

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям
развития научно-технологического комплекса России на 2014 -
2020 годы»**

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии/государственного
контракта:** 14.575.21.0085

Название проекта: Комбинированная технология комплексной
переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья цветных и
благородных металлов.

Основное приоритетное направление: Рациональное природопользование

Исполнитель: федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования "Национальный
исследовательский технологический университет "МИСиС"

Руководитель проекта: Шехирев Дмитрий Витальевич

Должность: Профессор

E-mail: shdv@misis.ru

Ключевые слова: переработка руд, сульфидные руды, труднообогатимые
руды, руды цветных и благородных металлов, комбинированные технологии,
флотация, колонная флотомашинa, керамический аэратор, выщелачивание
сульфидов цветных металлов, регенерация трехвалентного железа,
керамические фильтры

Цель проекта

Разработка научно-технологических решений для новых методов
рудоподготовки, дезинте-грации и обогащения комплексных руд и
техногенного сырья цветных и благородных металлов на основе селективного
раскрытия минеральных агрегатов, повышения контрастности свойств
минералов и пустой породы, применения комбинированных методов в
сочетании с гидрометаллургией, а также методов, позволяющих
минимизировать количество используемой воды

Исследование и разработка научно-технологических решений, направленных
на создание комбинированной технологии обогащения комплексных
сульфидных труднообогатимых, в том числе тонковкрапленных, руд цветных
и благородных металлов и техногенного сырья - лежалых хвостов обогащения
этих руд, основанной на сочетании в единой схеме переработки руд
флотационных процессов с гидрометаллургическими.

Основные планируемые результаты проекта

Основные планируемые результаты проекта

- научно-технологические решения для комбинированной технологии
обогащения комплексных сульфидных труднообогатимых руд цветных и
благородных металлов и лежалых хвостов обогащения, включая принципы
построения технологии, методические подходы к оценке обогатимости руд по
комбинированной технологии, экспериментальные данные по обогатимости
руд и свойствам их компонентов;
- экспериментальные образцы лабораторной колонной флотомашины с
керамическим аэратором, лабораторных аппаратов для сгущения и
фильтрации с керамическими фильтрующими элементами;
- программный комплекс, реализующий математическую модель процесса

флотации в колонной флотомашине и обеспечивающий прогнозный расчет промышленных колонных флотомашин;

- проект лабораторного технологического регламента обогащения комплексных сульфидных труднообогатимых руд цветных и благородных металлов и техногенного сырья.

Разработанные в ходе исследований научно-технологические основы комбинированной технологии обогащения комплексных сульфидных труднообогатимых, в том числе тонковкрапленных, руд цветных и благородных металлов должны обеспечивать:

Извлечение металлов в собственные товарные продукты: меди - не менее 35-40%; свинца - не менее 35-40%; цинка не менее 40-45 %, золота - не менее 20-30 %; серебра - не менее 15-25 %.

Содержание металла в в собственных товарных концентратах, получаемых из труднообогатимых руд: меди в медном - не менее 20 %; цинка в цинковом - не менее 50 %; свинца в свинцовом - не менее 40 %; серебра во флотационном - не менее 60 г/т; золота во флотационном - не менее 8 г/т.

Извлечение от 20-25 % цинка в катодный цинк и извлечение свинца от 15-20 % в карбонат свинца в карбонат свинца непосредственно в схеме, реализующей комбинированную технологию.

Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции

Задача разработки научно-технических решений по комбинированной технологии обогащения сульфидных труднообогатимых, в том числе тонковкрапленных, руд цветных и благородных металлов и техногенного сырья – лежалых хвостов обогащения этих руд, весьма актуальна для российских условий. Ее решение в дальнейшем итоге позволит выйти на реализацию комбинированных технологий обогащения для многих труднообогатимых руд и существенно повысить эффективность и рациональность использования недр, может во многом способствовать развитию отечественной сырьевой базы цветной металлургии на современном мировом уровне.

Применение для переработки труднообогатимых руд комбинированных технологий обогащения, сочетающих собственно обогатительные и в основном гидрометаллургические (реже пирометаллургические) процессы в единой технологической схеме обогатительного предприятия является общей мировой тенденцией.

Ориентация на комбинированные технологии не снижает требований к технологическому уровню флотационного процесса, задача которого - выделение качественных концентратов и промпродукта для гидрометаллургической переработки.

Как известно, селективные реагентные режимы – наиболее доступный способ регулирования флотоактивности минералов. Научно обоснованный выбор сульфгидрильного собирателя, селективно действующего по отношению к сульфидам меди, цинка, свинца и благородным металлам, разработка на его основе реагентных режимов и схем флотации является основой разработки

флотационных процессов в рамках комбинированной технологии. Нуждаются в совершенствовании гидрометаллургические процессы, являющиеся частью комбинированной технологии. Наиболее широко применяется выщелачивание в сернокислых водных растворах, где в качестве окислителя для выщелачивания рудных материалов используется трехвалентное железо, вследствие его доступности и дешевизны. Но важнейшей задачей для разработки комбинированной технологии является выбор рационального метода регенерации трехвалентного железа после выщелачивания.

Внедрение комбинированных схем труднообогатимых руд сдерживается следующими дополнительными факторами. Для стабильного поддержания качества концентратов для труднообогатимых руд, к тому же часто в условиях колебаний состава исходной руды, требуются не только высокоселективные реагентные режимы и, но и оборудование, обладающее высокой эффективностью разделения.

Таким оборудованием являются колонные флотационные машины. Их распространение в отечественной практике сдерживается отсутствием практических аэраторов для флотации рудных пульп. Высокоэффективные с точки зрения диспергирования воздуха аэраторы пневмогидравлического типа требуют насосов для организации рабочей струи, и поэтому не являются практичными. При использовании в качестве рабочей жидкости пульпы камерного продукта наблюдается быстрый (по сравнению с импеллерами) износ рабочих органов. При

+использовании в качестве рабочей жидкости воды происходит весьма обильное обводнение процесса. Прогресс в области пористой керамики позволяет на новом уровне вернуться к идее чисто пневматической аэрации колонных флотомашин, предназначенных для флотации рудных пульп. Устойчивое качество пенных продуктов обеспечивается в колонных флотомашинах подачей противоточной воды в подпенный слой. Но это также приводит к обводнению процесса. В целях экономии воды и недопущения обводнения процесса целесообразно корректировать содержание твердого в пульпе, как это обычно делается в гравитационных схемах. Однако отсутствуют эффективные высокоскоростные методы обезвоживания пульп с частицами флотационной крупности без применения флокулянтов, наличие которых может нарушить флотационное разделение.

Применение выщелачивания промпродуктов флотации требует предварительного обезвоживания с тем, чтобы было возможно оборачивать растворы выщелачивания. После выщелачивания требуется глубокая фильтрация кеков для полного отделения продуктивных растворов. Кеки после выщелачивания обычно характеризуются повышенным содержанием шламов, пластичностью и плохой фильтруемостью, фильтры легко забиваются. Кроме того, в продуктивных растворах недопустимо присутствие шламов, которые мешают процессу экстракции. Дело осложняется еще тем, что выход промпродуктов превышает, как правило, выхода концентратов, и тем, что операций фильтрования в процессе выщелачивания, если он многоступенчатый, может быть много. Современным направлением в

процессах обезвоживания является применение керамических фильтрующих элементов нового поколения.

Назначение и область применения, эффекты от внедрения результатов проекта

Переработка труднообогатимых сульфидных руд цветных и благородных металлов с получением продуктов высокой ликвидности по комбинированной технологии

Использование ожидаемого результата путем проведения опытно-технологических работ по разработке комбинированной технологии обогащения труднообогатимых сульфидных руд цветных и благородных металлов и лежалых хвостов их переработки.

Комбинированные технологии позволят вовлечь в производство многочисленные трудно-обогатимые руды России, с большими запасами цветных и благородных металлов (например, Озерное свинцово-цинковое месторождение, входит в десятку крупнейших мировых по запасам цинка), либо существенно поднять технологические показатели разделения для уже разрабатываемых руд (например, в настоящее время при переработке медной руды до 30 % цинка теряется в медном концентрате и на стадии металлургии не извлекается).

Возможные потребители - АО "УГМК-Холдинг", ООО "Металлы Восточной Сибири", АО "Полюс", АО "Полиметалл", АО "ГМК "Норильский никель", АО "Русская медная компания", ООО "Казахмыс".

Текущие результаты проекта

Показано, что усложнение состава, ухудшение технологических свойств руд, накопление отходов переработки характерно для России, где руды большинства сульфидных месторождений цветных и благородных металлов, перспективных к переработке, являются труднообогатимыми из-за тонкой вкрапленности и наличия разностей минералов, отличающихся поведением в технологических процессах.

Выбрано основное направление исследований – разработка рационального сочетания обога-тительных и гидрометаллургических переделов в комбинированной технологии переработки труднообогатимых сульфидных тонковкрапленных руд.

Патентными исследованиями показано, что направление, связанное с применением комби-нированных технологий для обогащения труднообогатимых руд цветных и благородных метал-лов и их техногенного сырья соответствует мировым тенденциям и уровню техники, установлен устойчивый рост, как в России, так и по миру, патентной активности. Главной целью патентуемых решений является повышение степени извлечения металлов из руд.

Оптимальным для переработки комплексных труднообогатимых, в том числе тонковкрап-ленных, сульфидных руд цветных и благородных металлов и лежалых хвостов этих руд, выбран вариант частично коллективно-селективной схемы флотации с доводкой черновых концентратов,

включающей получение кондиционных концентратов (с извлечением в них части целевых металлов) и доизвлечение металлов в комплексный продукт, направляемый на гидрометаллургическую переработку.

С использованием разработанной модели, проведено моделирование и прогнозирование технико-экономических показателей комбинированной технологии на примере труднообогатимой свинцово-цинковой руды с учетом наличия у сфалерита и у пирита разностей с различной флотоактивностью. Исходными данными для моделирования, в том числе, являлись спектры флотируемости минералов в условиях свинцово-цинковой и цинковой флотации. Выполнен анализ результатов моделирования и разработаны варианты технологических схем, включающих флотационный и гидрометаллургический переделы для руд и техногенных продуктов, с различным вещественным составом. Установлено, что для получения свинцового концентрата низшей марки КС7 из руды с типичными массовыми долями свинца 1% и цинка 5% требуется, чтобы доля флотоактивных разностей сфалерита была не более 3,5-4,5 %, пирита – не более 2-3 %, при превышении неизбежно применение комбинированной технологии. Показано, что технико-экономическая эффективность комбинированной технологии лимитируется содержанием в руде или лежалых хвостах пирита и долей его флотоактивных разностей.

Предложен новый способ расчета предельной обогатимости руды, позволяющий на основании количественного минералогического анализа оценивать обогатимость при получении двух концентратов. Для двух сортов труднообогатимой свинцово-цинковой руды показана лучшая предельная обогатимость более крупновкрапленного и содержащего меньше пирита сорта.

Разработана эскизная конструкторская документация лабораторной колонной флотомашин с новым керамическим аэратором. В основе разработки – расчет производительности по приведенным скоростям движения жидкой и газовой фаз.

Выполнен ряд исследований с количественным минералогическим анализом продуктов измельчения и флотационных экспериментов для труднообогатимой тонковкрапленной свинцово-цинковой руды, с применением уникальной научной установки MLA System.

Проведены уникальные исследования кинетики раскрытия минералов, образования различных морфологических форм минеральных частиц при измельчении. В процессе измельчения доля минерала в виде раскрытых частиц возрастает. Доля минерала (от общего его количества в руде) в виде сростков, где его содержание 40-60 %, меняется незначительно. Но при этом для ценных минералов, содержащихся в руде в малом количестве, заметно уменьшается их доля в виде бедных сростков, а для пирита и породных минералов – уменьшается их доля в виде богатых сростков.

Впервые получены данные о поведении отдельных морфологических форм присутствия ценных и сопутствующих минералов в условиях их флотации в составе реальной руды.

Установлено, что, вопреки распространенному мнению, в операции свинцово-цинковой флотации скорость флотации галенита в виде тонкоизмельченных

раскрытых частиц, весьма высока, при этом обеспечивается их извлечение на уровне 90-95 %. Установлено, что загрязнение пиритом как свинцово-цинкового, так и черного цинкового концентрата происходит за счет наличия флотоактивного пирита, в основном в виде раскрытых частиц. В частности, изучено поведение минеральных частиц разной крупности с различной долей поверхности, представленной галенитом и сфалеритом, измеренной непосредственно, в условиях свинцово-цинковой и цинковой флотации.

Изучены особенности флотации и депрессии пирита в условиях флотационного передела труднообогатимых медно-цинковых руд. Экспериментально установлена взаимосвязь между концентрациями медного, цинкового и железного купороса и их действием на флотацию пирита, проявляющаяся как в активации так и в депрессии флотации пирита одним и тем же реагентом, в зависимости от щелочности пульпы и расхода реагента. В частности, установлено депрессирующее действие малых расходов (20 г/т) железного купороса на флотацию пирита при pH 8 и активирующее - при pH 12 и обратное действие для больших расходов (более 200 г/т).

Изучены закономерности чанового выщелачивания с использованием трехвалентного железа на примере бедных сульфидных медных концентратов. Найдены значения факторов, обеспечивающие перевод в раствор до 90 % и более меди. Время агитационного выщелачивания составляет около 12 часов. Содержание серной кислоты в исходных растворах около 50 г/л, трехвалентного железа - не менее 15 г/л. При этом температура должна составлять около 60 градусов. Концентрация меди в продуктивных растворах достигает 6-8 г/л.

Впервые изучены закономерности регенерации трехвалентного железа из двухвалентного электрохимическим методом в кислой среде (pH в анолите - от 0,15 до 1,5), в том числе в области высоких концентраций общего железа (до 100 г/дм³). Рекомендованы плотности тока (по катоду) 400-700 А/м² при напряжении 7-12 В.

Изучено влияние различных технологических факторов на уровень физико-механических свойств фильтрующих элементов. С использованием полученных данных разработан пористый проницаемый керамический материал из электрокорунда монофракционного состава со специальной глиной и на его основе изготовлен опытный дисковый фильтрующий элемент. Открытая пористость фильтрующих элементов составила не менее 48 % при прочности на сжатие не менее 75 МПа и плотности керамической структуры не выше 2,90 г/см³.

Удаление крупных частиц с поверхности фильтрующего элемента - за счет центробежных сил, создающихся вращением фильтрующего элемента, а удаление мелких частиц из каналов и пор возможно обратной промывкой жидкостью