

## **Гр. ГП-18. Физико-химическая геотехнология**

### **Практическое занятие № 1**

#### **Задание:**

***Рассчитать параметры БВР для получения горнорудной массы под подземное выщелачивание.***

Многолетний опыт работы ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» («ППГХО») по подземному (ПВ) и кучному (КВ) выщелачиванию урановых руд свидетельствует, что высокая степень извлечения металла при низкой себестоимости готовой продукции может быть обеспечена при условии выбора оптимального гранулометрического состава выщелачиваемой руды. Для оценки качества дробления выщелачиваемой руды правомерно учитывать влияние на кинетику выщелачивания скальных руд помимо геометрических параметров частиц, также и структурно-текстурные факторы и механизм действия взрыва. Отбитая взрывом порода представляет собой крайне неоднородный по размеру кусков и степени микротрещиноватости обломочный материал. Сопротивление такой среды потоку жидкости при прочих равных условиях тем выше, чем меньше крупность составляющих его кусков. Если ширина межкусового пространства будет соизмерима с толщиной диффузионного слоя при естественной конвекции, то свободное движение растворов будет затруднено, следовательно, реализовать инфильтрационный режим выщелачивания будет невозможно. Ухудшению фильтрационных свойств выщелачиваемой руды способствуют и физико-химические факторы (сжимаемость среды, возникновение двойного электрического слоя на границе раздела твердой и жидкой фаз в присутствии ионов), поскольку рудная мелочь в процессе орошения будет увлекаться раствором и оседать в узком межкусовом пространстве. По этой причине не всегда может себя оправдать тенденция уменьшения коэффициента разрыхления при отбойке и чрезмерного измельчения выщелачиваемой руды.

Исходя из форм механической работы взрыва, бризантное его действие проявляется в непосредственной близости от поверхности заряда и расходуется на раздавливание и измельчение породы. Однако в полной энергии взрыва при дроблении трещиноватых руд наибольшая часть приходится на долю фугасного действия, которое проявляется вплоть до значительных расстояний от зарядов, формируя зону трещинообразования. Степень же дробления породы пропорциональна полной энергии взрыва, следовательно, чтобы уменьшить крупность, необходимо увеличить полную энергию. Это приведет к увеличению выхода мелочи, а также к уплотнению замагазинированной руды и, следовательно, росту фильтрационного сопротивления. То есть переизмельчение выщелачиваемой руды нежелательно. Кроме того, необоснованное уменьшение крупности руды приведет к дополнительным затратам труда и средств на буровзрывные работы и излишнему расходу реагента. Против необходимости чрезмерно мелкого дробления говорит и тот факт, что в отбитой руде мелкие фракции имеют более высокое содержание урана, чем крупные и средние, причем на их долю приходится до 85-95 % от общего количества металла. Может оказаться, что, несмотря на заметный выход крупных классов в отбитой для целей выщелачивания руде, они не оказывают отрицательного влияния на степень извлечения из-за низкого содержания в них металла.

Для выщелачивания оптимальным следует считать гранулометрический состав, при котором обеспечивается требуемая полнота извлечения полезного компонента и минимальные затраты труда и средств на получение готовой продукции. В этой связи изучение природных свойств рудного массива, определяющих его геотехнологические параметры, приобретает решающее значение для правильной оценки гранулометрического состава выщелачиваемого материала.

Одним из определяющих свойств руды, отбитой для выщелачивания, является неоднородность распределения полезного компонента ( $N$ ) по

гранулометрическим классам, которая учитывается при вычислении размера средневзвешенного куска по содержанию урана ( $d_c$ ).

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i C_i)}{n} / (C_{cp} \sum_{i=1}^n d_i F_i) \quad (184)$$

где  $d_i$  - размер средневзвешенного куска по массе в классах крупности 1, 2, 3... $n$ , мм;  $C_i$  - содержание урана в классах крупности 1, 2, 3... $n$ , %;  $n$  - количество классов крупности;  $C_{cp}$  - среднее содержание урана в горнорудной массе, %;  $F_i$  - выход класса, доли ед.

$$d_i = d (1 + N), \text{ мм} \quad (185)$$

$d$  - размер средневзвешенного по массе куска в общем объеме горнорудной массы, мм.

Таким образом, неоднородность отбитой руды по содержанию металла можно охарактеризовать величиной относительного отклонения количества металла в различных кусках руды от количества металла в средневзвешенном по содержанию урана куске. При сравнительной оценке гранулометрических характеристик отбитой руды установлено, что чем меньше величина  $d_c$ , тем более однородна руда по распределению урана в разных классах крупности.

Важнейшим показателем, определяющим успех подземного выщелачивания при разработке скальных пород, является обеспечение заданной крупности дробления массива. Специфика определения параметров буровзрывных работ при подготовке руды к подземному и кучному выщелачиванию состоит в том, что гранулометрический состав выщелачиваемой руды должен обеспечивать рациональные геотехнологические параметры, включая полноту извлечения урана, за весь период выщелачивания.

Данные литературных источников и исследования Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) ОАО «ППГХО» в фильтрационных колоннах указывают на то, что при среднем размере куска взрываваемой

рудной массы равном 0,2 м (размер кондиционно куска 0,4 м) коэффициент извлечения металла составляет 0,4-0,6, при среднем размере куска 0,06-0,07 м (размер кондиционно куска 0,12-0,14 м) коэффициент извлечения металла составляет 0,7-0,8.

Трещиноватый горный массив месторождений ОАО ППГХО представлен широким разнообразием литологических разновидностей вмещающих пород. Это в основном фельзиты, трахидациты, песчаники, конгломераты, гравелиты, граниты. Физико-технические свойства обрабатываемых массивов и образцов пород, влияющие на качество дробления массива взрывом, изменяются в широких пределах.

Экспериментальный путь в выборе параметров БВР, обеспечивающих заданную степень дробления трещиноватого массива с таким широким спектром физико-технических свойств, является не перспективным. В связи с этим разработана теория деформирования и разрушения трещиноватого массива в условиях горного давления, при взрыве группы зарядов ВВ вблизи открытой поверхности. Получены аналитические формулы расчета параметров БВР, обеспечивающих заданную степень дробления различных по физико-техническим свойствам горных массивов.

Расстояние между скважинами (концами скважин) в группе, обеспечивающее заданную степень дробления, равно:

$$a = 2 R_p \cdot K_{II} \quad ()$$

где  $R_p$  – размер зоны регулируемого дробления трещиноватого массива взрывом одиночного заряда ВВ, в пределах которой размер крупных кусков не превышает кондиционного;

$K_{II}$  коэффициент, учитывающий взаимодействие зарядов ВВ по линии скважин,  $K_{II}=2$ .

$$R_p = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \cdot \frac{D \rho_B d_3 c v \cdot (1 - \frac{\mu v}{1 - v})}{[\sigma_p + P(1 - \frac{\mu v}{1 - v})] \cdot (1 - v) \Phi} \cdot \sqrt{\frac{d_\kappa}{d_e}}, \quad ()$$

Использование формулы 187 вызывает определенные сложности при выборе параметров для расчетов и точность определения  $R_p$ , за счет большой вариации физических свойств отдельностей массива. Согласно проведенных исследований комплекс физических свойств можно выразить через коэффициент крепости. Учитывая глубину разработки месторождений «ППГХО» формулу 187 можно представить в упрощенном виде:

$$R_p = \frac{D \rho_B d_3}{2,5 f^{0.5} \Phi} \cdot \sqrt{\frac{d_\kappa}{d_e}} \cdot 10^{-4}. \quad ()$$

где  $D$  – скорость детонации,  $D = 4 \cdot 10^3$  м/с;

$\rho_B$  – плотность заряжения,  $\rho_B = 1,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;

$d_3$  – диаметр заряда ВВ,  $d_3 = 0,065$  м;

$d_e$  – средний размер отдельности,  $d_e = 0,3$  м;

$\Phi$  – показатель трещиноватости,  $\Phi = 9$ ;

$d_\kappa$  – размер кондиционного куска,  $d_\kappa = 0,2$  м;

$f$  – коэффициент крепости пород по М.М. Протоdjаконову,  $f = 8$ .

Число скважин в группе, обеспечивающее отбойку массива в камере определенной ширины равно:

$$n = \frac{h_\kappa}{a} + 1$$

Где  $h_\kappa = 50$  м - ширина камеры, м

$a = 2 R_p \cdot K_{II}$  - расстояние между концами скважин

Линия наименьшего сопротивления (ЛНС), обеспечивающая отбойку массива и заданную его степень дробления равна:

$$W = R_p (2.5 K_{\perp}^2 n^*)^{1/3} \quad ()$$

где  $n$  – предельное число зарядов ВВ, при котором наблюдается их взаимодействие и усиление действия взрыва,  $n^*$  не должна превышать  $n$  и определяется из выражения

$$n^* = \mu^{-1} + 1 \quad ()$$

где  $\mu$  – коэффициент трения между отдельностями в горном массиве,  $\mu = 0,4$ .

$K_{\perp}$  - коэффициент усиления действия взрыва (за счет взаимодействия зарядов ВВ в группе).  $K_{\perp} = 2$

Проектный удельный расход ВВ для обеспечения заданной степени дробления равен:

$$q_{II} = K_3 \frac{\pi \rho_B n d_3^2}{4 h_K W}, \quad ()$$

где  $K_3$  - коэффициент заполнения скважины ВВ = 0,9.

Интервал замедления между группами последовательно взрываваемых вееров зарядов, обеспечивающей улучшение качества дробления массива взрывом за счет взаимодействия полей напряжения(деформаций) от предыдущего и последующего взрывов равен:

$$\tau = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{W^2 \cdot \Phi^{0,5}}{D \cdot \rho_B \cdot d_3 \cdot K_{\perp}}, \quad \text{мс}$$

Для численного расчета параметров БВР, обеспечивающих заданную степень дробления были проведены специальные исследования, позволившие разделить трещиноватые массивы рудников ОАО ППГХО на классы по взрываемости. Численные значения свойств трещиноватого массива и отдельные параметры воздействия взрыва приведены в таблице 4.8.

Основой для определения  $R_p$  и остальных параметров БВР является средний размер естественной отдельности в массиве (среднее расстояние между трещинами всех систем), определяемые по обнажениям горно-подготовительных выработок.

Опытно-промышленные работы по проверке достоверности разработанных формул расчета проведены при подготовке экспериментальной части блока 4-310 рудника № 4 к подземному выщелачиванию. Вмещающие породы – среднезернистые песчаники с размером отдельности 0,15-0,40 м. Рудный пласт мощностью 0,5-1,0 м представлен туфами и туфобрекчиями липаритов с размером отдельностей 0,05-0,15 м и имеет пологое залегание. Глубина залегания подготавливаемого массива 180 м. Физико-технические свойства массива и образцов пород для расчета параметров БВР взяты из систематизированных результатов многолетних исследований СибНИПИпромтехнологии. Диаметр скважин 0,105 м, ВВ – аммонит 6-ЖВ диаметром 90 мм. Ширина очистного пространства, на которое производится отбойка, равна 3,0 м. Кондиционный размер куска – 0,2 м.

Расчетные параметры взрывных работ (ВР): расстояние между скважинами (концами скважин) – 1,8 м; ЛНС – 1,5 м; удельный расход ВВ – 2,5 кг/м<sup>3</sup>. Объем подготовленного к взрыву массива составил 1,8 тыс. м<sup>3</sup>, масса заряда ВВ – 4,5 т. Взрыв проводился короткозамедленно на компенсационные выработки, интервал замедления – 25 мс. После взрыва, линейным методом определен грансостав по 5 линиям. Установлено, что средневзвешенный размер куска составил 0,06 м, выход фракции +200 мм – 3,2 %, что указывает на достоверность полученных формул.

Использование формул расчета рациональных параметров БВР при подготовке к ПВ блоков 4-310 (вмещающие породы – песчаники, туфопесчаники, туфы липаритов), 4-302 (конгломераты, туфобрекчии, песчаники) на руднике № 4, блока 2-300 (разногалечные конгломераты, гравелиты) – рудник № 2, позволило увеличить коэффициент извлечения закиси-окиси урана с 0,6-0,63 до 0,7-0,75. Рациональные параметры БВР рассчитаны и включены в проект подготовки блока 4в-715 к ПВ (вмещающие породы – флюидальные трахидациты). Технико-экономической оценка отработки блока 4в-715 способом ПВ по сравнению с другими системами разработки показала, что отработка блока 4в-715 способом ПВ позволит получить снижение себестоимости готовой продукции на 10 % в сравнении с системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой и на 15 % в сравнении с системой подэтажные штреки.

Приведенные формулы расчета оптимального гранулометрического состава взорванной рудной массы (по фактору выщелачивания) и параметров БВР для достижения заданного грансостава позволяет обеспечить рациональные геотехнологические параметры (включая полноту извлечения урана) как при подземном, так и при кучном выщелачивании (Патент на изобретение № 2239783) .