



001290

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](mailto: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](mailto:mgtu@magtu.ru); <http://www.magtu.ru>  
OKPO 02069384, OGRN 1027402065437  
INN/KPP 7414002238/745601001

03.04.2024

№ 66.04-1090

На/To № \_\_\_\_\_ от/dated \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО «МГТУ  
им. Г.И. Носова»  
Д.Т.Н., доцент

\_\_\_\_\_ Д.В. Терентьев

### О Т З Ы В

**ведущей организации на диссертацию Вальцевой Александры Игоревны  
на тему: «Технология переработки золотосодержащего сырья методом гидро- и  
электрохлоринации»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых**

Представленная на рассмотрение работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников информации из 129 наименований, 9 приложений, содержит 202 страницы машинописного текста, 44 рисунка, 32 таблицы.

#### 1. Актуальность темы диссертации

Одной из важных задач золотодобывающей отрасли является вовлечение в переработку труднообогатимых золотосодержащих руд. Переработку руд данного типа обычно проводят по сложным комбинированным схемам и режимам, сочетающим различные методы обогащения. На сегодняшний день существует необходимость поиска новых технических решений для удешевления и упрощения производства.

Перспективными направлениями для переработки золотосодержащих руд являются электрохимические процессы.

Одним из методов электрохимического обогащения золотосодержащих руд является гидро- и электрохлоринация. Эти методы позволяют интенсифицировать процесс извлечения золота из золотосодержащих руд за счет более глубокого вскрытия минералов и большей скорости растворения золота.

Процессы гидро- и электрохлоринации изучены не достаточно и требуют дальнейшего исследования в области комплексного использования всех продуктов, образующихся при электрохлоринации золотосодержащего сырья.

## **2. Научная новизна диссертации**

Научную новизну диссертационного исследования А.И. Вальцевой составляют новые технические решения гидрохимической и электрохимической хлоринации труднообогатимого золотосодержащего сырья.

Предложенная технология гидро- и электрохлоринации позволяет перерабатывать золотосодержащее сырье с комплексным использованием получаемых побочных продуктов.

В работе исследованы технологические решения, повышающие эффективность обогащения руд. Автором предложены новые научно-обоснованные технологические решения по совершенствованию технологии переработки золотосодержащего сырья методом гидро- и электрохлоринации, внедрение которых позволит повысить извлечение золота.

## **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность защищаемых научных положений подтверждается достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований, их представительностью и сходимостью теоретических выводов с экспериментальными данными, положительными результатами испытаний процесса гидро- и электрохлоринации на различных золотосодержащих продуктах. Работа выполнена с применением методов прикладной математики, механики, математического и экспериментального моделирования, методов химического, пробирного и минералогических анализов.

Работа прошла достаточно широкую апробацию на международных конференциях: «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» Плаксинские чтения – 2021 (г. Владикавказ, 2021 г.); «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения» Плаксинские чтения – 2022 (г. Владивосток, 2022 г.); «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» Плаксинские чтения – 2023 (г. Москва, 2023 г.); на международных научно-технических конференциях: «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (г. Екатеринбург, 2022-2023 гг.).

Тема диссертации, направленность проведенных исследований и полученных результатов соответствуют паспорту научной специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых по пунктам:

3. Повышение контрастности технологических свойств разделяемых минералов. Физические, физико-химические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов, руд, промежуточных продуктов переработки природного и техногенного минерального сырья;

5. Технологии и аппараты физико-механической, физико-химической, химической, биохимической, химико-металлургической переработки и обогащения полезных ископаемых.

## **4. Научные результаты, их ценность**

Основную научную ценность работы составляет разработка новых технико-технологических решений гидрохимической и электрохимической хлоринации труднообогатимого золотосодержащего сырья. Предложена структурная схема хлоринации, включающая получение газообразного хлора, получение хлорной воды, гидрохлоринацию и электрохлоринацию, осаждение тяжелых металлов, сорбцию золота на уголь, озоление и

плавку золы с получением золотосодержащего сплава.

На основе экспериментальных исследований предложена технология ступенчатого растворения хлора в растворных емкостях со встречным движением жидкой фазы, обеспечивающая максимальное содержание растворенного хлора в хлорной воде и исключение выброса хлора в атмосферу.

Теоретическим анализом эквивалентных электрических схем, исследованием на основе суперпозиции бесконтактной и контактной поляризации электропроводных частиц, экспериментальными исследованиями показано, что контактная поляризация обеспечивает увеличение скорости растворения частиц пирита в 2,1 – 2,5 раза.

Определены режимы взрывобезопасного горения водорода и рекомендации по созданию электростанций для выработки электроэнергии на собственные нужды процессов хлоринации.

На уровне изобретений разработаны электролизер и способы извлечения золота из сырья, обеспечивающие повышение извлечения золота в конечный золотосодержащий продукт, повышение экономической эффективности и экологической безопасности процесса переработки золотосодержащего сырья.

Применение вместо электрохлоринации комбинированного процесса гидро- и электрохлоринации приводит за счет повышения извлечения золота на 2 % к получению прибыли в размере 113 млн рублей.

Технология гидро- и электрохлоринации хвостов Каргалинской обогатительной фабрики при получении золотосодержащего сорбента, медного и цинкового концентратов обеспечивает при производительности 100 т/ч получение прибыли в размере 121 млн рублей в год.

Разработана опытно-промышленная установка, выполнена ее комплектация, разработано компоновочное решение установки и предложены для испытания технологические схемы и режимы гидрохлоринации, электрохлоринации и комбинированной гидро- и электрохлоринации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 12 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК); получено 3 патента.

## **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

К наиболее значимым теоретическим и практическим результатам работы, на наш взгляд, относятся следующие.

Предложена структурная схема процесса электрохлоринации, включающая получение хлора, получение хлорной воды, получение электроэнергии на собственные нужды, гидрохлоринацию и электрохлоринацию, осаждение тяжелых металлов, сорбцию золота, озоление и плавку, теоретический анализ и экспериментальное исследование которых открывает новые возможности повышения эффективности и экологической безопасности процессов хлорного извлечения ценных компонентов из золотосодержащего сырья.

Получение газообразного хлора при электролизе NaCl в диафрагменном электролизере сопровождается образованием на аноде газов хлора и кислорода, на катоде водорода и католита (раствора едкого натрия и хлорида натрия). Максимальный выход по току хлора достигается при напряжении на электродах 4–4,35 В. Изменение напряжения (потенциала анода) и плотности тока позволяет управлять соотношением количества выделяемых на аноде

хлора и кислорода.

Получение хлорной воды с максимальным содержанием растворенного хлора и очищенной от хлора газовой фазы обеспечивается при ступенчатом растворении хлора и встречном движении жидкой фазы через растворные емкости. Экспериментально показано, что технология четырехступенчатого растворения хлора позволяет получать хлорную воду с высокой концентрацией растворенного хлора при исключении выброса хлора в окружающую среду.

При изучении закономерностей протекания электрического тока в процессах электрохлоринации и экспериментальных исследованиях жидкой фазы, как элемента электрохимической системы, предложена методика определения общего и удельного сопротивления жидкой фазы для конкретных условий электрохимического процесса путем определения прироста  $\delta R$  сопротивления жидкой фазы при увеличении фиксированного значения расстояния между рабочими электродами.

Бесконтактная поляризация электропроводных частиц, когда частица выступает в роли биполярного электрода, приводит к возбуждению электрохимических реакций при преодолении суммы сопротивлений торможения разряду ионов на анодной и катодной сторонах биполярной частицы.

Контактная поляризация электропроводных частиц зависит от контактного сопротивления между токоподводящим электродом и частицей. Для обеспечения туннельного перехода электронов к частице толщина пленки электролита между электродом и частицей должна быть порядка 0,01 мкм и ниже.

Моделированием контактной анодной поляризации электропроводных частиц пирита и экспериментальной проверкой установлено, что интенсивность окисления пирита в контакте с анодом в 1,8-2,1 раза выше, чем при объемной поляризации. Обработка в режиме насыпного электрода с обеспечением непрерывного контакта частиц с поверхностью токоподводящего анода позволяет увеличить скорость электрохлоринации пирита в 2,1-2,5 раза.

Исследованием преобразования энергии водорода при сжигании в кислороде или воздухе определена область безвзрывной стационарной реакции горения при температуре 450-490 °С в диапазоне давлений 13-26 кПа, что требует охлаждения стенок камеры сгорания.

Для получения электроэнергии для собственных нужд процесса электрохлоринации могут быть адаптированы современные компактные водородно-кислородные парогенераторы, камера сгорания которых должна иметь внешнее охлаждение водой. Паровая турбина, подключенная к водородно-кислородному парогенератору, может быть любой модернизированной турбиной, например, типа К-100-130, либо К-200-130.

Разработана усовершенствованная конструкция электрохлоринатора, которая за счет повышения эффективности направления ионов золота из зоны растворения в зону сорбции золота увеличивает извлечение золота в конечный продукт и позволяет осаждать ионы тяжелых металлов в катодной камере электрохлоринатора.

Разработана технология электрохимической хлоринации в режиме «Уголь в пульпе», включающая измельчение угля до флотационной крупности, электрохлоринацию смеси исходного питания с углем, выделение угольного сорбента из обработанного сырья флотацией и направление на получение конечного золотосодержащего продукта пенного продукта флотации после переработки одной порцией угля одной или нескольких порций золотосодержащего сырья. Технология обеспечивает повышение извлечения золота за счет

эффективной сорбции углем образующихся при электрохлоринации анионов и катионов золота.

Разработана технология получения хлорной воды с высоким содержанием растворенного хлора при очистке анодных газов до концентрации хлора ниже ПДК.

Разработана схема комплексного использования получаемых при электрохлоринации золотосодержащего сырья продуктов, позволяющая использовать католит для осаждения тяжелых металлов из рабочего раствора перед сорбцией золота, использовать образующиеся водород и кислород для получения электрической энергии на собственные нужды, что позволяет при увеличении экологичности снизить себестоимость переработки сырья.

#### **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационной работы в виде разработанных, эффективных и экологически безопасных технологических решений могут быть включены в технологический регламент и техно-рабочий проект переработки хвостов обогащения медно-цинковых руд, в технологический регламент переработки золотосодержащей руды.

Также рекомендуется широкое использование результатов диссертационного исследования в научно-исследовательской и образовательной деятельности высших учебных заведений при подготовке специалистов, аспирантов.

#### **7. Замечания и вопросы по работе**

По диссертации и автореферату возникли следующие вопросы и замечания.

1. На наш взгляд, при моделировании контактной поляризации пирита, следовало оценивать и влияние электрохлоринации на поведение частиц благородных металлов, которые могут содержаться в перерабатываемых рудах.
2. Технологическая схема, предложенная в работе, не предполагает повторного использования активированного угля, что повысит себестоимость переработки золотосодержащего сырья.
3. Недостаточно изучен процесс осаждения меди, железа и цинка с использованием католита, не приведена характеристика и состав полученных осадков.
4. При разработке опытно-промышленной установки на произведен анализ и сравнение реализуемых на ней технологий по технологической и экономической эффективности. В работе нужно было привести рекомендации по использованию каждой предлагаемой технологии.

Высказанные замечания не являются принципиальными, не снижают ценности диссертации, её научной и практической значимости и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационное исследование Вальцевой Александры Игоревны характеризуется внутренним единством, аргументированным изложением материала, содержит новые научные положения и практические результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора в разработке новых технико-технологических решений гидрохимической и электрохимической хлоринации труднообогатимого золотосодержащего сырья.

#### **8. Заключение по диссертации**

В целом, представленная диссертационная работа по своему содержанию соответствует паспорту научной специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых»; требованиям п. п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., №842, с дополнениями и изменениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор - Вальцева Александра Игоревна

заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых».

Диссертация, автореферат и отзыв были рассмотрены и одобрены на заседании кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», протокол № 6 от 20 марта 2024 года.

Председатель заседания

Заведующий кафедрой геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова»  
кандидат технических наук, доцент

**Гришин Игорь Анатольевич**

Секретарь заседания

Доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова»  
кандидат технических наук, доцент

**Шавакулева Ольга Петровна**

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.magtu.ru/>

эл. почта: [mgtu@magtu.ru](mailto:mgtu@magtu.ru) телефон: +7 (800) 100-1934

Шавакулева О.П.  
(3519) 29-85-55