

2. Ibrahim M. H. et al. The role of ionic liquids in desulfurization of fuels: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Т. 76. – С. 1534-1549.
3. Sahu R. et al. A review of recent advances in catalytic hydrocracking of heavy residues // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2015. – Т. 27. – С. 12-24.
4. Есева Е. А. и др. Окислительное обессеривание углеводородного сырья с использованием кислорода как окислителя (обзор) // Нефтехимия. – 2020. – Т. 60. – № 5. – С. 586-599.
5. Иовик Ю. А., Кривцов Е. Б. Термические превращения серосодержащих компонентов окисленного вакуумного газойля // Нефтехимия. – 2020. – Т. 60. – № 3. – С. 377-383.
6. Отчет по реализации целей и задач Минприроды России за первое полугодие 2021 года. – Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/docs/2021_god/otchet_po_realizatsii_tseley_i_zadach_minprirody_rossii_za_pervoe_polugodie_2021_goda/

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РУДЫ

Пак А.Я., Мингажева Ю.Г.

Научный руководитель профессор О.Г. Волокитин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

При обогащении минерального сырья больше половины энергии затрачивается на дробление и измельчение руды и может составить до 65 кВт·ч/т. Для увеличения степени раскрытия минералов, как правило увеличивают тонкость помола. Однако, при таком подходе увеличивается количество сверхтонких частиц размером менее 10 мкм. В работах [5–6] приведено, что 35–40 % основных потерь приходится в первичной переработке руд; а 30–45 % – из-за тонких частиц, порядка 40 мкм. Авторы предлагают вместо традиционных методов дробления и измельчения в щековых, конусных дробилках и шаровых мельницах – селективную дезинтеграцию, в частности, за счёт нетеплового воздействия на руду мощными наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ).

В работах [3–4] приводятся возможные процессы, происходящие в минералах при обработке НЭМИ. Если напряженность внешнего электромагнитного поля превышает электрическую прочность твердого диэлектрика, то происходит электрический пробой и возникает электрический ток в узком канале. Однако при обработке измельченной руды, ток разряда может пойти воздушным зазором между частицами. Для избежания такого явления, необходимо использовать нанокороткие импульсы с фронтом ~ 1 нс и большей энергией, чем электрическая прочность вещества.

Мы в своих работах так же используем вышеприведенный метод с некоторыми различиями: источником импульсов является энергоёмкий генератор НЭМИ мощностью 50 Вт с параметрами: амплитуда напряжения – 15 кВ, частота – 1000 Гц, фронт импульса – 0,15 нс, длительность импульса – 0,6 нс, форма импульса треугольная, полярность – положительная. При нагрузке 50 Ом и амплитуде напряжения 15 кВ, приблизительно ток будет составлять 300 А, тогда импульсная мощность – 4,5 МВт, энергия одного импульса – 4,5 мДж [1–2]. Такое мощное воздействие может влиять на процессы извлечения благородных и цветных металлов из руды. Для доказательства данного предположения нами была собрана лабораторная установка, приведенная на рис. 1а.

Электродная система представляет собой электрод и проводящий сосуд из нержавеющей стали марки 08X18N10. Выход центральной жилы кабеля от генератора подключается к пусковому электроду (стержень), а оплетка кабеля подключается непосредственно к стенке ёмкости. Стержень помещается в ёмкость с обрабатываемой пульпой. Диаметр сосуда – 95 мм, высота – 110 мм. Для проведения экспериментов получили пульпу из 500 мл дистиллированной воды и 250 г сульфидной золотосодержащей руды, с содержанием металлов: золота – 7,86 г/т, серебра – 553,75 г/т, меди – 5 367,47 г/т, цинка – 983,24 г/т. Измерение концентрации драгоценных металлов в пульпе проводилось в сертифицированной лаборатории с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра «Спектр-5» (основная относительная погрешность при измерении оптической плотности на длине волны 324,8 нм во всем диапазоне измеряемых концентраций – не более 5 %).

Опыт 1. В ёмкость помещали электрод из графита диаметром 6,5 мм, длиной 85 мм. Время эксперимента – 20 мин. Перемешивали пульпу через 10 мин.

Опыт 2. Обработка проводилась в условиях опыта 1. Однако пульпу получили из 500 мл дистиллированной воды, 250 г сухой руды с добавлением 50 мл соли BiCl_3 , для увеличения электропроводности пульпы.

Пробы:

«Исходная» – необработанная пульпа,

«Обработанная» – обработанная пульпа,

«Обработанная с BiCl_3 » – обработанная пульпа с BiCl_3 ,

«Обработанная с BiCl_3 с NaOH» – обработанная пульпа с BiCl_3 , однако величина pH доведена до 10–11 добавлением NaOH в пробу «Обработанная с BiCl_3 ». Измерение содержания элементов проводили через 3, 6, 12 ч после обработки. Результаты представлены на рис. 1б.

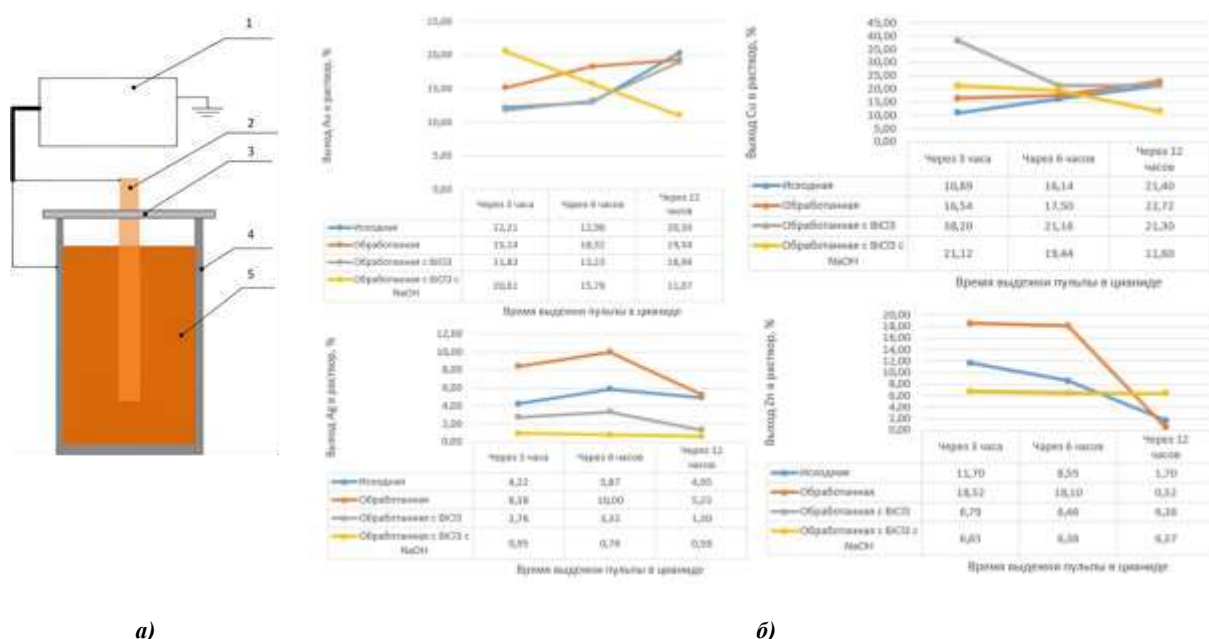


Рис. 1. а) экспериментальная установка: 1 – генератор НЭМИ; 2 – пусковой электрод; 3 – фиксатор; 4 – металлический сосуд – заземленный электрод; 5 – обрабатываемая пульпа; б) выход металлов в раствор, %

Выводы по полученным результатам:

1. Воздействие НЭМИ интенсифицирует процесс выхода металлов в раствор по времени (через 3 ч после цианирования):

- в образце «Обработанная» происходит увеличение выхода в раствор золота на 2,93 %, серебра – на 4,16 %, меди – на 5,65 %, цинка – на 6,82 %;
- в образце «Обработанная с BiCl_3 » – резкое увеличение выхода в раствор меди – 27,30 %;
- в образце «Обработанная с BiCl_3 с NaOH » наблюдается увеличение выхода золота и меди в раствор 8,40 % и 10,22 % соответственно. Однако отрицательные показатели с серебром и цинком: уменьшение выхода на 3,27 % и 5,05 % соответственно.

2. Так и через 6 ч после цианирования наблюдаем:

- в образце «Обработанная» увеличение выхода в раствор золота – на 5,34 %, серебра – на 4,13 %, цинка – на 9,55 %;
- в образце «Обработанная с BiCl_3 » происходит резкий прирост выхода в раствор меди – 27,30 %.

Литература

1. Волокитин О. Г., Мингажева Ю. Г. Технология обработки золотосодержащей пульпы наносекундными электромагнитными импульсами // Энергетик. – 2023. – № 11. – С. 55-58.
2. Волокитин О. Г., Мингажева Ю. Г. Характеристики электродных систем в технологии обработки золотосодержащей пульпы наносекундными электромагнитными импульсами // Промышленная энергетика. – 2023. – № 8. – С. 35-42.
3. Чантурия В. А. и др. Вскрытие упорных золотосодержащих руд при воздействии мощных электромагнитных импульсов // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение Российская академия наук, 1999. – Т. 366. – № 5. – С. 680-683.
4. Чантурия В. А. и др. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. – 2006.
5. Чантурия В. А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Горный журнал. – 2005. – № 12. – С. 56-64.