

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2023 г. по 30.06.2024 г.

по проекту **«Исследование сложных задач динамики околоземных объектов методами компьютерного моделирования и машинного анализа данных»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-72-10022

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Александрова Анна Геннадьевна

1) Установление закономерностей процессов выщелачивания продуктов переработки благороднометалльного сырья и полиметаллического сырья различного генезиса, в том числе с использованием наложенных полей (СВЧ, УЗ). Разработка критериев применимости выщелачивающих агентов с позиций извлечения ценных компонентов.

Разработаны и обоснованы критерии оценки и применимости комбинированных технологий с позиций извлечения ценных компонентов на основе оценки критериев выщелачивающих агентов с позиций извлечений ценных компонентов, а также экологичности, сложности механизма протекания реакции и доступности в РФ в кодировочной системе единиц, позволяющей обосновать применение комбинированных технологий при переработке минерального сырья различного генезиса, содержащего благородные и цветные металлы.

2) Установление вероятностно - кинетических закономерностей процессов флотации благороднометалльного и полиметаллического сырья различного генезиса и их экспериментальная проверка.

В основе установления вероятностно - кинетических закономерностей процессов флотации благороднометалльного и полиметаллического сырья лежит принцип разбиения материала, представляющего собой массив минеральных частиц, на классы флотируемости, каждому из которых соответствуют определенные диапазоны значений вероятности извлечения частиц в пенный продукт. Установленные зависимости имеют вид системы нелинейных уравнений, связывающих значения функции распределения компонентов сырья по классам флотируемости со статистическими параметрами модели кинетики флотации. Значение константы фракции определяется на основании интерпретации результатов кинетики флотации с применением гамма-модели.

3) Разработка и обоснование рациональных параметров схемы комбинированной переработки сырья, содержащего низкоразмерные структуры благородных и цветных металлов с применением физико-химических и энергетических методов на основе полученных научных знаний минералогических, технологических, физико-химических и поверхностных свойств рудных минеральных комплексов.

Обоснованы режимные параметры схемы комбинированной переработки сырья (состоит из адаптивных технологических узлов в зависимости от типа минерального сырья), содержащего низкоразмерные структуры благородных и цветных металлов, с применением физико-химических и энергетических методов, которые позволили получить высококачественные концентраты при извлечении ценных компонентов более 90 %, а также повысить экологичность процесса за счет применения экологически более безопасных выщелачивающих агентов.

4) Проведение исследований для теоретического обоснования механизма повышения концентрирования ценных компонентов в продукты обогащения путем обоснования механизма положительного синергетического влияния сложного ионного состава пульпы.

Для установления значений удельной адсорбции пенообразователей и значений поверхностного натяжения для пульпы сложного ионного состава и различных реагентов пенообразователей на границе раздела фаз жидкость-газ были проведены замеры значений поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дью Нуи. В результате проведенных исследований было установлено, что присутствие хлорид- и тиосульфат-ионов и ионов кальция приводит к снижению поверхностного натяжения на границе раздела фаз до 59 мН/м при концентрации до 5 г/л, в то время как присутствие карбонат ионов приводит к незначительному повышению значений поверхностного натяжения. Проведенные исследования по расчету удельной адсорбции пенообразователей на границе раздела жидкость-газ в присутствии примесей позволили установить минимальную разницу в значениях удельной адсорбции реагента-пенообразователя на основе диоксановых спиртов и их эфиров равную $0,15 \cdot 10^{-3}$ моль/м², что позволяет в пульпе со сложным ионным составом осуществлять направленное регулирование процессов пенообразования.

5) Обоснование и разработка методов и критериев для интенсификации процессов дезинтеграции минерального сырья, содержащего низкоразмерные структуры благородных и цветных металлов, с использованием комплексных, в т.ч. температурных воздействий для повышения эффективности извлечения ценных компонентов на последующих стадиях переработки минерального сырья.

Были детально изучены физико-механические свойства медно-молибденовых, медно-никелевых и углеродистых сланцев, а также ряд образцов полезных ископаемых. В результате проведения исследований была собрана база данных прочностных свойств по минералам и рудам. Для обоснования использования термических и физических воздействий на стадии рудоподготовки и выбора наиболее эффективного метода были проведены экспериментальные исследования по измельчению полиметаллического минерального сырья с наложением воздействий (крио, УЗ). Для оценки селективности процесса был предложен и использован индекс селективности η .

6) Формирование адаптивного подхода применения технологий машинного зрения для анализа структуры пенного слоя и интерпретации получаемых результатов. Применение методов потенциометрии к определению параметров воздушной фазы.

Был сформирован адаптивный подход с применением технологий машинного зрения и методов потенциометрии для анализа структуры пенного слоя, параметров воздушной фазы и интерпретации получаемых результатов. Для реализации контроля пенного слоя с применением технологий машинного зрения разработано программное средство с применением языка Python, при этом обработка графической части входной информации обеспечивается за счет использования библиотеки OpenCV. Для реализации потенциометрического контроля в камеру устанавливались разноуровневые парные хлорсеребряных электроды. Полученные данные обрабатывались с учетом этапов (перемешивания, аэрации) для оценки функциональной зависимости среднего диаметра пузырьков (по Соутеру) от разности потенциалов электродов для получения значений показателей удельной

интенсивности аэрации. Получены данные для разных типов руд и технологических условий протекания процесса флотации.

7) Разработка критериев для оценки качественно-количественного распределения фаз флотационного обогащения с учетом возмущающих факторов и оптимизации реагентного режима с учетом динамических факторов.

Разработанный метод контроля процесса флотации с использованием прямой потенциометрии рекомендован для картирования производственного процесса, что позволяет проанализировать процессы обогащения на производстве в режиме реального времени и, при необходимости, скорректировать точки подачи реагентов во флотационный процесс.

Разработан комплексный подход к определению параметров флотируемости минерального сырья для задания имитационной модели его флотационного обогащения с учетом динамики изменения параметров пенного слоя. Основой модели являлась интерпретация результатов экспериментальных исследований кинетики флотации с применением гамма-функции и экспериментальное определение параметров удельной интенсивности аэрации и извлечения в пенный продукт, а также динамики процессов пенообразования. По результатам произведенного имитационного моделирования установлены особенности перераспределения компонентов руды по фракциям в концентрат в схеме флотационной переработки минерального сырья, состоящей из основной флотации, двух перечистных и одной контрольной операции, возможно за счет понижения механического выноса на стадии основной и перечистой флотации, а также дораскрытием сростков рудных минералов на дополнительной стадии измельчения.

Возможность практического использования результатов проекта:

Результаты проекта направлены на повышение эффективности переработки низкокачественного, забалансового и техногенного сырья: повышение извлечения низкоразмерных форм благородных, цветных и редкоземельных металлов (с которыми связаны основные потери ценных компонентов), снижение содержания токсичных элементов, повышение комплексности использования сырья и эффективности его дальнейшей переработки с получением чистых металлов в интересах развития высокотехнологичных секторов экономики. Учитывая, с одной стороны, стремительное снижение запасов высококачественного сырья, и, с другой стороны, растущий спрос цветные, благородные и редкие металлы как в нашей стране, так и во всем мире, внедрение и использование полученных результатов не вызывает сомнений. Полученные результаты отличается от существующих технологий высоким уровнем обогащения минерального сырья различного генезиса за счет интенсификации процессов извлечения и экологической безопасностью за счет вовлечения в промышленный оборот техногенных месторождений и новообразований. Инновационный комплекс предложенных решений переработки сложного комплексного сырья предназначен для горнопромышленных предприятий с целью получения конкурентоспособных концентратов, создания специальных видов функциональных материалов и сплавов, а также для предприятий химической, космической и др. отраслей и обеспечивает конкурентное преимущество и экономический рост Российской Федерации на международном рынке. Результаты могут быть тиражированы в других отраслях промышленности: в производстве строительных материалов и для интенсификации процессов дробления, измельчения, флотации, выщелачивания и др.