

УДК 622.838

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
В ПРОЦЕССЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Н. Жалгасулы

Рассмотрены способы разупрочнения руды как в массиве, так и в предварительно раздробленной и замагазинированной в недрах с использованием зарядов твердого и жидкого ВВ, электрогидравлического эффекта и гидравлических импульсаторов. В результате развиваются волновые процессы, которые могут быть использованы для разупрочнения массива и интенсификации процесса выщелачивания.

Ключевые слова: уран; выщелачивание; жидкое ВВ.

PHYSICOCHEMICAL GEOTECHNOLOGY IN THE PROCESS OF LEACHING INTENSIFICATION

N. Zhalgasuly

The article deals with the methods of ore softening, both in the array and in the pre-fragmented and stored ore in situ using charges of solid and liquid explosives, electrohydraulic effect and hydraulic pulsers. Under the influence of these methods wave actions are excited, which can be used for softening of the array and intensification of the leaching process.

Key words: uranium; leaching; liquid explosives.

Основными факторами, влияющими на снижение интенсивности выщелачивания полезных компонентов из руды являются: достижение предела распространения диффузионных процессов в куске руды (для скальных руд это обычно 100 мм); кольматация порового пространства и поверхности руды продуктами разложения рудных и нерудных минералов (особенно карбонатных) выщелачивающими растворами; уменьшение скорости растворения металлов из-за снижения содержания их в руде в процессе выщелачивания; каналирование потоков выщелачивающих растворов в выщелачиваемом массиве.

Известны физические, химические и механические способы интенсификации процесса выщелачивания [1, 2].

К физическим способам относятся использование полей постоянного или переменного электрического тока, высокочастотного электромагнитного поля, ультразвуковых колебаний, термического или радиационного воздействия, воздействия импульсов высокого давления.

Химические способы интенсификации предполагают использование катализаторов, окислителей с высоким содержанием кислорода, а также серо- и железоокисляющих бактерий (*Tiobacillus Ferrooxidans*) [3].

Механические способы основаны на нарушении равновесия действующих в массиве руды сил сцепления за счет кинетической энергии перемещаемой среды. При подземном выщелачивании производится частичный выпуск не полностью выщелоченной замагазинированной руды, обрушение подрудного дренажного целика на выработки нижней подсечки; при кучном выщелачивании – используются пневмонадувные баллоны, закладываемые в основание кучи. Сюда же относится периодическое встряхивание выщелачиваемой руды взрыванием зарядов ВВ.

Нами был исследован способ интенсификации выщелачивания импульсами высокого давления, возбуждаемыми в выщелачиваемом массиве с достаточно высокой частотой.

Импульсы высокого давления при достаточно большой величине их энергии приводят к разрушению руды вследствие воздействия ударных и отраженных волн или за счет расширения и удлинения трещин под воздействием “гидравлического клина”. Это приводит к уменьшению крупности кусков руды, а также к их перемещению и соударению. При этом поверхность руды освобождается от продуктов разложения минералов. Кроме того, воздействие импульсов высокого давления ускоряет движение растворов на границе раздела твердой

и жидкой фаз, а также усиливает проникновение растрескивания в трещины и поры.

Разупрочнение рудного массива – это увеличение его трещиноватости, уменьшение размеров отдельностей и, соответственно, повышение его проницаемости для различных флюидов. То же касается и рудного массива при выщелачивании металлов из предварительно раздробленной и замагазинированной руды.

В данном случае средством разупрочнения являются налагаемые на руду импульсы высокого давления.

Из известных способов возбуждения импульсов высокого давления наибольший интерес представляют следующие:

- взрывы зарядов твердого или жидкого ВВ;
- электрогидравлический эффект;
- гидравлический импульсатор.

При взрыве заряда ВВ в среде под действием огромного давления газообразных продуктов взрыва возникает ударная волна, переходящая в волну сжатия и затем в сейсмическую волну.

При взрыве ВВ в гетерогенной среде, в жидкой фазе также распространяются волны сжатия и растяжения, воздействующие на процессы, происходящие на границе раздела фаз.

Электрогидравлический эффект заключается в том, что при возникновении внутри объема жидкости специально сформированного импульсного электрического разряда вокруг зоны его образования, возникает сверхвысокое гидравлическое давление, вызывающее развитие процессов, которые способны выполнить механическую работу.

При электрическом разряде в жидкости на окружающую среду воздействуют: волновое поле; высокоскоростные жидкостные струи; акустические и термические излучения; электромагнитное поле. Скорость выделения энергии на единицу волны межэлектродного промежутка составляют 10^{14} – 10^{17} Вт/с, энергия ударной длины составляет $0,57$ – $0,59 E_0$, энергия волн сжатия $\approx 0,28 E_0$, где E_0 – начальная энергия в зоне импульсного источника.

Электрический разряд и взрыв ВВ в жидкой среде можно сопоставить по энергетическому критерию – тротиловому эквиваленту.

$$E_{\text{э}} = E_{\text{ВВ}} \cdot \eta_T,$$

где $E_{\text{э}}$ – величина энергии при электрическом разряде; $E_{\text{ВВ}}$ – величина энергии при взрыве ВВ; η_T – тротиловый эквивалент ($0,18$ – $0,3$ в зависимости от вида взрыва).

Эквивалентность величины энергии, накопленной перед разрядом и энергии тротила, определяется как

$$E_{\text{т}} = \xi E_{\text{э}} q^{-1},$$

где q – удельная энергия заряда ВВ; ξ – энергетический эквивалент, учитывающий параметры разрядного контура.

Действие гидравлического импульсатора основано на явлении гидравлического удара, возникающего при мгновенном затормаживании потока жидкости в трубопроводе. Это сопровождается повышением давления на 10 – 12 кг/см² на каждый 1 м/с скорости заторможенной жидкости.

Энергия жидкости, движущейся под воздействием гидравлического удара равна

$$A = \frac{\gamma Q V}{2gK}, \text{ кДж},$$

где γ – плотность жидкости; Q – расход жидкости через гидроимпульсатор; V – скорость истечения жидкости; K – частота ударов.

При соответствующем подборе параметров процесса все три способа возбуждения импульсов высокого давления могут быть использованы для разупрочнения массива и интенсификации процесса выщелачивания.

Было изучено воздействие на изменение granulometric состава руды импульсов высокого давления, создаваемых взрывом и электрогидравлическим эффектом.

Цель использования импульсов высокого давления – вторичное дробление и рыхление руды, замагазинированной в выщелачиваемом блоке.

При первичном взрывном дроблении руды с целью подготовки ее к выщелачиванию выход класса $+200$ мм может достигать 15 – 20 %, что приводит к быстрому снижению извлечения полезных компонентов.

Расход ВВ на повторное дробление и разрыхление замагазинированной руды определяется по общему энергетическому уравнению разрушения уже нарушенных взрывом пород:

$$q = K \left[\frac{10 \sqrt{f(\sqrt{f+0.061gV_n})} (2+\mu) \sum \lg \frac{D}{d_{1..m}} + \frac{\rho \ln Kp}{2} V_0^2 10^3}{\eta Q_v} \right],$$

где q – удельный расход ВВ, кг/м³; K – коэффициент пропорциональности, учитывающий характер связей зажатых кусков, число обнаженных поверхностей дробимого массива и характер действия взрыва ($K = 1,4$ – $1,5$); f – коэффициент крепости руды по Протодьяконову; V_n – скорость нагружения пород взрывом, Па/с ($V_n \approx 1 \cdot 10^8$); μ – коэффициент Пуассона массива замагазинированной руды:

$$\mu = \frac{Cp^2 - 2Cs^2}{2(Cp^2 - Cs^2)},$$

здесь Cp и Cs – соответственно скорости прохождения продольной и поперечной волн в массиве разрушенной руды; $\sum \lg \frac{D}{d}$ – показатель дробления

руды, определяемый через средневзвешенный размер куска d_c (см); D – размер максимального куска замагазинированной руды; $d_{1...r}$ – средний размер куска внутри класса крупности, м; ρ – плотность руды, кг/м³; K_r – коэффициент разрыхления замагазинированной руды; Q – потенциальная энергия взрыва, кДж/кг; η – КПД взрыва ($\eta = 0,02-0,03$).

При вторичном дроблении предварительно осушенного массива средневзвешенный размер куска может уменьшиться примерно в два раза, а коэффициент разрыхления увеличиться на 15–20 %.

При взрывании обводненного массива усиливается волновое воздействие взрыва и снижается воздействие газообразных продуктов взрыва. Значительно снижается роль ударного взаимодействия кусков руды. В итоге интенсивность повторного дробления уменьшается. Так, при равных условиях при взрыве в водной среде величина вновь образованной поверхности уменьшается вдвое.

Доля волн напряжения в работе дробления при взрыве в обводненных условиях составляет около 20 % (против 5 % при взрыве в воздухе), а доля газообразных продуктов – около 80 % (против 95 %).

Механизм разрядно-импульсного разрушения минеральных сред во многом определяется особенностями действия разрядно-импульсных (РИ) источников. Электрический разряд в жидкости, как и взрыв зарядов химических ВВ, является мощным источником импульсных нагрузений [1].

Исследования показали, что 1 г тротила эквивалентен по своей энергии 4–5,5 кДж накопленной электрической энергии. При взрыве заряда ВВ образуется большое количество газообразных продуктов, объем которых в (2–4) 10 раз превышает первоначальный объем заряда ВВ. Давление газообразных продуктов взрыва во взрывной камере достигает 500 МПа, т. е. газы являются источником дополнительных форм механической работы по разрушению (первичной ударной волны и вторичных волн сжатия). Отсюда следует, что при электрическом разряде в жидкости минеральная среда испытывает в основном бризантное воздействие.

При электрическом разряде в жидкости, в отличие от взрыва ВВ, спектр частот импульса представлен высокочастотными колебаниями (преобладают 2–10 кГц); при взрыве заряда ВВ спектр включает низкочастотные колебания (от 200 до 5 кГц). Известно, что с увеличением частоты импульса поглощающая способность горных пород возрастает. Отсюда следует, что при электрическом разряде в жидкости интенсивность затухания колебаний выше, а действие разрядно-импульсного (РИ) источника оказывает меньшее объемное разрушение среды, чем заряд ВВ той же энергии [4].

Основной причиной низкой интенсивности извлечения полезных компонентов при выщелачивании руды в естественном залегании является низкая проницаемость массива, большой размер слагающих его отдельностей. При выщелачивании руды, раздробленной буровзрывными работами и замагазинированной, интенсивность выщелачивания снижается главным образом из-за коагуляции пор и поверхности кусков руды продуктами разложения минералов и создания в выщелачиваемом массиве постоянных каналов движения растворов из-за неравномерности гранулометрического состава руды и местного вымывания мелких классов руды.

При выщелачивании в массиве естественного залегания импульсы высокого давления, возбуждаемые взрывом или электрическим разрядом (при наличии жидкой фазы), способствуют раскрытию имеющихся и образованию новых трещин, уменьшению размеров слагающих массив отдельностей и повышению его проницаемости. Возникающий при этом эффект “гидравлического клина” способствует раскрытию трещин и проникновению выщелачивающих растворов в мельчайшие поры [5].

При выщелачивании замагазинированной руды импульсы высокого давления способствуют дополнительному дроблению руды (за счет возбуждаемых волн сжатия и растяжения и соударения кусков руды), декоагуляции пор и поверхности кусков, разрыхлению выщелачиваемого массива и ликвидации проточных каналов.

Литература

1. *Аренс В.Ж.* Интенсификация процесса подземного выщелачивания в электромагнитных полях / В.Ж. Аренс, Н.В. Перов, Л.И. Лунев. М.: МГРИ им. С. Орджоникидзе, 1978. 305 с.
2. *Озолин Л.Т.* Выщелачивание меди из медьсодержащих руд под действием внешних полей / Л.Т. Озолин, Л.П. Русихина // Сб. трудов МГИ. М., 1968. С. 218–222.
3. *Рыбаков Ю.С.* Применение электрических полей для интенсификации выщелачивания руд цветных металлов / Ю.С. Рыбаков, Б.Д. Халезов, В.И. Ермаков и др. // Комплексное использование минерального сырья. Алма-Ата, 1983. № 6. С. 20–24.
4. *А.С. № 1581761.* СССР. Способ кучного выщелачивания меди из руд / Авторы: Алтаев Ж.А., Жалгасов Н.Ж., Скрипченко Л.Н. и др. Опубл. 30.07.90.
5. *Алтаев Ш.А.* К вопросу выщелачивания металлов из рудных целиков / Ш.А. Алтаев, Н.Ж. Жалгасов и др. // Сб. трудов школы-семинара. М.: ГИГХС, 1985. С. 179–181.