

Таким образом, по сравнению с традиционным одностадийным процессом помола, применение предложенной первой стадии грубого измельчения повышает производительность на 7-17% и снижает удельные затраты энергии на 7-15%. Применение же последней стадии тонкого измельчения, при уменьшении производительности на 30-42%, снижает удельные затраты энергии на 20-33 %.

Литература

1. Науменко Ю. В. Основи теорії режимів роботи барабанних млинів: Монографія / Ю. В. Науменко. – Рівне : Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 282 с.
2. Рекомендації до розрахунку, проектування та експлуатації барабанних млинів багатостадійного подрібнення / Ю. В. Науменко. – Рівне: Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 88 с.
3. Спосіб багатостадійного подрібнення в барабанному млині: Пат. 58177U України, МПК В 02 С 17/00 / Науменко Ю.В. – № u201009043; Заяв. 19.07.10; Опубл. 11.04.11, Бюл. № 7. – 8 с.

УДК 622.277

Моделирование процесса подземного выщелачивания сульфидной меди

Козяр В.А., Маланчук Е.З.

Национальный университет водного хозяйства
и природопользования, г. Ровно

Ежегодные потребности Украины в меди составляют примерно 160...175 тыс. т, из которых 20 % обеспечиваются собственным медным ломом, а остальное, в виде черновой меди, приходится завозить из соседних стран – России и Польши. Высокая ценность и большой интерес к меди связаны с уникальным сочетанием физических свойств, что обеспечивает ей широкое использование.

В Украине медь не добывается – ведутся только геологоразведочные работы, которые показали, что ее запасы в недрах государства позволяют вести предпромышленную подготовку. Разведанное ровенскими геологами во Владимирецком районе Ровенской области месторождение сульфидной меди с промышленным содержанием полезного компонента до 0,445% невозможно разрабатывать карьерным или шахтным методами из-за сложных горно-геологических условий: чрезвычайно интенсивная водоносность продуктивных отложений, а также перекрывающих и подстилающих пород [1].

Необходимым условием разработки месторождений сульфидной меди в пределах Ровенско-Волинского региона Украины является применение геотехнологических способов добычи, к которым относится метод скважинного гидродобычи с применением подземного бактериального выщелачивания. Процесс разрушения породы происходит за счет гидродинамического действия струи с образованием фракции материала, что обеспечит максимальную площадь контакта полезного компонента с растворителем. Процесс растворения сульфидной меди зависит от выбора растворителя, его концентрации, интенсивности перемешивания пульпы и температурного режима в камере размыва. Исследование данных факторов и их влияния на процесс добычи, позволят определить зависимости, в которых находится скорость растворения сульфидной меди и повысить полноту извлечения полезного компонента с породы с минимальным вредным воздействием на окружающую среду.

Для определения зависимостей скорости растворения сульфидной меди были проведены лабораторные эксперименты с моделированием процесса выщелачивания с учетом концентрации растворителя CH_2SO_4 , интенсивности перемешивания пульпы и при температурном режиме в камере размыва $T = 308 \text{ K}$.

В ходе эксперимента определено, что в присутствии окислителя Fe^{3+} соответствующей концентрации $\text{CFe}^{3+} = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ г-ион/м}^3$ халькопирит различных генетических типов растворяется с различными скоростями. Для извлечения меди из сульфидной руды были применены процессы биовыщелачивания и биоокисления. Сульфиды меди достаточно хорошо окисляются специфическими микроорганизмами *Thiobacillus ferrooxidans*, которые переводят сульфиды в сульфатную, хорошо растворимую форму.

Реакции окисления сульфидов чаще многоступенчатые, с получением разного рода промежуточных продуктов. При растворении халькопирита и сфалерита в растворах сульфат окиси железа является элементная сера, образующаяся на поверхности минерала и создающая диффузионное ограничение. Поскольку основным фактором, лимитирующим процесс растворения, является элементная сера, в работе использовали как кислые растворы сульфата окиси железа, так и микроорганизмы *Th. Ferrooxidans*, способные окислять в присутствии кислорода не только ионы двухвалентного железа, но и серу [2]. Это объясняется как структурными особенно-

стями различных образцов CuFeS_2 , так и наличием примесей, способствующих возникновению гальванических пар. Зависимость скорости растворения от интенсивности перемешивания очевидна.

Обобщенная модель зависимости скорости растворения халькопирита от интенсивности перемешивания пульпы имеет вид представленный на рис. 1.

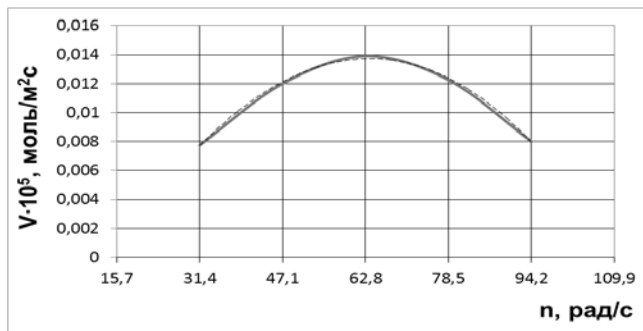
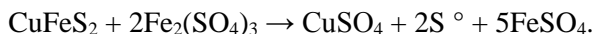


Рис. 1. Обобщенная модель зависимости скорости растворения халькопирита от интенсивности перемешивания: $C_{\text{Fe}^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м³, $T = 308$ К; $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,05 \cdot 10^{-3}$ моль/м³: сплошная линия – экспериментальные данные; пунктирная линия – линия аппроксимации с коэффициентом достоверности $R^2=0,997$.

Как видно из рисунка 1, при повышении оборотов диска, который обеспечивает перемешивание пульпы, более 62,8 рад/с эта зависимость нарушается. Причиной тому является образование пленки серы при растворении халькопирита:



Кроме того, микроорганизмы при повышенных оборотах диска не могут закрепиться на твердой поверхности и снизить тем самым диффузионное сопротивление путем растворения пленки элементарной серы.

В присутствии микроорганизмов в количестве $10 \dots 10^2$ кл/м³ скорость растворения минералов возрастает в 2 раза по сравнению с растворением халькопирита только в присутствии ионов Fe^{3+} .

Было отмечено, что в тех опытах, где содержание микроорганизмов спонтанно повышался до 10^3 кл/м³, скорости растворения увеличивались в 10 и даже в 50 раз.

Изгиб кривой на рис. 2 наблюдается так же, как и на рис. 1.

При применении различных по составу растворителей характер зависимостей несколько изменился с повышенными значениями скорости растворения (рис. 3).

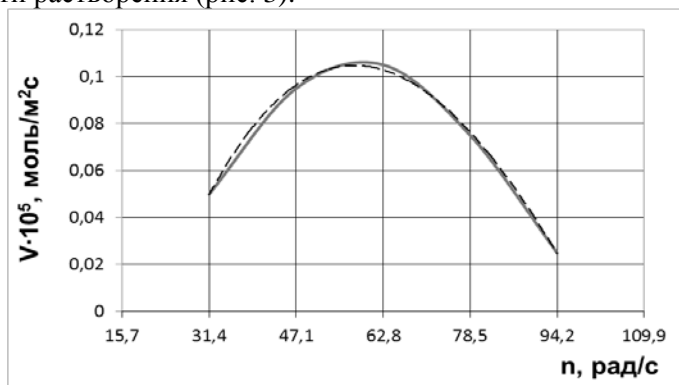


Рис. 2. Обобщенная модель зависимости скорости растворения халькопирита от интенсивности перемешивания (n) в бактериальной среде:

Th. ferrooxidans 10^2 кл/м³; $C_{Fe^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м³, $T = 308$ К; коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,997$.

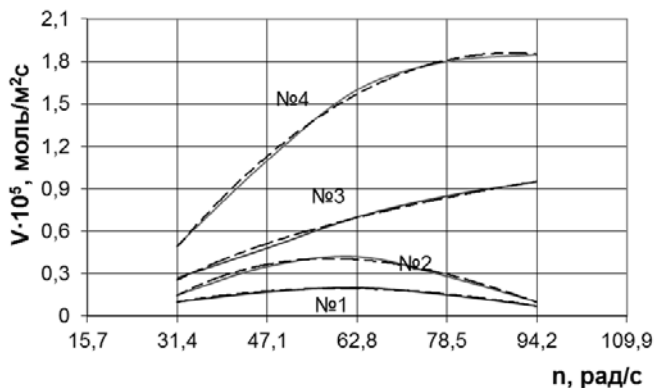


Рис. 3. Зависимость скорости растворения халькопирита от интенсивности перемешивания (n) в различных растворителях: 1 – $C_{H_2SO_4} = 0,05 \cdot 10^{-3}$ моль/м³; $C_{Fe^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м³, $T = 308$ К; 2 – бактериальная среда; $C_{Fe^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м³, $T = 308$ К; 3 – $C_{H_2SO_4} = 0,05 \cdot 10^{-3}$ моль/м³; $C_{Fe^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м³; $C_{\Gamma} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ г/м³; $T = 308$ К; 4 – комбинированный реагент, $T = 308$ К.

Аппроксимация и статистическая обработка опытных данных проводилась в программных пакетах MathCad и Microsoft Excel. Экспериментальные данные аппроксимировались полиномами третьей степени, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

| Условия исследований | Зависимость |
|--|--|
| Скорость растворения халькопирита в зависимости от интенсивности перемешивания пульпы: $C_{Fe^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м ³ ; $T = 308K$; $C_{H_2SO_4} = 0,05 \cdot 10^{-3}$ моль/м ³ | $V = -5 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,009 \cdot n - 0,009$ |
| Скорость растворения халькопирита в зависимости от интенсивности перемешивания пульпы (n) в бактериальной среде: <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 102кл/м ³ ; $T = 308 K$ $C_{Fe^{3+}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ г-ион/м ³ ; | $V = -3 \cdot 10^{-7} \cdot n^3 + 0,011 \cdot n - 0,195$ |
| Скорость растворения халькопирита в зависимости от интенсивности перемешивания пульпы (n) в различных растворителях: (рис. 3, 1...4 – состав растворителя) | $V = 2 \cdot 10^{-7} \cdot n^3 - 0,0002 \cdot n^2 + 0,0157 \cdot n - 0,252$ |
| | $V = 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^3 - 0,0006 \cdot n^2 + 0,0555 \cdot n - 1,02$ |
| | $V = 0,6359 \cdot \ln(n) - 1,9378$ |
| | $V = -0,0004 \cdot n^2 + 0,0726 \cdot n - 1,39$ |

Таким образом, проведенные исследования моделирования процесса выщелачивания сульфидной меди показывают, что скорость растворения сульфидной меди находится в полиномиальной зависимости третьей степени от интенсивности перемешивания пульпы, которая не должна превышать 62,8 рад/с.

Литература

- Маланчук, З.Р. Характеристика покладів сульфідної міді в Рівненсько-Волинському регіоні / З.Р. Маланчук, В.О. Козяр // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ, 2009. – Вип. № (24). – С. 35-39.
- Сидякина, Г.Г. Минералого-технологические типы медьсодержащих руд в вулканитах Вольны и особенности их биовыщелачивания / Г.Г. Сидякина, Т.В. Носальская // Минералогический журнал. 2008. – №4. – С. 91-96.