001572

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г. И. Носова»**
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)
пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, Челябинская обл., 455000
Тел.: 8 (3519) 29-84-02; Факс: 8 (3519) 23-57-59, 29-84-26
E-mail: mgtu@magtu.ru; http://www.magtu.ru
ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437,
ИНН/КПП 7414002238/745601001

Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation
Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
**«Nosov Magnitogorsk State
Technical University»**
(FSBEIHE «NMSTU»)
38, Lenin Street, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455000
Tel.: +7 3519 298 402; Fax: +7 3519 235 759, +7 3519 298 426
E-mail: mgtu@magtu.ru; http://www.magtu.ru
OKPO 02069384, OGRN 1027402065437
INN/KPP 7414002238/745601001

26.04.2024 № 6601-1446

На/То № _____ от/dated _____

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по научной и инновационной работе,
д.т.н., профессор
_____ О.Н. Тулупов
«26» апреля 2024 г.

ОТЗЫВ
ведущей организации
на диссертацию Гаджиевой Луизы Абду-Самадовны
на тему: «Обоснование параметров технологии изоляции подземных камер для сернокислотного выщелачивания руд цветных металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.8.8. Геотехнология, горные машины

1. **Актуальность работы.** Диссертация Гаджиевой Луизы Абду-Самадовны посвящена актуальной проблеме изоляции подземных камер для выщелачивания руд цветных металлов.

Тенденция роста мирового потребления цветных металлов в условиях истощения минерально-сырьевой базы эксплуатируемых месторождений неизменно ведет к увеличению объемов добываемой рудной массы и как следствие объемов образующихся отходов. При этом технология подземного выщелачивания, предусматривающая минимизацию объемов перемещения горной массы на поверхность, является одной из наиболее перспективных. Однако мировая практика ведения горных работ методом подземного выщелачивания свидетельствует о наличии в применяемых решениях недостатков, которые заключаются в невозможности взрывной подготовки рудной массы с требуемым размером куска, требуемым для эффективного процесса выщелачивания, высоком риске утечки выщелачивающих растворов за пределы блоков выщелачивания и значительных потерях руд в целиках, ограничивающих конструкций блоков выщелачивания. В настоящее время при подземном выщелачивании наблюдается низкая

эффективность обеспечения изоляции блоков, основанная на оставлении рудных и породных целиков, характеризующихся естественной трещиноватостью, а также высокая стоимость изолирующих материалов для возведения искусственных конструкций, обладающих требуемыми свойствами, в первую очередь, кислотостойкостью, что предопределяет необходимость изыскания новых решений и материалов на основе отходов производства, использование которых будет обеспечивать эффективную изоляцию блоков подземного выщелачивания.

Таким образом, актуальность тематики диссертации обусловлена необходимостью повышения эффективности применения технологии подземного блочного выщелачивания путем изыскания новых технологий изоляции подземных камер, включая составы материалов для возведения изолирующих конструкций в подземном руднике.

2. Общая характеристика работы. Диссертационное исследование посвящено обоснованию параметров технологии изоляции камер подземного сернокислотного выщелачивания руд цветных металлов и состава геополимерных материалов, используемых при формировании изолирующих конструкций, обеспечивающих повышение полноты освоения недр и выполнение требований промышленной и экологической безопасности.

Поставленная в работе цель достигнута путем анализа современных подходов к проектированию и реализации геотехнологий, предусматривающих сочетание подземной добычи руд и выщелачивания, научно обоснованного выбора геополимерных материалов, характеризующихся требуемыми прочностными, гидро-, термо-, кислотостойкими свойствами; исследования закономерностей формирования технологических свойств геополимеров на основе отходов производства и обоснования последовательности технологических процессов, обеспечивающих достижение требуемых свойств геополимеров; обоснования параметров технологии формирования изолирующих конструкций камер для сернокислотного выщелачивания в них руд цветных металлов с обеспечением требований промышленной и экологической безопасности. Оценена вероятность возникновения и развития аварийных ситуаций, связанных с реализацией технологии подземного блочного выщелачивания и перспективы ее снижения при реализации разработанных технологических решений. Автором поставлен и решен комплекс задач по заявленной тематике, что свидетельствует о завершенности представленной к защите диссертации.

В первой главе произведено обобщение современных подходов к обоснованию параметров комбинированной геотехнологии подземной добычи руд и выщелачивания, выполнен ретроспективный анализ отечественной и зарубежной практики формирования блоков подземного выщелачивания, их конструктивных особенностей, выделены наиболее значимые направления развития технологии подземного блочного выщелачивания. Рассмотрены применяемые технологии изоляции подземных блоков выщелачивания, определены наиболее перспективные

изолирующие материалы и конструкции. Во второй главе выполнено развитие научно-методических основ формирования изолирующих конструкций при комбинации подземной добычи руд и шахтного выщелачивания, включающее разработку концептуального подхода, предусматривающего использование пород от проходки выработок и продуктов внутрирудничной сепарации в качестве исходных материалов для формирования геополимерных изолирующих конструкций, а также методику оценки пригодности этих пород для получения геополимеров с определяемыми технологией выщелачивания свойствами. В третьей главе выполнено исследование параметров технологии и свойств изолирующих материалов подземных камер для сернокислотного выщелачивания руд цветных металлов, а также разработан алгоритм обоснования параметров технологии изоляции камер выщелачивания. В четвертой главе на основании выполненных исследований предложены технологические рекомендации по выбору параметров камер выщелачивания с учетом изоляции ответственных конструкций. Сформулированные по результатам исследований выводы и рекомендации научно обоснованы и ясно изложены, обладают значимой научной и практической ценностью. Представленная диссертация характеризуется единой логикой и непротиворечивостью результатов.

3. Новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций. Представленная автором диссертационная работа содержит ряд новых научных знаний, имеющих важное теоретическое и практическое значение. Научная новизна работы состоит в разработанной методике выбора параметров технологии, включая материалы для изоляции камер выщелачивания, отличающаяся тем, что выбор направлений использования вмещающих пород месторождений, преимущественно, пород от проходки выработок, сопровождается оценкой содержания в них аморфной фазы кремния и алюминия в свете перспектив реализации технологии выщелачивания руд цветных металлов.

Решение поставленной задачи приведено в виде доказательства положений, обоснованных и вынесенных на защиту автором.

Автором установлено, что повышение полноты и комплексности освоения месторождений руд цветных металлов обеспечивается созданием в подземном руднике камер выщелачивания с формированием в их основании изолирующих конструкций, характеризующихся требуемыми прочностью, термо- и кислотостойкостью, низким водопоглощением, состоящих из вмещающих пород месторождений с добавлением алюмосиликатных материалов и жидкой фазы, представленной водным щелочным продуктом из силикатов натрия и калия.

Данное положение доказано на основе полученных автором результатов проведенных исследований по оценке перспектив внутрирудничной сепарации в условиях Жезказганского месторождения, свидетельствующих о возможности выделения рудной массы, пригодной для выщелачивания. Возможность формирования геополимерных изолирующих конструкций из

отходов добычи медно-колчеданных руд в подземных условиях подтверждена полученными автором представительными результатами лабораторных исследований.

Доказано, что формирование изолирующих конструкций в основании подземных камер выщелачивания, характеризующихся набором прочности на одноосное сжатие свыше 20 МПа, низким водопоглощением, устойчивостью в сернокислом растворе концентрацией до 10% с сохранением начальной массы и прочности и термостойкостью при нагреве до 600°С, обеспечивается технологией приготовления в подземном руднике геополимерной смеси на основе вмещающих пород месторождений, расход компонентов которой определяется, исходя из содержания аморфных оксидов кремния и алюминия во вмещающих породах.

Автором определены основные требования к материалам изолирующих конструкций в основании подземных камер выщелачивания, обеспечивающие эффективное применения технологии подземного блочного выщелачивания.

Достоверность и обоснованность положения обусловлена сходимостью теоретических расчетов состава геополимерных материалов и результатов лабораторных исследований, свидетельствующих о возможности получения весьма прочных, водонепроницаемых, кислото- и термостойких массивов на основе вмещающих пород месторождений с добавлением высокореактивной золы уноса и жидкой фазы при выдерживании в составе смеси требуемых мольных соотношений $Na_2O:Al_2O$ и аморфных $SiO_2:Al_2O$.

В третьем научном положении автором обоснованно утверждается, что при комбинированной геотехнологии подземной добычи руд и выщелачивания выбор направлений использования вмещающих пород, в том числе, с участков проходки горных выработок, должен осуществляться после оценки содержания в них аморфной фазы кремния и алюминия в свете перспектив реализации технологии изоляции подземных камер для выщелачивания руд цветных металлов.

Доказательство данного положения базируется на проведенном комплексе экспериментальных исследований по оценке возможности использования вмещающих пород месторождения в качестве компонентов геополимерных смесей, включающий оптико-минералогический, минералогический и химический анализы, результаты которого свидетельствуют об определяющем влиянии вещественного состава пород рудовмещающей толщи на условия их использования в составе геополимерных смесей для возведения изолирующих конструкций.

На основе использования апробированных методик и обоснованном выборе применяемого оборудования автором убедительно доказано, что технология формирования изолирующих конструкций в почве камер выщелачивания должна основываться на применении подземных передвижных закладочных комплексов для подготовки пород с высоким содержанием требуемой

крупности, шихтовки твердых компонентов, перемешивания с водным щелочным продуктом из силикатов натрия и калия с протеканием реакции геополимеризации, а также подачи геополимерной смеси с требуемыми реологическими характеристиками в изолируемую камеру.

4. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов. К наиболее значимым научным и практическим результатам диссертации в области геотехнологии относят следующие:

Разработана методика выбора параметров технологии и материалов для изоляции камер выщелачивания, отличающаяся тем, что выбор направлений использования вмещающих пород месторождений, включая отходы добычи руд, сопровождается оценкой содержания в них аморфного кремния и алюминия в свете перспектив реализации технологии выщелачивания руд цветных металлов.

Обоснована и запатентована технология формирования изолированных камер выщелачивания, заключающаяся в выемке руды, формировании стенок на основе твердеющей смеси и днища камеры с изолирующим слоем, загрузке минерального сырья, бурении в возведенном днище скважин для подачи окисляющего газа и, по окончании процесса окисления, скважин для отвода продуктивного раствора, причем, оформление изолирующего слоя в основании камеры может осуществляться путем возведения устойчивых конструкций в днище камеры из изолирующего материала на весь объем или создания защитного слоя на ранее возведенном днище требуемой прочности.

Определены требования к параметрам конструкций в основании днищ камер подземного выщелачивания и материалам для их формирования, исключающих утечку растворов за пределы блока. Установлено, что наиболее перспективным материалом для изоляции днищ камер выщелачивания являются геополимеры, обладающие высокой прочностью, гидронепроницаемостью и устойчивостью к воздействию агрессивных растворов и высоких температур.

Исследованные закономерности формирования технологических свойств геополимеров на основе отходов производства показали, что геополимер, содержащий в составе дациты, золу-уноса, жидкий компонент, представленный водным щелочным продуктом из силикатов натрия и калия, характеризуется высокими прочностными характеристиками, кислото- и термостойкостью, а также низкими значениями водопоглощения.

Обоснована возможность применения передвижных закладочных комплексов в составе виброщековой дробилки, конусной инерционной дробилки, питателей, растаривателей, шнековых конвейеров и смесителей, обеспечивающих условия для мобильного формирования изолирующих оснований камер подземного выщелачивания, обеспечивая подготовку вмещающих пород до требуемого гранулометрического состава, шихтовку твердых компонентов, перемешивание с водным щелочным продуктом из силикатов натрия и калия.

Разработана технология формирования изолирующих конструкций в основании подземных камер для сернокислотного выщелачивания в них руд цветных металлов с выполнением требований промышленной и экологической безопасности.

Реализация разработанных технологических решений снижает риск возникновения и развития аварий, связанных с эксплуатацией блоков подземного выщелачивания, до приемлемого уровня и значительно расширяет область применения технологии.

5. **О стиле и языке диссертации и автореферата. Соответствие автореферата основным положениям диссертации.** Диссертация и автореферат изложены технически грамотным языком, оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автор использует общепринятую научную терминологию, что делает полученный результат доступным широкому кругу специалистов. Выводы и рекомендации работы изложены четко и лаконично. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации по всем квалификационным признакам: цели, задачам, научной новизне, практической значимости, положениям, выносимым на защиту. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертации.

6. **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Полученные в диссертации результаты рекомендуется использовать при проведении опытно-промышленных испытаний технологии изоляции подземных камер для последующего выщелачивания в них руд цветных и благородных металлов при условии полного контроля параметров процессов и обеспечении требований промышленной и экологической безопасности.

Разработанные составы геополимерных материалов рекомендуются для апробации в иных отраслях промышленности, где требуется создание конструкций с высокой механической прочностью, устойчивостью к агрессивным средам и высоким температурам.

7. **Замечания по диссертации и автореферату.** Рассматриваемая диссертация, безусловно, имеет практическую значимость и представляет определенный интерес в научном плане. Однако по содержанию работы имеются следующие замечания:

1. Следует пояснить, почему для предложенной технологии приняты камеры II очереди, а не III очереди, и каким образом будут отрабатываться камеры III очереди?
2. Для каких параметров камер рекомендована данная технология?
3. В диссертации не указано, какой порядок отработки месторождения рекомендован при внедрении данной технологии?
4. Требуется пояснить, каким образом и будут ли отрабатываться запасы в донной части камеры в зоне расположений скважин для сбора продуктивного раствора?

Указанные замечания не являются принципиальными и не умаляют высокой теоретической и несомненной практической ценности диссертации.

8. **Заключение.** Представленная на отзыв диссертационная работа «Обоснование параметров технологии изоляции подземных камер для сернокислотного выщелачивания руд цветных металлов» выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью.

В полном объеме реализована и отражена в результатах и публикациях цель работы - обоснование параметров технологии изоляции камер подземного сернокислотного выщелачивания руд цветных металлов и состава геополимерных материалов, используемых при формировании изолирующих конструкций, обеспечивающих повышение полноты освоения недр и выполнение требований промышленной и экологической безопасности.

Основные результаты, положения и рекомендации диссертации апробированы и получили одобрение горной общественности на международных, всероссийских конференциях и симпозиумах, раскрыты в 16 статьях автора, 6 из которых - в изданиях, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки Росси и индексируются в базах цитирования Scopus и Web of Science, в том числе 1 патент на изобретение.

Диссертация Гаджиевой Л.А.-С. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой дано научное обоснование параметров технологии изоляции камер подземного сернокислотного выщелачивания руд цветных металлов и состава геополимерных материалов, используемых при формировании изолирующих конструкций, обеспечивающих повышение полноты освоения недр и выполнение требований промышленной и экологической безопасности.

В целом, представленная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Гаджиева Луиза Абду-Самадовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» «21» апреля 2024 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых
Доктор технических наук, профессор С.Е Гавришев
Тел./факс +7 (3519) 29-85-75
e-mail: ormpi-cg@mail.ru

Доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых
Кандидат технических наук, доцент П.В. Волков
Тел./факс +7 (3519) 29-84-66
e-mail: prmpi@magtu.ru

«22» апреля 2024

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела делопроизводства
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Д.Г. Семенова

Отзыв составили:

1. Гавришев Сергей Евгеньевич - доктор технических наук, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых.
2. Волков Павел Владимирович - кандидат технических наук, доцент кафедры РМПИ

Гавришев Сергей Евгеньевич согласен на обработку персональных данных.
Волков Павел Владимирович согласен на обработку персональных данных.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)
Адрес: 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38 телефон: +7 (3519) 29-84-02
E-mail: mgtu@magtu.ru
https://magtu.ru/

Подписи заведующего кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, доктора технических наук, профессора Гавришева Сергея Евгеньевича, кандидата технических наук, доцента Волкова Павла Владимировича, заверяю.