
железорудных месторождениях Горной Шории**

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор
Еременко Андрей Андреевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», кафедра «Горных машин и комплексов», профессор

Официальные оппоненты:

Анушенков Александр Николаевич доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра «Подземная разработка месторождений им. Н. Х. Загирова», зав. кафедрой (г. Красноярск)
Мустафин Вадим Игоревич кандидат технических наук федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра «Геология освоения недр», доцент (г. Москва)

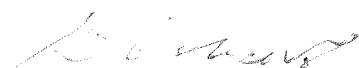
Ведущая организация — федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова»

Защита диссертации состоится 20.04.2018 г. в 11⁰⁰ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.102.02 в федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» и на сайте:
<http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2017/zlo/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан ____ февраля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

 В. В. Иванов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для реализации программных задач "Стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 года" на горнорудных предприятиях АО "Евразруда" планируется увеличение мощности по добыче железной руды с вовлечением в отработку слепых рудных тел на больших глубинах, характеризующихся сложными горно-геологическими и геодинамическими условиями.

Железорудные месторождения Горной Шории (Шерегешевское, Таштагольское и др.) отнесены к опасным по горным ударам. При этом основной объем запасов месторождений отрабатывается системами этажного принудительного обрушения, этажно-камерной с закладкой выработанного пространства и др. При системах разработки с массовым обрушением руд и горных пород к наиболее существенным технологическим процессам, влияющим на состояние массива, относятся резкое увеличение объема выработанного пространства, производство мощных взрывов и т.п. Массовые взрывы с зарядами ВВ 100 т и более часто вызывают горные удары. Кроме того, остается высокое разубоживание руды, хотя подготовка и отработка 3-4 блоков обеспечивает годовую производительность рудника. В то же время применение систем разработки слепых рудных тел с понижением горных работ зачастую приводит к толчкам различной интенсивности с обрушением горных пород из кровли и бортов в районе выработанного пространства и, как следствие, к снижению эффективности горных работ.

Ввиду того, что доля разведанных запасов руды, расположенных в слепых рудных телах Шерегешевского и Таштагольского месторождений, возросла до 60-80 %, возникла необходимость их выемки с обеспечением устойчивости кровли выработанного пространства, снижения объема подготовительно-нарезных работ, потерь и разубоживания руды в условиях напряженно-деформированного состояния вмещающего массива в начальный и переходный периоды отработки рудных тел с понижением горных работ. Это обусловило актуальность научно-практической задачи исследований.

Работа выполнена в рамках тем научных исследований «Оценка состояния массива пород на действующих горизонтах Шерегешевского месторождения с целью мониторинга текущей геодинамической ситуации в период внедрения системы с торцевым выпуском руды» и «Разработка методики определения параметров БВР при веерной отбойке с учетом трещинной тектоники и напряжений в массиве пород на Шерегешевском месторождении» в соответствии с совместными планами НИР Кузбасского государственного технического университета и ИГД СО РАН на 2014–2017 гг. и государственного задания Минобрнауки России № 16.515.11.50854.

Цель работы — обоснование параметров геотехнологии разработки слепых рудных тел при переходе от камерной системы к подэтажному обрушению на удароопасных железорудных месторождениях, обеспечивающей снижение объема подготовительно-нарезных работ, потерь и разубоживания руды с обеспечением безопасных условий ведения очистных работ.

Основная идея работы состоит в использовании камер, междукamerных целиков и слоев, расположенных со смещением относительно друг друга вкрест и по простиранию слепого рудного тела, геомеханической оценки состояния горных пород для выбора параметров геотехнологии разработки месторождений в удароопасных условиях.

Задачи исследований:

— теоретически и экспериментально оценить геомеханическое состояние массива горных пород в слепом рудном теле при камерной системе разработки и системе подэтажного обрушения с увеличением глубины очистных работ;

— обосновать размеры камер и междукamerных целиков при их смещении относительно друг друга вкрест и по простиранию слепого рудного тела, объемы подготовительно-нарезных работ, потерь и разубоживания руды при камерной системе разработки;

— исследовать влияние взаимного расположения веерообразных скважин на качество дробления руды;

— обосновать параметры геотехнологии при нисходящей системе отработки слепого рудного тела в условиях перехода от камерной системы разработки к системе подэтажного обрушения в удароопасных условиях.

Методы исследований включают научное обобщение отечественного и зарубежного опыта разработки рудных месторождений, склонных и опасных по горным ударам, математическое моделирование, экспериментальные исследования в производственных условиях, статистическую обработку и технико-экономический анализ результатов исследований.

Объект исследования — Шерегешское и Таштагольское удароопасное железорудное месторождение Горной Шории..

Предмет исследования — параметры системы разработки слепых рудных тел.

Научные положения, защищаемые автором:

— в слепом рудном теле при камерной системе разработки с выемкой камер и междукamerных целиков, расположенных со смещением относительно друг друга вкрест простирания и по простиранию рудного тела от фланга к флангу и переходом на систему подэтажного обрушения с увеличением глубины горных работ от 445 до 1000 м, горизонтальные напряжения на каждые 200 м увеличиваются по прямолинейным зависимостям от -5 (-15) МПа вкрест простирания до -15 (-20) МПа по простиранию рудного тела;

— при камерной системе разработки смещение камер и междукammerных целиков с размерами в поперечном сечении 20×20 м вкрест и по простиранию слепого рудного тела на удароопасном месторождении обеспечивает повышение устойчивости кровли выработанного пространства на начальной стадии выпуска руды и снижение объема подготовительно-нарезных работ в 1,5-1,7 раза;

— при взрывании скважинных зарядов ВВ с меньшими углами раскрытия взрывной воронки с опережением по отношению к зарядам ВВ с большими углами раскрытия взрывной воронки по каждому ряду скважин в зависимости от крепости и трещиноватости горных пород, количества рядов, взаимного расположения скважин, линии наименьшего сопротивления и размера кусков горной породы достигается снижение удельного расхода ВВ на вторичное дробление руды в 3 раза;

— реализация геотехнологии с нисходящей отработкой слепого рудного тела в условиях перехода от камерной системы разработки к системе подэтажного обрушения с одностадийной отбойкой и площадным выпуском руды обеспечивается разбивкой рудных запасов на блоки высотой 45 м, длиной 40 м и шириной 20 м с образованием отрезной щели шириной 2 м на границе простирания рудного тела, что позволяет снизить потери и разубоживание руды соответственно в 1,1-1,2 и 1,4-1,7 раза.

Научная новизна работы заключается:

— в установлении линейных зависимостей распределения напряжений в массиве горных пород при отработке рудного тела камерной системой разработки и системой подэтажного обрушения с увеличением глубины очистных работ в удароопасных условиях;

— в установлении длины и ширины камер и междукammerных целиков с их смещением относительно друг друга вкрест и по простиранию слепого рудного тела на различных глубинах, объема подготовительно-нарезных работ, потерь и разубоживания руды в зависимости от физико-механических свойств и трещиноватости горных пород, устойчивости обнажений и глубины горных работ;

— в выявлении эффективности действия взаимного расположения веерообразных скважинных зарядов ВВ со взрыванием зарядов ВВ с меньшими углами раскрытия взрывной воронки с опережением по отношению к зарядам ВВ с большими углами раскрытия воронки по каждому ряду скважин в сравнении с однорядным расположением веерных скважин в зависимости от линии наименьшего сопротивления, физико-механических свойств горных пород, удельного расхода ВВ и размера кусков горной породы;

— в обосновании параметров геотехнологии при нисходящей отработке слепого рудного тела в условиях перехода от камерной системы разработки

к системе подэтажного обрушения с разбивкой рудных запасов на блоки и образованием отрезной щели на границе простираения рудного тела;

— в установлении гиперболических зависимостей между объемом горной массы, потерями и разубоживанием руды на начальной стадии выемки горной массы;

Достоверность научных результатов подтверждается теоретическими расчетами и достаточным объемом экспериментальных исследований, их сопоставимостью, количеством хронометражных наблюдений на выпуске руды, положительными результатами промышленного внедрения геотехнологии на Горно-Шорском филиале АО "Евразруда".

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, формулировании основной идеи, сборе и обработке хронометражных наблюдений на выпуске руды, обосновании параметров геотехнологии в условиях перехода от систем разработки камерной со смещением относительно друг друга вкрест и по простираению камер и междукammerных целиков к системе подэтажного обрушения со сплошной выемкой руды, установлении закономерностей перераспределения напряжений и толчков при отработке слепого рудного тела, а также в технико-экономической оценке вариантов систем разработки.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в обосновании и внедрении комплекса рациональных параметров геотехнологии разработки слепого рудного тела и буровзрывных работ в удароопасных условиях, применении оригинального расположения и порядка отработки определенных камер и междукammerных целиков с переходом на подэтажное обрушение, позволяющих поддерживать образованный контур свода выработанного пространства при выемке руды, снизить объем подготовительно-нарезных работ, потери и разубоживание руды, повысить безопасность ведения горных работ.

Практическая ценность работы заключается в применении последовательно в удароопасных условиях рациональных вариантов систем разработки слепого рудного тела, позволяющих обеспечить безопасность и повысить эффективность горных работ.

Реализация результатов работы. Результаты исследований и разработанных рекомендаций использованы при проектировании и промышленных испытаниях в Горно-Шорском филиале АО «Евразруда», в проектном Институте ОАО "Уралмеханобр", разработке «Методического руководства по креплению горных выработок и наблюдению за состоянием крепи на рудниках ОАО «Евразруда» (2013 г.), «Указаний по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных и опасных по горным ударам» (2015 г.).

Экономический эффект от внедрения результатов исследований составляет 24,9 млн рублей в год/1000 т.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: XX всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли» (Новосибирск, 2013); Всероссийской научной конференции «Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности», посвященной 70-летию ИГД СО РАН (Новосибирск, 2014); Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2015, 2016); III Всероссийском семинаре-совещании «Триггерные эффекты в геосистемах» (Москва, 2015); Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы в горном деле и методы моделирования горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых» (Кемерово, 2015); Всероссийской конференции «Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности» (Новосибирск, 2016); научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2013-2017); 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction (Zhoushan, China, 2017).

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 19 печатных работах, в том числе в 9 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ по специальности 25.00.22 — «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)», и патенте РФ на способ взрывной отбойки горных пород № 2584167 от 20.05.2016 г.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из 5 глав, введения и заключения, изложенных на 141 странице машинописного текста, содержит 72 рисунка, 53 таблицы, список литературы из 101 наименования, список иллюстративного материала и 6 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе выполнен анализ геологических, горнотехнических и геомеханических условий отработки удароопасных железорудных месторождений Горной Шории. Проведен обзор и анализ работ, посвященных современному состоянию ведения горных работ в неравномерно напряженных массивах горных пород, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

В Горной Шории разрабатываются крупные железорудные месторождения Кондомской группы, к ним относится Шерегешевское, где располагается Юго-Западное рудное тело на участке Новый Шерегеш. Участок опущен и смещен по сравнению с другими на 200-300 м (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения восточной и западной слепых рудных залежей на участке Новый Шерегеш.

Боковые породы восточной и западной залежей представлены мраморизованными известняками, с висячего бока ограничены скарнами. Рудные запасы составляют более 7 млн т. Месторождение осваивается в районах крупных тектонических блоков и разломов. Особенностью региона является высокий уровень сейсмической активности, обусловленный ростом уровня напряжений в массиве горных пород с глубиной горных работ.

Значительный вклад в развитие технологических решений с оценкой геомеханических условий геотехнологии освоения рудных месторождений, склонных и опасных по горным ударам, внесли: А. Н. Анушенков, В. Э. Асминг, В. А. Атрушкевич, И. И. Бессонов, В. Н. Влох, П. В. Егоров, А. А. Еременко, В. А. Еременко, В. Н. Захаров, В. В. Иванов, М. А. Иофис, Д. Р. Каплунов, А. А. Козырев, С. В. Кузнецов, М. В. Курленя, А. И. Копытов, В. И. Мустафин, В. В. Набатов, В. Н. Одинцов, В. Н. Опарин, А. Г. Протосеня, И. Ю. Рассказов, А. А. Ренев, М. В. Рыльникова, А. Н. Шабаров, Д. В. Яковлев и др. Однако при широком применении различных методов диагностики горных пород и математического моделирования геомеханических процессов, а также прогноза и предупреждения геодинамических явлений, недостаточно исследованы особенности геотехнологии отработки слепых рудных тел, включающие разработку рациональных параметров разных систем разработки и буровзрывных работ с увеличением глубины горных работ. Опыт отработки

новых участков, слепых рудных тел в удароопасных условиях показывает, что достигнут ряд положительных результатов по применению систем этажного принудительного обрушения, этажно-камерной с закладкой выработанного пространства, подэтажного обрушения и др., но обоснование при отработке слепых рудных тел в начальный период выемки руды разных систем разработки с корректировкой их параметров, обеспечивающих снижение объема подготовительно-нарезных работ, потерь и разубоживания руды с достижением безопасности очистных работ, выполнено и изучено недостаточно. Анализ состояния проблемы позволили сформулировать цель и задачи исследований.

Во второй главе проведена теоретическая и экспериментальная оценка геомеханического состояния массива горных пород в слепом рудном теле при камерной системе разработки и подэтажного обрушения с понижением горных работ.

Оценка геомеханического состояния массива горных пород в слепого Юго-Западного рудного тела при камерной системе разработки и подэтажного обрушения проводилась методами граничных интегральных уравнений, предложенных в ИГД СО РАН (Л. Н. Гаховой), щелевой разгрузки, электрометрии и с помощью сейсмостанции «Шерегеш».

Рассмотрено два варианта выемки камер и целиков: первый вариант — в направлении по концентрическим окружностям, второй предполагает отработку в первую очередь вкрест простирания слепого рудного тела, во вторую — по простиранию от фланга к флангу (рис. 2).

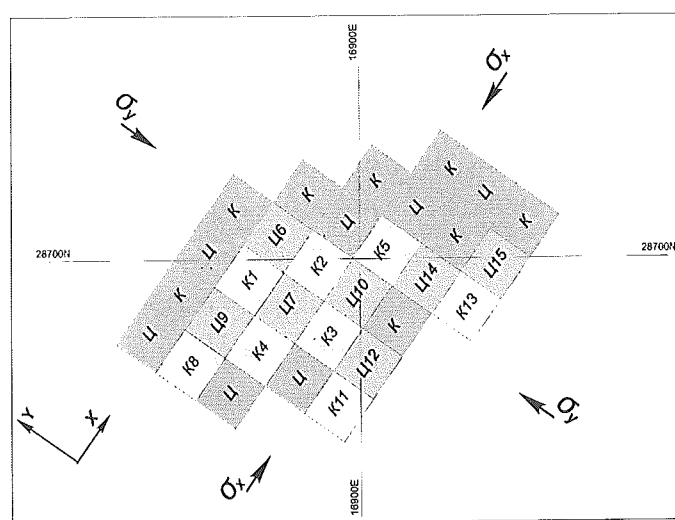


Рис. 2. Расположение камер (К) и целиков (Ц).

Установлены линейные зависимости распределения напряжений в массиве горных пород при отработке рудного тела камерной системой разработки и подэтажного обрушения с увеличением глубины очистных работ от 445 до 1000 м.

Выявлено, что отработка камер и целиков по концентрическим окружностям вокруг стартового целика приводит к образованию в массиве между камерами области концентрации высоких напряжений, охватывающей почти

весь целик (рис. 3). Отработка камер и междукamerных целиков в первую очередь вкрест простирания рудного тела, во вторую — по простиранию от фланга к флангу рудного тела способствует разгрузке бортов камер от напряжений σ_x (до $-5 \div -10$ МПа) (рис. 4).

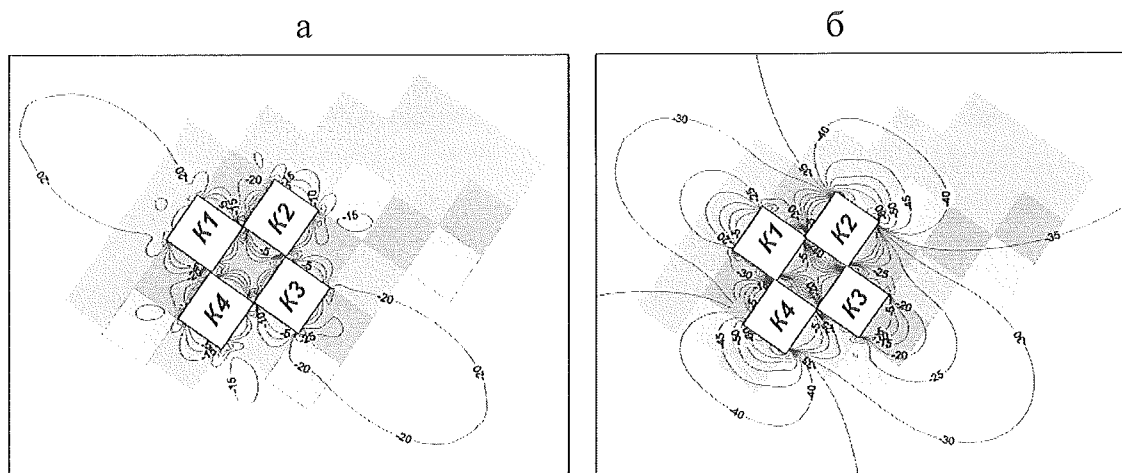


Рис. 3. Напряжения σ_x (а) и σ_y (б) в локальной системе координат при отработке камер K1, K2, K3, K4 по концентрическим окружностям.

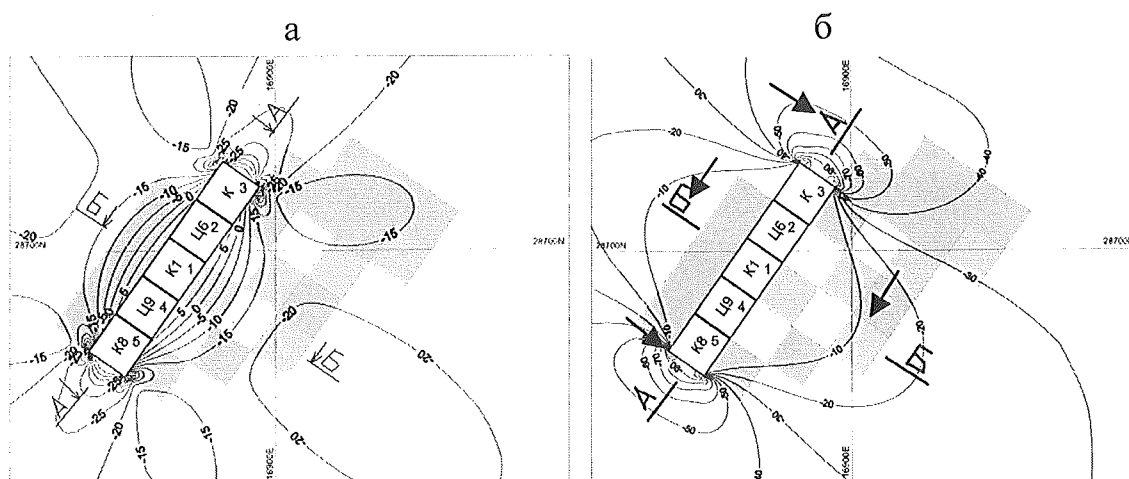


Рис. 4. Напряжения горизонтальные σ_y (а) и вертикальные σ_z (б) в массиве горных пород при выемке камер (К) и целиков (Ц) вкрест простирания слепого рудного тела. А-А и Б-Б — сечения.

На глубине 445 м с учетом коэффициентов структурного ослабления критическая величина равна 5 МПа; напряжения по направлению вкрест простирания рудного тела (σ_x) и по простиранию (σ_y) на глубинах 445-1000 м изменяются соответственно от $-18,5$ до $-41,3$ МПа и от $-34,3$ до $-76,7$ МПа.

Установлено, что при изменении глубины очистных работ от 445 до 1000 м напряжения σ_x и σ_y увеличиваются на каждые 200 м глубины соответственно от -5 до -10 и от -10 до -15 МПа (рис. 5).

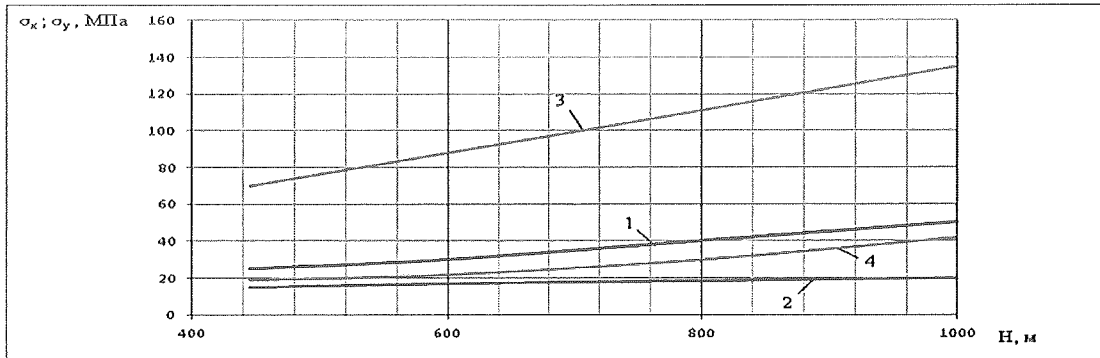


Рис. 5. Изменение σ_x и σ_y в сечениях А-А и Б-Б с увеличением глубины очистных работ (H) при отработке камер и целиков: 1 – σ_x по А-А; 2 – σ_x по Б-Б; 3 – σ_y по А-А; 4 – σ_y по Б-Б.

Последующий переход очистных работ с применением системы разработки подэтажного обрушения с выемкой руды слоями от фланга к флангу с отбойкой вкрест простирания слепого рудного тела на различных глубинах способствовал изменению напряжений σ_x и σ_y соответственно от $-5(-15)$ до $-20(-25)$ МПа и от $-10(-20)$ до $-25(-30)$ МПа и более (рис. 6, 7).

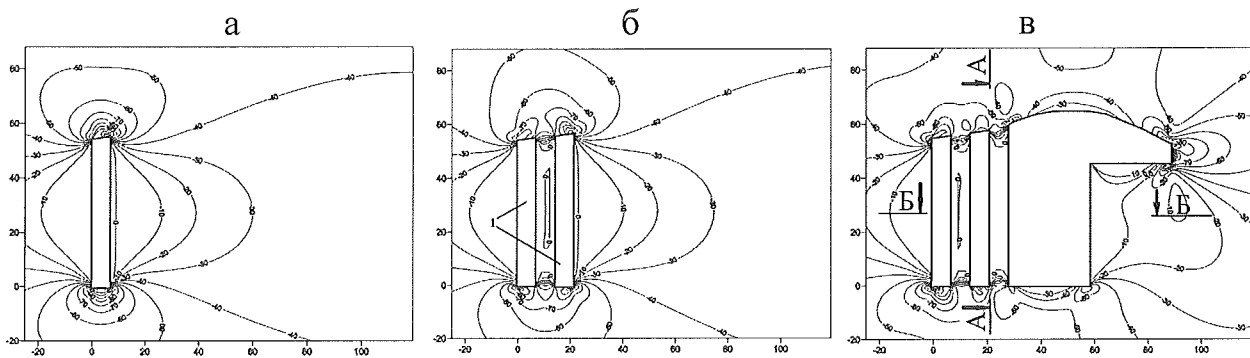


Рис. 6. Напряжения σ_x в процессе развития работ на глубине 1000 м:
1 — слои; А-А и Б-Б — сечения.

С изменением глубины отработки от 445 до 1000 м при системе подэтажного обрушения напряжения σ_x и σ_y на каждые 200 м глубины возрастают соответственно от $-10(-15)$ и до $-15(-20)$ МПа.

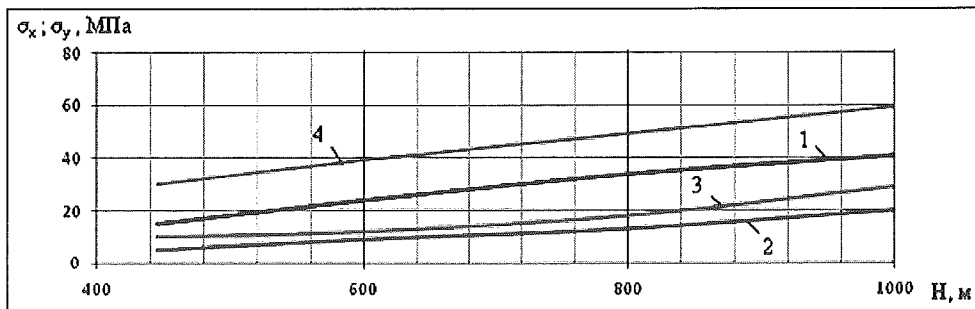


Рис. 7. Изменение σ_x и σ_y при отработке третьего слоя (в) с увеличением глубины горных работ (H): 1 – σ_x по А-А (в); 2 – σ_x по Б-Б (в); 3 – σ_y по А-А (а); 4 – σ_y по Б-Б (а).

В этих определенных зонах с использованием щелевой разгрузки проведены натурные измерения в выработках на гор. +185 м (глубина 450 м) по магнетитовой руде и скарным, которые показали, что величины вертикальных напряжений колеблются от $-12,8$ до $-21,6$ МПа и горизонтальных от $-25,5$ до $-32,5$ МПа, а также исследование НДС массива методом электрометрии установлено, что массив горных пород соответствует категории "НЕОПАСНО", электрометрический коэффициент менее 1. На возникновение толчков с энергетическим классом 1-3,9 и более основное влияние оказывали взрывные работы, при этом в выработках наблюдалось заколообразование горных пород.

В третьей главе приведены результаты исследований по обоснованию размеров камер и междукammerных целиков при их смещении относительно друг друга вкрест и по простиранию слепого рудного тела.

Отработка запасов в слепых рудных телах на удароопасных Таштагольском и Шерегешевском месторождениях осуществляется в основном системами разработки этажного принудительного обрушения и этажно-камерной. Опыт разработки месторождений показал, что при применении этих систем разработки на геомеханическое состояние массива горных пород и показатели добычи руды оказывают влияние объемы выработанных пространств, масштабы очистных работ, очередность ввода в эксплуатацию блоков и взрывные работы, при этом максимальный энергетический класс геодинамических явлений остается высоким. Анализ показал, что на мощность толчков оказывает влияние интенсивность (скорость) ввода в эксплуатацию блоков. При интенсивности, равной $0,25-0,32$ м/сут ($V = \sum R_{np} / \sum \Delta t$, где $\sum R_{np}$ — суммарный приведенный радиус выработанного пространства, м; $\sum \Delta t$ — суммарное время между очередными массовыми взрывами, сут), суммарный энергетический класс события минимальный и колеблется от 1,0 до 2,5 (рис. 8).

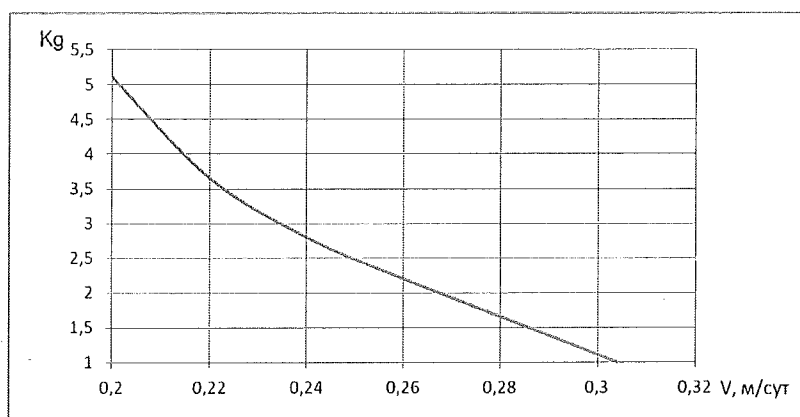


Рис. 8. Изменение суммарного энергетического класса толчков (Kg) при изменении интенсивности ввода в эксплуатацию блоков (V).

Кроме того, потери и разубоживание руды составляют соответственно 10-11 и 29-30% и более. Опыт применения камерной системы и подэтажного обрушения на участке Подрусловый показал, что достигнуты определенные результаты в части снижения интенсивности геодинамических явлений и улучшения производственных показателей. В связи с этим для отработки слепого рудного тела участка Новый Шерегеш предложена камерная система разработки со смещением относительно друг друга камер и междукamerных целиков, т.к. выполненные исследования и расчеты показали, что выемка камер и целиков способствует разгрузке горных пород.

Для условий Шерегешевского месторождения обоснованы параметры камерной системы разработки со смещением относительно друг друга камер и междукamerных целиков вкрест и по простиранию Юго-Западного слепого рудного тела выше гор. +255 м, которые включают определение допустимых размеров длины, ширины и высоты камер и междукamerных целиков, а также рудных целиков в днище блоков и отрезных щелей в камерах; объемов подготовительно-нарезных работ, потерь и разубоживания руды, величин зон обрушения вмещающих пород при выпуске горной массы с учетом физико-механических свойств и трещиноватости горных пород, устойчивости обнажений, запаса прочности рудных целиков, глубины горных работ, разрыхления пород и др. (рис. 9).

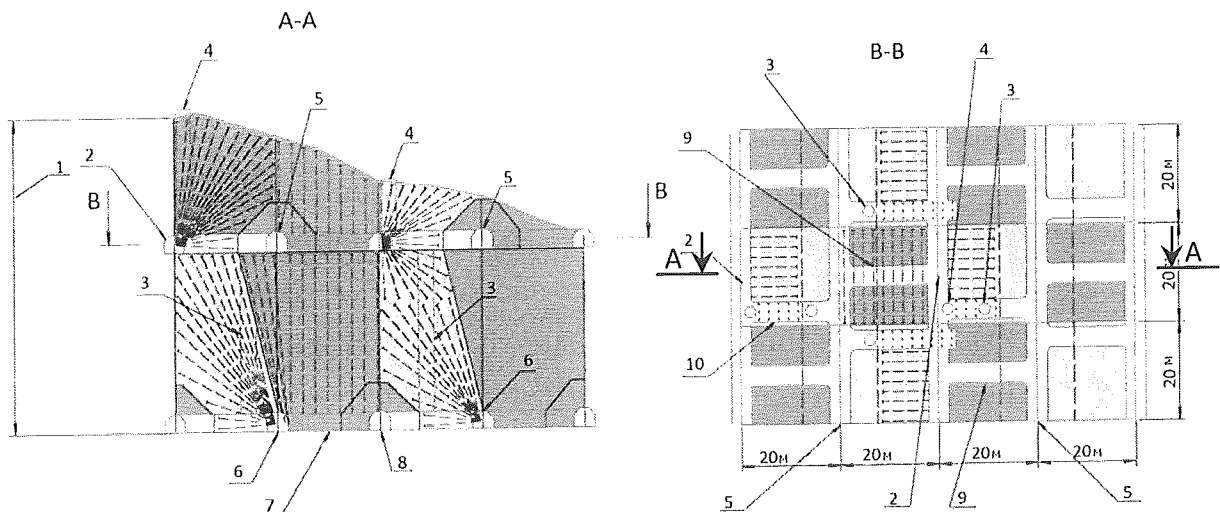


Рис. 9. Расположение камер и целиков в слепом рудном теле; 1 – средняя мощность рудного тела, м; 2 – подэтажный буровой штрек; 3 – отрезной восстающий нижнего подэтажа камеры; 4 – отрезной восстающий верхнего подэтажа камеры; 5 – подэтажный транспортный штрек; 6 – буровой штрек камеры; 7 – буровой орт целика; 8 – транспортный штрек; 9 – подэтажный буровой орт целика; 10 – подэтажный погрузочный заезд в камеру.

В табл. 1 приведены параметры камер и временных рудных целиков при коэффициенте запаса прочности, равном 1,45.

Таблица 1. Параметры камер и временных междукamerных целиков

Наименование	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина камеры, м	20	13	17	19	21	10	12	13	15
Ширина целика, м	20	25	25	25	25	20	20	20	20
Длина целика, м	20	60	40	35	30	55	40	35	30
Нагрузка на целик, тыс. т	1922,4	5478,84	4037,04	3700,62	3316,14	3964,95	3075,84	2775,465	2523,15
Несущая способность целика, тыс. т	2790,4	8022,4	5929,6	5406,4	4883,2	5720,32	4464,64	4046,08	3627,52
Коэффициент запаса, доли ед.	1,45	1,46	1,47	1,46	1,47	1,44	1,45	1,46	1,44

Мощность рудных тел участка достигает по горизонтали в среднем 60-80 м, по вертикали — 35 м. Отработка запасов руды в данных условиях осуществляется с разбивкой рудного тела вкрест простирания на несколько выемочных единиц (блоков). Наиболее рациональными параметрами являются указанные в столбцах 1 и 9, однако при полученных величинах в столбце 9 требуется оставление ограждающих целиков и потолочин, что не технологично с точки зрения проведения здесь выработок, удобства бурения скважин, ведения взрывных работ и выпуска руды.

Определены высота и ширина рудных целиков в днище блоков, которые составляют 11 и 19 м. При высоте камер и междукamerных целиков соответственно 35, 20 и 20 м, удельный объем подготовительно-нарезных выработок составляет 9,6-14,5 м³/1000 т.

Выявлено, что на стадии развития горных работ при подработке вмещающих пород с размерами 60×60 м образуется высота свода обрушения 67 м в течение 3 месяцев. Для глубины очистных работ до 1000 м ширина и длина целиков изменяется от 20 до 40 м, а при уменьшении длины камер от 35 до 20 м ширина камер увеличивается незначительно от 20 до 24 м (рис. 10). Также определены параметры рудных целиков в днище блоков.

Предложенный вариант геотехнологии позволяет снизить напряжения по направлению вкрест и по простиранию рудного тела за счет смещения целиков относительно друг друга и порядка выемки рудных запасов с распределением толчков в основном вне зоны очистных работ; совместить работы по ведению подготовительных работ и добыче руды, при этом объем подготовительно-нарезных работ составляет 9,6-14,5 м³/1000 т; потери снижаются до 9,4-9,9 % и разубоживание — 16,5-18,6 % с повышением устойчивости контура свода выработанного пространства.

Эффективность обработки также достигается путем выпуска и погрузки руды самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПДМ) типа ST-8, TORO-500C из блоков. Это позволяет увеличить производительность труда на 15-20 %.

Четвертая глава посвящена разработке основных параметров взрывной отбойки горных пород при камерной системе разработки.

Проведены исследования по определению взаимного влияния расположения скважинных зарядов ВВ в один-три ряда на качество дробления горной массы при отработке запасов камер и междукammerных целиков. При однорядном расположении веерных скважин Ø 89 мм объем отбиваемой руды колебался от 368 до 800 м³; средняя глубина скважин 14,3÷16,7 м; количество ВВ 533-1356 кг (рис. 12). Интервалы замедления зарядов ВВ изменялись от 0 до 100 мс.

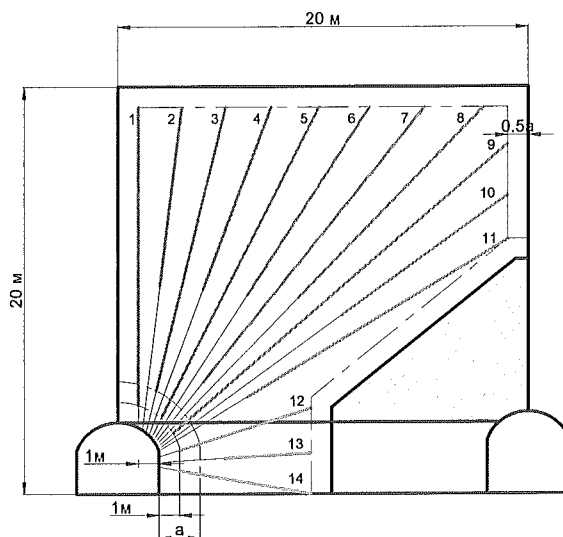


Рис. 12. Схема разбуривания веера для отбойки запасов камер: 1-14 — скважины.

Хронометражные наблюдения на выпуске руды показали, что выход негабаритной горной массы снизился, при этом удельный расход ВВ на вторичное дробление составил 0,015–0,03 кг/т руды. Для достижения более качественного дробления горной массы осуществлен переход на 3-рядную отбойку, причем эффективное использование энергии взрыва достигалось за счет опережающего взрывания зарядов с меньшими углами α раскрытия взрывных воронок по отношению к зарядам этого же ряда с максимально

возможными углами α раскрытия взрывных воронок, например, $\alpha_1 = \pi/6$ рад, $\alpha_2 = 5\pi/11$ рад, $\alpha_3 = \pi$ рад, $\alpha_4 = 2\pi/3$ рад (рис. 13).

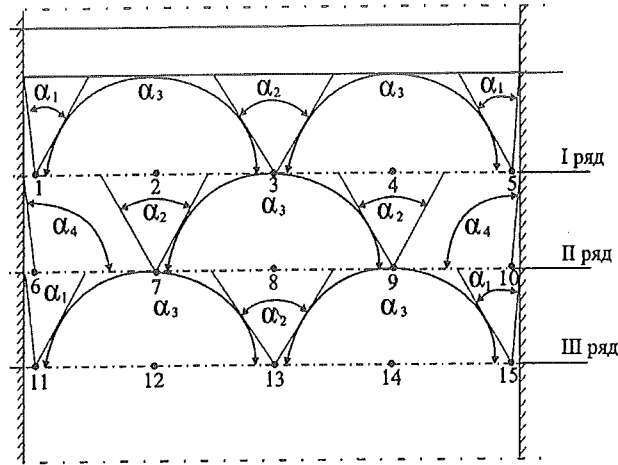


Рис. 13. Схема трехрядного расположения скважин в блоке:
 α — углы раскрытия воронок; 1-15 — скважины.

Определение удельного расхода заряда ВВ для каждой взрывной воронки производилось из соотношения (патент РФ на способ взрывной отбойки горных пород № 2584167 от 20.05.2016):

$$q_g = 10^{-3} \frac{(8,15 - 2,48 \lg \alpha) \gamma^2 K_{ГТУ}}{\lg \alpha (10^3 q_2 + \gamma K_{ГТУ})},$$

где α — угол раскрытия взрывных воронок; γ — плотность горной породы; q_2 — планируемый удельный расход ВВ на вторичное дробление, кг/т; $K_{ГТУ}$ — коэффициент учета горнотехнических условий отбойки блока, рассчитанный $K_{ГТУ} = 0,52 \cdot 10^{-3} K_p K_0 K_{eo} K_{es} K_n f \nu \sqrt{mw} / \sqrt{d_g^3}$, где ν — коэффициент, учитывающий трещиноватость горных пород; f — крепость горных пород по М.М. Протодяконову; K_p — параметр, учитывающий расположение скважин; K_0 — коэффициент, учитывающий условия отбойки; K_{eo} — коэффициент, учитывающий особенности выпуска горных пород из днища блока; K_{es} — коэффициент, учитывающий работоспособность ВВ; K_n — коэффициент, учитывающий влияние статических напряжений по глубине отработки; m — коэффициент сближения зарядов ВВ; w — линия наименьшего сопротивления зарядов ВВ, м; d_g — принимаемый диаметр выемочного куска горной породы, м.

Экспериментальные исследования и опытно-промышленные испытания показали, что в результате расширения сетки расположения скважин снизился объем буровых работ и удельный расход ВВ на вторичное дробление до 0,01-0,015 кг/т.

В пятой главе представлено обоснование параметров геотехнологии в условиях перехода очистных работ от камерной системы разработки к подэтажному обрушению в слепом рудном теле в удароопасных условиях.

Для условий отработки запасов Юго-Западного рудного тела при переходе от камерной системы разработки обоснованы параметры системы подэтажного обрушения ниже гор. +255 м. При данной системе разработки рудные запасы этажа разбиваются на блоки, располагающиеся вкрест простирания рудного тела (рис. 14). Средние параметры блока: высота 45 м, длина 40 м и ширина 20 м.

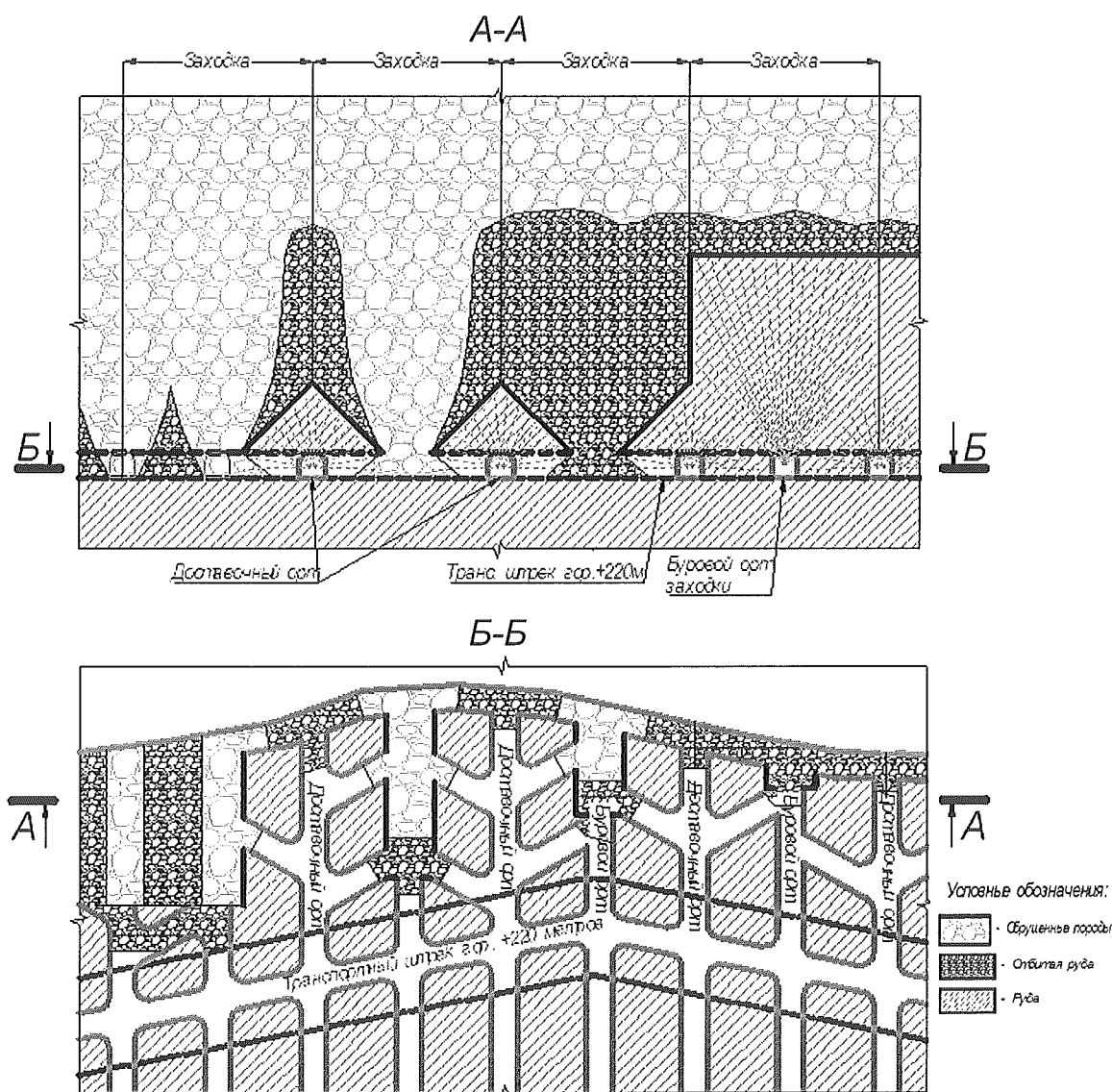


Рис. 14. Вариант системы подэтажного обрушения с одностадийной отбойкой и площадным выпуском руды.

Разбуривание заходок веерами восходящих скважин осуществляется из буровых ортов, пройденных на горизонте. Взрывная отбойка рудных запасов производится секциями, состоящими из 1-3(4) вееров скважин. Выполнен расчет параметров буровзрывных работ, включающий обуривание веерами

скважин при удельном расходе ВВ на отбойку 0,3 кг/т и ЛНС — 1,8-2,0 м. Выпуск отбитой рудной массы ведется с помощью ПДМ через торцевую часть бурового орта, а также диагональные погрузочные заезды. Объем подготовительно-нарезных работ составил 14,5 м³/1000 т.

При отработке рудного тела под выработанным пространством обрушенные налегающие породы из зоны обрушения, образованной при выемке, камерной системой разработки полностью обеспечивают защиту от воздушных ударов.

Определены потери и разубоживание руды при выемке запасов системой подэтажного обрушения, которые характеризуются следующими местами их образования: при оконтуривании рудного тела, в выработанном пространстве под обрушенными породами; на поверхности лежачего бока, от дополнительной прирезки пород лежачего бока и др. Установлено, что предложенный вариант системы разработки позволил достичь потерь 13,2 % и разубоживание — 21,4 %. На отдельных этапах выпуска руды при переходе от камерной системы разработки к подэтажному обрушению потери и разубоживание руды снижались соответственно до 7,5-13 % и 2-12 %.

Дана оценка эффективности подэтажного обрушения и предложенной камерной системы разработки со смещением камер и междукамерных целиков относительно друг друга при выемке на начальной стадии Юго-Западного слепого рудного тела, которая производилась сопоставлением эксплуатационных расходов, прибыли от реализации продукции, срока отработки рудных запасов, чистого дохода, показателей отработки участка системами разработки.

За основные показатели экономической эффективности принимали: объем добычи руды, размеры конструктивных элементов систем разработки, потери и разубоживание руды, отбойку, выпуск и вторичное дробление, повышение производительности труда на выпуске руды в условиях удароопасности.

Установлено, что в начальной стадии выемки рудных запасов в Юго-Западном рудном теле участка Новый Шерегеш амортизационные расходы по обеим системам разработки одинаковы и составляют 69261,06 тыс. руб. Себестоимость добычи руды по камерной системе разработки равна 378,05 руб./т, по подэтажному обрушению — 389,99 руб./т. Чистый годовой доход составил соответственно 2,86 и 2,83 млрд руб., прибыль — 2,88 и 2,85 млрд руб. (табл. 2).

Таблица 2. Основные технико-экономические показатели отработки Юго-Западного участка камерной системой разработки с переходом на систему подэтажного обрушения

Наименование показателя	Ед. изм.	Камерная система разработки	Система разработки подэтажного обрушения с одностадийной отбойкой и площадным выпуском руды
Объем добычи руды в год	тыс. т	758,8	758
Объем добычи руды за весь период отработки	тыс. т	2274,0	2274
Размеры (длина, ширина, высота) камер и целиков	м	20×20, высота равна высоте блока	20×40
Потери	%	9,9	15,8
Разубоживание	%	16,5	23,1
Срок отработки запасов	лет	3	3
Капитальные вложения	тыс. руб.	233284,5	233284,5
Выручка от реализации продукции	тыс. руб.	4460920,1	4457676,1
Средняя цена товарной продукции	руб./т	1962,2	1960,3
Себестоимость добычи руды	руб./т	378,05	389,99
Балансовая прибыль	тыс. руб.	3601472,2	3570344,4
Чистый доход	тыс. руб.	2855676,41	2830774,16
Чистая прибыль	тыс. руб.	2881177,7	2856275,5

Экономический эффект от применения камерной системы разработки с переходом на подэтажное обрушение в Горно-Шорском филиале АО "Евраз-руда" составил 24,9 млн рублей в год/1000 т (в ценах 2016 г.).

Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технологические решения по обоснованию параметров разработки слепых рудных тел на железорудных удароопасных месторождениях, включающие выемку на начальной стадии рудных запасов камерной системой разработки с переходом на подэтажное обрушение, имеющие существенное значение для развития горнорудного комплекса страны.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Дана оценка геомеханического состояния массива горных пород в слепом рудном теле при камерной системе разработки и подэтажного обрушения с понижением очистных работ. Установлено, что при камерной системе разработки выемка камер и междукamerных целиков, расположенных со смещением относительно друг друга вкрест и по простиранию слепого рудного тела и переходом на систему подэтажного обрушения с увеличением глубины горных работ от 445 до 1000 м, напряжения в направлении вкрест и по простиранию рудного тела на каждые 200 м увеличиваются по прямолинейной зависимости соответственно от -5 (-15) до -15 (-20) МПа, при этом возникают толчки энергетического класса от 1 до 3,9.

2. Обоснованы рациональные параметры камерной системы разработки слепых рудных тел на удароопасном месторождении. Установлено, что длина и ширина камер и междукamerных целиков с их смещением относительно друг друга вкрест и по простиранию слепого рудного тела составляют в поперечном сечении 20×20 м, объем подготовительно-нарезных работ $9,6-14,5 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$, потери и разубоживание руды соответственно: $9,4-9,9 \%$ и $16,5-18,6 \%$, в зависимости от физико-механических свойств и трещиноватости горных пород, устойчивости обнажений, глубины горных работ. Выявлено, что с увеличением глубины очистных работ от 445 до 1000 м ширина и длина целиков возрастает в 2 раза. Доказано, что при отработке слепого рудного тела на начальной стадии выемки руды достигается снижение объема подготовительно-нарезных работ в $1,5-1,7$ раза с повышением устойчивости кровли выработанного пространства.

3. Установлено влияние действия взаимного расположения веерообразных зарядов ВВ со взрыванием зарядов ВВ с меньшими углами раскрытия взрывной воронки с опережением по отношению к зарядам ВВ с большими углами раскрытия воронки по каждому ряду скважин в сравнении с однорядным расположением веерных зарядов ВВ в зависимости от линии наименьшего сопротивления, удельного расхода ВВ, физико-механических свойств и размера кусков горной породы. Все это позволило снизить удельный расход ВВ на вторичное дробление руды в 3 раза.

4. Обоснованы параметры геотехнологии при нисходящей отработке слепого рудного тела в условиях перехода от камерной системы разработки к системе подэтажного обрушения с одностадийной отбойкой и площадным выпуском руды с разбивкой рудных запасов на блоки высотой 45 м, длиной 40 м и шириной 20 м и образованием отрезной щели шириной 2 м на границе простирания рудного тела. Предложенная геотехнология позволяет снизить потери и разубоживание руды соответственно в $1,1-1,2$ и $1,4-1,7$ раза.

5. Установлены зависимости между объемом горной массы, потерями и разубоживанием руды от удельного расхода ВВ на вторичное дробление при отработке рудных запасов камер и междукammerных целиков.

6. Оценка эффективности при переходе от камерной системы разработки к подэтажному обрушению показала, что эксплуатационные затраты по варианту со смещением камер и целиков ниже на 3 %, прибыль выше на 1 %.

Результаты исследований на Горно-Шорском филиале АО "Евразруда" использованы при отработке Юго-Западного слепого рудного тела участка Новый Шерегеш и вошли в проекты по отработке участков Западный и Северо-Западный Таштагольского месторождения, а также при составлении нормативных и методических документов. Отдельные решения внедрены в Горно-Шорском филиале АО "Евразруда" с общим экономическим эффектом 24,9 млн рублей в год/1000 т (в ценах 2016 г.).

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

Монографиях:

1. Башков, В.И. Обоснование конструктивных параметров геотехнологии в условиях перехода от камерной системы разработки к подэтажному обрушению на Шерегешевском месторождении [текст] / В кн. "Диагностика геофизических предвестников геодинамических явлений и развитие технологии разработки железорудных месторождений" / А. А. Еременко, А. А. Беспалько, В. А. Еременко, Л. В. Яворович // Новосибирск: Наука, 2016. — С. 216-279.

В изданиях, рекомендуемых ВАК России:

2. Башков, В.И. Оценка НДС массива горных пород при отработке блоков в сближенных рудных телах Абаканского месторождения [текст] / В. И. Башков, А. А. Еременко, В. А. Еременко, А. А. Котляров // ГИАБ. — 2013. — № 8. — С. 5-8.

3. Еременко, А.А. Опыт отработки камеры с закладкой выработанного пространства на Таштагольском месторождении [текст] / А.А. Еременко, В. И. Башков, А. Н. Александров, Б. Б. Татарников // ГИАБ. — 2013. — № 10. — С. 21-23.

4. Еременко, А.А. Особенности развития очистных работ в предохранительных целиках под промышленными и водными объектами [текст] / А.А. Еременко, В. А. Еременко, В. Н. Колтышев, В. И. Башков, Е. Н. Щептев, В. А. Штирц // ГИАБ. — 2014. — № 4. — С. 11-17.

5. Курленя, М. В. Влияние взрывных работ на сейсмические и динамические явления при подземной разработке рудных удароопасных месторождений Сибири [текст] / М. В. Курленя, А. А. Еременко, В. И. Башков // Горный журнал. — 2015. — № 8 — С. 69-71.

6. Башков, В. И. Расчет параметров и конструктивное оформление варианта системы разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды

[текст] / В. И. Башков, А. И. Копытов // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 2. – С. 75–78.

7. Копытов, А. И. Отработка участка Подрусловый Шерегешского месторождения в условиях удароопасности [текст] / А. И. Копытов, В. И. Башков // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 5. – С. 47–53.

8. Еременко, А. А. Геомеханическое обоснование технологических решений в условиях внедрения нового варианта системы разработки на Шерегешевском месторождении [текст] / А.А. Еременко, В.Ф. Мельниченко, В.И. Башков, Л.Н. Гахова // Вестник КузГТУ. — 2015. — № 6. — С. 25-32.

9. Копытов, А. И. Разубоживание руды при внедрении системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском и доставкой самоходным оборудованием на участке «Подрусловый» Шерегешского месторождения [текст] / А. И. Копытов, В. И. Башков // Вестник КузГТУ. – 2016. – № 2. – С. 17–21.

Патентах

10. Патент РФ № 2584167. Способ взрывной отбойки горных пород / Еременко А. А., Еременко В. А., Башков В. И., Конурин А. И. // Бюл. № 14, опубл. 20.05.16 — 12 с. (по заявке 2015106093/03 от 20.02.2015).

В прочих изданиях

11. Еременко, А. А. О развитии очистных работ в районе предохранительных целиков на северном фланге удароопасного Таштагольского месторождения [текст] / А. А. Еременко, В. А. Еременко, В. И. Башков, И. Ф. Матвеев // Труды XX всероссийской конф. с участием иностр. ученых "Геодинамика и напряженное состояние недр Земли". — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2013. — С. 306-314.

12. Еременко, А. А. Проблемы освоения железорудных месторождений Западной Сибири, склонных и опасных по горным ударам [текст] / А. А. Еременко, В. И. Башков // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Т. 1. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2014. — С. 105-114.

13. Еременко, А. А. Разработка научно-методических основ развития комплекса технологических решений ресурсосберегающей геотехнологии освоения месторождений твердых полезных ископаемых [текст] / А. А. Еременко, В. И. Башков // Сб. научных статей Межд. науч.-практ. конф. "Наукоемкие технологии разработки и использования материальных ресурсов" в рамках выставки "Уголь России и Майнинг". Новокузнецк: СибГИУ, 2-5.06.2015. — С. 13-21.

14. Еременко, А. А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния массива горных пород при проведении совмещенных технологических взрывов [текст] / А. А. Еременко, В. И. Башков // III Всероссийский семинар-совещание, Триггерные эффекты в геосистемах, Тезисы докладов. М.: ИДГ РАН, 2015. — С. 31.

15. Штирц, В.А. Оценка геомеханического состояния массива горных пород при производстве массовых взрывов на удароопасном рудном месторождении

Горной Шории [текст] / В.А. Штирц, А.А. Еременко, В. И. Башков, А. И. Ко-
нушин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — Новоси-
бирск: ИГД СО РАН — 2015. — № 2. — С. 205-213.

16. Башков, В. И. Оценка напряженно-деформированного состояния массива
при разработке слепых рудных тел на месторождениях Горной Шории [элек-
тронный ресурс] / В. И. Башков, Еременко А.А., Колтышев В.Н., Христю-
бов Е.А. // Современные проблемы в горном деле и методы моделирования
горно-геологических условий при разработке месторождений полезных иско-
паемых. Материалы Всероссийской научно-технической конференции Кузбас.
гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. — Кемерово, 2015. [http://science.kuzstu.ru/
wp-content/Events/Conference/Other/2015/gd/gd2015/pages/Articles/2/Bashkov.pdf](http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2015/gd/gd2015/pages/Articles/2/Bashkov.pdf)

17. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Гор-
ной Шории, склонных и опасных по горным ударам [текст] / составители:
А. А. Еременко, В. А. Еременко, В. И. Башков, В. К. Климко, Т. И. Лазаревич,
Т. В. Лобанова, И. Ф. Матвеев, С. Н. Мулев, С. Ф. Панин, А. Н. Поляков,
В. В. Приб и др. // — Новосибирск-Новокузнецк, 2015. — 73 с.

18. Еременко, А. А. Обоснование конструктивных параметров геотехнологии
в условиях переходного периода от системы разработки камерной к системе
подэтажного обрушения на удароопасном месторождении [текст] / А. А. Ере-
менко, В. И. Башков, В. Н. Филиппов // Фундаментальные и прикладные во-
просы горных наук. Т. 1. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2016. — С. 50-61.

19. Eremenko, A.A. Validation of blasting design parameters for transition from
room-and-pillar mining to sublevel caving [text] / A.A. Eremenko, V.N. Filippov,
V.I. Bashkov // Proceedings of the 9th International Conference on Physical Prob-
lems of Rock Destruction. Zhoushan, China, 2017. — pp. 222-226.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в
следующем: [1-9] — проведение аналитического обзора, выполнение основ-
ного объема исследований, обработка полученных результатов, формулиров-
ка выводов; [10] — определение новизны технологического решения; [11-19]
— выполнение исследований, обработка результатов, формулировка выводов.

Подписано в печать . 2018 г. Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Печ. л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ №

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кузбасский государственный технический
университет имени Т. Ф. Горбачева»
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография федерального государственного бюджетного образовательного учрежде-
ния высшего образования «Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.