

## ОТЗЫВ

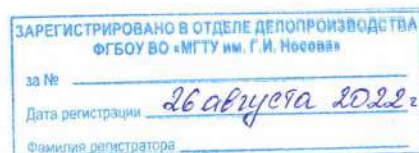
официального оппонента на диссертацию Мажитова Артура Маратовича на тему: **«Обоснование параметров подземной геотехнологии при доработке рудных месторождений с целенаправленным преобразованием свойств и состояния массива горных пород»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

В настоящее время добыча и переработка руд в Уральском и в других регионах находится в состоянии «второго рождения». Вовлечение в отработку забалансовых запасов на Уральских рудниках, в сравнении с балансовыми запасами составляет до 9,5 раз для золоторудных, 2,5 – для медноколчеданных и 1,3 – для железорудных месторождений. Количество металлов, содержащееся в забалансовых запасах месторождений России, составляет по золоту более 6 тыс. т, по меди – 25 млн. т и железу – 50 млрд. т.

В этой связи возникла необходимость в разработке подземной геотехнологии, базирующейся на предварительной подготовке массива, техногенном изменении массивов горных пород, для обеспечения расширения минеральной базы горных предприятий. Имеющийся опыт отработки забалансовых запасов необходимо развивать, создавать научно-методическую базу новой подземной геотехнологии, с техногенным преобразованием горных пород. Поэтому решение проблемы разработки подземной геотехнологии при доработке рудных месторождений с целенаправленным преобразованием свойств и состояния массива горных пород является актуальным.

Цель работы состоит в обосновании параметров технологий преобразования свойств и состояния массива горных пород для повышения полноты освоения рудных месторождений на стадии их доработки в сложных горно-геологических условиях.

При этом реализуется идея работы, которая заключается в том, что полнота доработки запасов достигается за счет применения технологий с целенаправленным изменением НДС, структурных характеристик массива горных пород, вовлекаемого в разработку.



**Достоверность результатов** выполненных исследований обеспечивается надежностью и представительным объемом исходных данных; использованием известных программных средств при разработке и проведении компьютерного моделирования; широкой апробацией результатов исследований на рудниках по добыче руд черных и цветных металлов; подтверждается согласованностью данных, полученных аналитическими методами исследования, с данными практики; положительными результатами применения положений диссертации при апробации технологических решений на рудниках Урала.

**Автором выносятся на защиту следующие научные положения:**

1. Повышение полноты освоения рудных месторождений достигается вовлечением в разработку ранее забалансовых руд путем изменения прочностных и деформационных характеристик, структуры рудного и породного массивов, формирования благоприятных горно-технических условий за счет изменения направления и порядка выемки запасов, создания опережающего компенсационного пространства, отбойки массива горных пород в зажатой среде, формирования искусственных массивов и использования систем разработки с различными способами управления состоянием массива горных пород.
2. Вовлечение в освоение ранее забалансовых запасов, подрабатываемых в процессе освоения промышленных запасов, обеспечивается заблаговременным повышением степени их подготовленности к разработке путем проведения дополнительного комплекса горных работ и формирования требуемой структуры массива за счет определения порядка опережающей отработки запасов, региональных и локальных методов разгрузки, обоснования форм и размеров сечения подземных выработок.
3. При высокой нарушенности вмещающих пород и сложной морфологии рудных залежей, вовлечение их в разработку обеспечивается локализацией ослабленных участков в приконтактной зоне путем очистной выемки запасов и последующим замещением выработанного пространства закладочным массивом с созданием изолирующей горной конструкции, позволяющей вести доработку осложненных участков под ее защитой камерными системами разработки, параметры которой рассчитываются исходя из свойств техногенно измененного массива горных пород, обеспечивающих безопасную отработку ранее

забалансовых запасов в измененных геомеханических условиях.

4. Повышение полноты освоения участка месторождения, обрабатываемого камерной системой разработки в условиях неустойчивых вмещающих пород, обеспечивается переводом в устойчивое состояние массива из сыпучих пород путем их упрочнения твердеющими смесями с последующим уплотнением закладочного материала взрыванием зарядов в зажимающей среде, при отработке запасов наклонными камерами, для достижения требуемых прочностных характеристик природно-техногенного массива.

5. Освоение запасов природного и техногенного участков недр, характеризующихся чередованием массивов устойчивых и структурно нарушенных зон, невыдержанным содержанием ценных компонентов, достигается избирательным применением систем подземной разработки разных классов с реализацией мероприятий по управлению напряженно-деформированным состоянием рудного массива путем задания направления развития фронта очистных работ для формирования зон повышенной концентрации опорного давления на участке обрушения и разгрузки массива горных пород в кровле обрабатываемой камеры.

#### **Научная новизна работы:**

1. Управление горным давлением в условиях доработки ранее забалансовых запасов путем применения технологических решений: региональных и локальных методов разгрузки массива горных пород, обеспечивающих регулируемое перераспределение зон концентрации напряжений.

2. Систематизация способов преобразования свойств и состояния горного массива, разработанная на основе избирательного использования эффективных воздействий на массив пород, реализация которых обеспечивает получение требуемых геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик участка недр.

3. Установлены зависимости мощности изолирующего целика ( $m$ ) в условиях сильнотрещиноватых массивов от прочности искусственного массива ( $\sigma$ ) в виде полинома  $m = 0,3571\sigma^2 - 3,8829\sigma + 15,52$ , а также ширины барьерного целика ( $a$ ) от его высоты ( $h$ ), протяженности зоны обрушения ( $B$ ) и глубины разработки ( $H$ ) в виде степенной функции  $a = 0,07h^{0,33}(BH)^{0,66}$ , при переходе от технологии с обрушением руды и вмещающих пород к технологии с закладкой

выработанного пространства.

**Автором использованы методы исследования:** лабораторные и натурные испытания физико-механических характеристик руд и пород; визуальные и инструментальные методы оценки состояния, строения, свойств и состава массива горных пород; натурные замеры напряжений методом щелевой разгрузки; моделирование состояния массива горных пород методом конечных элементов; опытно-промышленные эксперименты по управлению НДС массива путем локальной разгрузки и изменения порядка отработки; экономико-математическое моделирование, технико-экономическая и вероятностная оценка результатов исследований.

**Основные научные и практические результаты работы** состоят в следующем:

- Полнота доработки запасов достигается путем определения параметров технологий преобразования свойств и состояния горного массива для создания благоприятных горно-технических условий при переводе ранее забалансовых запасов в балансовые.
- Определены области применения технологий изменения свойств и состояния массива горных пород, позволяющих создать благоприятные горно-технические условия для эффективной доработки ранее забалансовых запасов месторождений, со снижением себестоимости их отработки до 30 %.
- Систематизированы способы преобразования свойств и состояния горного массива, применение которых обеспечивает перевод ранее забалансовых запасов в балансовые и их эффективную доработку, при высокой нарушенности горных пород, концентрации напряжений, превышающих естественное НДС более чем в 1,4 раза.
- При величине максимальных главных напряжений в массиве, превышающих предел прочности пород, освоение ранее забалансовых запасов обеспечивается опережением их очистной выемки на величину  $H/tg\varphi$  (где  $H$  – вертикальное расстояние между обрабатываемыми участками, м;  $\varphi$  – угол сдвига горных пород, град.), повышением модуля трещиноватости до величины не менее 3, за счет перераспределения концентрации напряжений и опорного давления, с целью создания благоприятных условий для перехода на системы с обрушением руды и вмещающих пород.
- Разработаны технологические решения по снижению напряжений для повышения

устойчивости обнажений камер с формированием несущего целика, что снижает потери до 8 %, разубоживание до 13 % с увеличением интенсивности отработки запасов до 2 раз. Мощность искусственного целика составляет от 5 до 12 м при прочности от 5 до 1 МПа при наклонном обнажении, не превышающем две длины очистной камеры.

- При системах с закладкой преобразование массива обеспечивается переводом в устойчивое состояние закладочных пород путем их упрочнения и последующего уплотнения взрыванием зарядов в зажимающей среде. Заряды располагают параллельно контуру искусственного массива на расстоянии не более 0,8 линии наименьшего сопротивления (ЛНС), расстояние между отбойными скважинами в веере принимается равной двум ЛНС.

- Полнота отработки рудной залежи достигается первоначальной выемкой богатых запасов системой разработки с высокими камерами, имеющими форму параллелепипеда с квадратным сечением и размерами в плане от 8 м до 12 м, и закладкой выработанного пространства, с последующим переходом на систему с обрушением руды и вмещающих пород. опережение фронта горных работ производится по направлению максимальных горизонтальных сил на расстояние не менее трех длин камер.

- Установлены области применения классов систем разработки по критерию - содержанию полезного компонента. Показано, что применение системы разработки с обрушением и торцевым выпуском руды экономически целесообразно при содержании полезного компонента до 0,9 % по условной меди. Технология площадно-торцевого выпуска руды под обрушенными породами позволяет применять класс систем с обрушением при содержании полезного компонента в руде до 1,2 %.

- Эффективность предложенных решений по изменению НДС, геомеханических, структурных характеристик массива горных пород подтверждена при доработке запасов месторождений «Сафьяновское», «Камаганское», «Чебачье», экономический эффект составил 413,0 млн руб.

**Личный вклад автора** состоит в определении особенностей состояния геологических запасов горных пород участков недр; обосновании параметров подземной геотехнологии с формированием заданных свойств массива горных пород; обосновании методологических принципов проектирования подземных

горных работ с техногенным преобразованием участка недр при доработке месторождения; разработке алгоритмов выбора и порядка применения систем разработки; проведении опытно-промышленных экспериментов.

**Практическая значимость** диссертации состоит в разработке подземной геотехнологии и обосновании ее параметров на основе техногенного преобразования свойств и состояния горного массива, обеспечивающих полноту отработки бывших забалансовых запасов и интенсификацию горных работ на медно-колчеданных и золоторудных месторождениях; в разработке технологических решений по обеспечению рентабельности эксплуатации рудных месторождений.

#### **Реализация результатов исследования:**

Результаты и рекомендации диссертации использованы в проектах разработки месторождений Камаганское, Новый Сибай, Весене-Аралчинское, Джусинское, Приморское, Кочкарское. Эффективность разработанных технологий подтверждена актами внедрения. Основные решения использованы в научно-методическом обеспечении учебного процесса по дисциплинам: «Проектирование рудников», «Процессы подземной разработки рудных месторождений», «Системы разработки рудных месторождений» специальности 21.05.04 – Горное дело, «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

Апробация работы выполнена на многих отечественных и международных форумах и конференциях.

#### **Публикации**

Основные положения диссертации опубликованы в 48 научных работах, из них: 15 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 6 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 19 – в прочих изданиях; 5 учебных пособий и 2 монографии, зарегистрирован 1 патент на изобретение.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 310 страницах машинописного текста, содержит 144 рис., 18 табл., библиографический список из 248 наименований и 4 приложения.

**По материалам диссертации имеются замечания:**

- материалы, касающиеся геомеханического состояния, устойчивости бортов карьеров при открытой разработке месторождений следовало дать в более сжатом виде,
- Рис.3.3, стр. 87, форма зоны обрушения должна быть аналогична форме фигуры обрушения и фигуре выпуска при системах с массовым обрушением – эллипсоида вращения либо трехосного эллипсоида,
- Рис.3.6 стр. 90 – то же замечание,
- Рис. 3.20 – 3.28 – не приведено сравнение с вариантом при укреплении борта карьера анкерной крепью, отработке открытым способом,
- п. 4.2 стр. 158 – приведено описание схем проветривания, без расчетов параметров вентиляции, то же – при описании обводненности месторождений. -- стр.165-167 и далее – материал об эндогенных пожарах – это специальный вопрос, требует весьма тщательной, детальной проработки и представления по другому номеру специальности,
- выводы по главе 4 не согласуются с содержанием главы 4,
- стр. 192, рис.5.12 нет обозначений на рисунке, термин «инъекционное упрочнение» в данном случае используется неудачно, т.к. здесь выполняется заполнение цементным раствором, через скважины, ранее засыпанной сухой породной закладки, с давлением, равным гидростатическому в заполняемой скважине,
- в работе не рассмотрены специальные методы упрочнения трещиноватых горных пород - инъекционно-анкерное, тросо-инъекционное упрочнение породного массива,
- стр.194, рис. 5.14 – угол призмы сползания  $45^0$  принят неверно,
- стр. 188, рис. 5.9-5.11 – нет обозначений. Отработка нижних подэтажей при оставлении верхних ведет к 50% потерь,
- стр.200 – нет описаний лабораторных и производственных экспериментов по установлению параметров «инъекционного» упрочнения закладочного массива,
- стр.212 – цементный раствор с В:Ц=4:1 не обеспечивает необходимую прочность заполняемого слоя сухой закладки (2 МПа).

Автор рассматриваемой диссертационной работы является известным специалистом в кругах горнотехнической общественности. Исходя из анализа материалов, представленных в работе, несмотря на высказанные замечания,

диссертация «Обоснование параметров подземной геотехнологии при доработке рудных месторождений с целенаправленным преобразованием свойств и состояния массива горных пород» соответствует требованиям п. 9-14 Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор, Мажитов Артур Маратович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Главный специалист службы  
главного геолога ФГУП «НО РАО»,  
профессор, доктор технических наук

Кузьмин Евгений Викторович

e-mail: EVKuzmin@noraо.ru,  
тел.+7-915-043-9179.

Научная специальность, по которой защищена диссертация 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами»,  
119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к.2.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

26 августа .2022г.

Подпись профессора, д.т.н. Кузьмина Е.В. удостоверяю:  
Начальник управления по работе с персоналом



Короткова В.С.