

*Нысанов Е.К., Сабыралиева Б.Н.*

## ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЗАКИСЛЕНИЯ И ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЛОКОВ

*E.K. Nysanov, B.N. Saparaliev*

## GEOTECHNOLOGICAL MODES ACIDIFICATION AND LEACHING OF BLOCKS

УДК: 574.315

*В статье изложены геотехнологические режимы закисления и выщелачивания блоков горнорудной массы.*

*In article presented geotechnological modes acidification and leaching the ore mass units.*

Одними из основных контролируемых параметров в процессе закисления и выщелачивания блоков являются количество кислоты в килограммах, поданное на тонну горнорудной массы блока, вовлеченной в переработку и концентрация кислоты в выщелачивающих и продуктивных растворах, г/л.

Согласно требованиям стандарта предприятия СТП Г2 с 79-83 «Растворы подземного выщелачивания для сорбционного извлечения урана» остаточная кислотность в продуктивных растворах на всех стадиях выщелачивания не должна превышать 3 г/л.

Оптимальным значением остаточной кислотности в продуктивных растворах при выщелачивании до Ж: Т= 1,5-2,0 является кислотность 2-3 г/л. При кислотности выше 3 г/л увеличивается расход кислоты и ухудшаются условия сорбционной переработки растворов, а при кислотности ниже 2 г/л развиваются процессы гидролиза, сопровождающиеся осаждением гидроксила урана [1-2].

Концентрация кислоты в выщелачивающих растворах в зависимости от стадии отработки блока может варьировать в следующих пределах:

закисление – от 50-20г/л до 15-140 г/л

выщелачивание – от 20-10 г/л до 3 г/л,

довыщелачивание – от 3 до 1,5 г/л (маточники сорбции).

Закисление блоков можно осуществлять двумя способами: прямое закисление -ВР подают в закачные скважины, и растворы откачивают через откачные скважины; опережающее (« пассивное») закисление- ВР подают в рудное тело через откачные скважины, без откачки растворов.

Примерная динамика подачи кислоты в зависимости от стадии отработки приведена в табл.1. Для каждого месторождения должна разрабатываться уточненный режим подачи кислоты. Удельный расход кислоты на тонну горнорудной массы индивидуален для каждого месторождения и зависит от кислотоемкости руды и вмещающих пород.

Таблица 1

Динамика подачи кислоты

Стадия отработки	Ж:Т	Удельный расход кислоты, кг/т ГРМ	Остаточная кислотность в ПР, г/л	Концентрация кислоты в ВР, г/л
Закисление	до 0,25	до 4,5-6,0	3,0-2,0	50-10
Активное выщелачивание	0,2-0,6	3,6-8,5	3,0-2,0	15-6
Выщелачивание	0,5-1,2	5,0-10,5	3,0-2,0	10-5
Довыщелачивание	1,0-1,6	7,0-12,0	2,0-1,5	8-3
Отмывка	1,5-3,0	8,0-14,0	1,5	3-1,5

Режим подачи кислоты[2-3]: значение расхода кислоты по стадиям отработки в таблицах приведено с учетом остаточной кислотности. В расчетах среднего расхода кислоты использовано значение остаточной кислотности 3 г/л; под количеством кислоты подаваемой на 1 т горнорудной массы, подразумевается количество 100% кислоты, добавленное в выщелачивающие растворы для подкисления; кислотность выщелачивающих растворов должна корректироваться в процессе эксплуатации блока в соответствии с остаточной кислотностью продуктивных растворов. При большой остаточной кислотности ПР концентрация кислоты в ВР уменьшается, а при низкой кислотности ПР- увеличивается. Но при этом необходимо учитывать время реагирования- время, за которое новые порции раствора, поданного в закачную скважину, дойдут до откачной скважины; при отработке блоков до Ж:Т=1,0 остаточная кислотность не должна быть ниже 2,0 г/л; при отработке блоков от Ж:Т=1,0 до Ж:Т = 2,0 , остаточная кислотность не должна быть ниже 215 г/л; после достижения стадии выщелачивания по Ж:Т = 2,0, дальнейшую отработку блоков ведут маточниками сорбции с кислотностью 1,5-2,5 г/л без дополнительного подкисления; продолжительность опережающего режима закисления определяется временем прохождения фронтом закисления половины расстояния между откачными и закачными рядами; при опережающем режиме закисления перед реверсом потока необходимо в откачные

скважины в течение 3-7 суток подавать маточники сорбции, чтобы отжать от откачных скважин фронт раствором с высокой кислотностью и после запуска их в откачном режиме, не иметь большой остаточной кислотности в продуктивных растворах; количество необходимой кислоты  $Q_k$  (92.5%) можно посчитать по формуле:

$$Q_k(92.5\%) = d_k * ГРМ * 1.08, \text{ кг}$$

где,  $d_k$  – удельный расход кислоты на тонну ГРМ, кг/т.; ГРМ- горнорудная масса, т; 1.08- коэффициент пересчета со 100% кислоты.

Необходимо чтобы операторы технологического поля умели правильно отстроить нужную кислотность при любой производительности выщелачивающих растворов. Какой расход кислоты ( $Q_k$ , м<sup>3</sup>/ч) нужно выставить на кислотном расходомере для достижения необходимой кислотности в ВР ( $C_{вр}$ , г/л) можно определить по формуле:

$$Q_k = \frac{Q_{вр} * (C_{вр} - C_{мс}) * 10^{-3}}{\rho} \text{ м}^3/\text{ч},$$

где,  $Q_k$ - расход кислоты, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{вр}$  – расход ВР, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{вр}$ - концентрация кислоты в выщелачивающих растворах, г/л,  $C_{мс}$ - концентрация кислоты в маточниках сорбции, г/л;  $\rho$ - плотность кислоты, г/см<sup>3</sup> (для 92.5% серной кислоты  $\rho = 1.82$  г/см<sup>3</sup>).

После настройки расхода кислоты, нужно отобрать пробу ВР на определение содержания кислоты и убедиться в правильной настройке. При автоматизированной подаче кислоты работа упрощается.

Нарушениями технологического режима закисления и выщелачивания блоков ПВ считаются: подача кислоты, кг/т ГРМ, по стадиям отработки блоков (по ЖТ) ниже или выше указанных в таблице 1 пределов; подача маточников сорбции без подкисления на стадии закисления и активного выщелачивания (при Ж/Т менее 1,5); подача в скважины растворов с кислотностью выше 30г/л при Ж/Т более 0,3; Превышение остаточной кислотности продуктивных растворов более 3 г/л.

Для правильного ведения процесса подземного выщелачивания, соблюдения технологического режима, анализа работы полигона, планирования добычи урана и расхода реагентов необходимо выполнять расчеты ряда геотехнологических параметров.

Основные технологические показатели: степень извлечения, расход и удельный расход реагента, съем продуктивных растворов (отношение Ж:Т, т.е. отношение объема раствора к массе выщелачиваемых пород), себестоимость 1 кг добытого урана.

Отношение Ж:Т (иногда обозначают  $\Gamma$ ) рассчитывают:

$$\Gamma = \sum_{i=0}^{i=t} \frac{Q_{вр}}{ГРМ}$$

где  $Q_{вр}$ - количество поданного в блок (участка, ячейки), м<sup>3</sup>; ГРМ- горнорудная масса, т.  $ГРМ = S * M_3 * \delta$ , т где,  $S$ - выщелачиваемая площадь блока (участка, ячейки), м<sup>2</sup>;  $M_3$ - эффективная мощность рудовмещающего водоносного горизонта, м;  $\delta$ - объемная масса рудовмещающего пород и руд, т/м<sup>3</sup>.

Среднемесячную концентрацию урана и кислоты в ПР по ряду ( $C_{ПР}$ ) определяют как среднеарифметическое содержание, исходя из среднесуточных концентраций и объема продуктивных растворов за сутки и за месяц:

$$C_{ПР} = \frac{\sum C_{i,ПР} * Q_{i,ПР}}{Q_{ПР}}, \text{ г/л}$$

где,  $C_{i,ПР}$  – среднесуточная концентрация в продуктивных растворах ряда по данным лабораторного анализа, г/л;  $Q_{i,ПР}$  – объем продуктивных растворов по ряду за сутки, м<sup>3</sup>;  $Q_{ПР}$ - объем продуктивных растворов по ряду за месяц, м<sup>3</sup>;

Среднемесячную концентрацию урана и кислоты в ПР по блоку ( $C_{u,ПР}$ ,  $C_{к,ПР}$ ) вычисляют, исходя из среднемесячной концентраций урана и кислоты по рядам:

$$C_{u,ПР} (C_{к,ПР}) = \frac{\sum_{i=1}^m C_{i,ПР} * Q_{i,ПР}}{\sum_{i=1}^m Q_{i,ПР}}, \text{ г/л}$$

где,  $C_{i,ПР}$ - среднемесячная концентрация урана (кислоты) в продуктивном растворе по ряду, г/л  $Q_{i,ПР}$ - объем продуктивных растворов по ряду, м<sup>3</sup>;

$m$ - количество рядов в блоке.

Среднемесячное содержание кислоты в ВР по блоку ( $C_{к,ВР}$ ) определяют как среднеарифметическое, исходя из среднесуточных концентраций кислоты и объема выщелачивающих растворов за сутки и за месяц

$$C_{к,ВР} = \frac{\sum C_{i,ВР} * Q_{i,ВР}}{Q_{ВР}}, \text{ г/л}$$

где,  $C_{i,ВР}$  – среднесуточная концентрация кислоты в выщелачивающих растворах блока по данным лабораторного анализа, г/л;  $Q_{i,ВР}$  – объем выщелачивающих растворов по блоку за сутки, м<sup>3</sup>;  $Q_{ВР}$  – объем выщелачивающих растворов по блоку за месяц, м<sup>3</sup>;

Расход кислоты, поданной в блок за определенный период времени, определяют как разность закаченной в блок с выщелачивающими растворами кислоты и откаченной из него с продуктивными растворами.

$$Q_K = Q_{ВР} \cdot C_{к,ВР} - Q_{ПР} \cdot C_{к,ПР}, \text{ кг}$$

где,  $Q_K$  – количество поданной в блок 100% кислоты за время  $t$ , кг;  $Q_{ВР}$  и  $Q_{ПР}$  – количество поданных в блок выщелачивающих растворов и откаченных из блока продуктивных растворов за время  $t$ , м<sup>3</sup>;  $C_{к,ВР}$  и  $C_{к,ПР}$  – концентрация кислоты в выщелачивающих и продуктивных растворах, г/л.

Рассчитанный расход кислоты должен быть сопоставим с показаниями приборов (счетчиков, расходомеров).

Для всех расчетов используют концентрация кислоты, равную 100%. Чтобы пересчитать количество кислоты, содержащееся в техническом продукте (92.5%) на содержание 100 %, пользуются формулой:

$$Q_K(100\%) = Q_K(92.5\%) \cdot 0.925, \text{ кг}$$

$$Q_K(92.5\%) = Q_K(100\%) \cdot 1.08, \text{ кг}$$

Удельный расход кислоты ( $q_k$ ) на кг. добытого урана- количество кислоты необходимое для добычи 1 кг урана- рассчитывают:

$$q_k = \frac{\sum Q_K}{\sum P_u}, \text{ кг/кг}$$

где  $\sum Q_K$  – суммарное количество поданной в блок кислоты, кг;

$\sum P_u$  – суммарное количество добытого урана из блока, кг.

Удельный расход кислоты ( $d_k$ ) на тонну горнорудной массы (реагентоемкость или кислотоёмкость пород) рассчитывают:

$$d_k = \frac{\sum Q_K}{ГРМ}, \text{ кг/т}$$

где  $\sum Q_K$  – суммарная количество поданной в блок кислоты, кг; ГРМ- горнорудная масса блока, т.

Добытый уран из недр ( $P_u$ ) определяют как количество урана полученного в продуктивных растворах за определенный промежуток времени за минусом урана закаченного в блок с выщелачивающими растворами.

$$P_u = Q_{ПР} \cdot C_{u,ПР} - Q_{ВР} \cdot C_{u,ВР}, \text{ кг}$$

где  $Q_{ПР}$  и  $Q_{ВР}$  – количество продуктивных растворов, добытых из блока и количество поданных в блок выщелачивающих растворов за определенное время, м<sup>3</sup>;  $C_{u,ПР}$  и  $C_{u,ВР}$  – концентрация урана в продуктивных и выщелачивающих растворах, г/л.

Сумма добытого из недр урана со всех блоков  $\sum P_u$  должна быть равна сумме отгруженного (упакованного) урана и урана, осевшего в аппаратах перерабатывающего комплекса.

$$\sum P_u = U_{от} + U_{нзп}, \text{ кг}$$

где,  $U_{от}$  – уран, выгруженный в контейнера, кг;  $U_{нзп}$  – уран, находящийся в переработке и осевший на смоле, кг.

Извлечение ( $\epsilon$ ) урана определяют как отношение суммы добытого из блока урана к запасам урана в блоке, выраженное в процентах.

$$\epsilon = \frac{\sum P_u}{P} \cdot 100, \%$$

где  $\sum P_u$  – сумма добытого из блока урана, кг;  $P$  – запасы блока, кг.

#### Литература:

1. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика) Справочник геофизика. М., «Недра», 1976г.
2. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана В.Г. Язиков, В. Л. Забазнов, Н. Н. Петров, Алматы, 2001 г.
3. Проект на проведение разведанных и поисково-оценочных работ на участке «Харасан-2» с комплексом сопутствующих исследований и пробной эксплуатацией, разработку технико- экономического обоснования постоянных кондиций и составление отчета с подсчетом запасов и ресурсов урана, селена и рения по категориям С<sub>2</sub> и Р<sub>1</sub> / ОВОС, кН. г. АО ТОО «Вершина», г.Алматы, 2007г.

Рецензент: д.т.н. Татыбеков А.Т.