

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩЕГО РАСТВОРА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАБАЛАНСОВЫХ РУД В ОТВАЛАХ

М. Жараспаев, Г.Б. Бахмагамбетова

Приводятся данные определения удельного расхода выщелачивающего раствора, зависящего от физико-механических характеристик несвязной пористой среды и физико-химических характеристик взаимодействия жидкости с рудной массой.

Ключевые слова: удельный расход; пористая среда; выщелачивающий раствор; взаимодействие; жидкость; рудная масса.

Теоретически отвал рудной массы можно представить в виде несвязной среды с однородной пористостью. Это означает, что он сформирован из гранул строго одного размера и одинаковой формы. Следовательно, размеры порового пространства позволяют удерживать жидкость только в углах пор [1–3]. Если i -ое поровое пространство удерживает σV_i объем жидкости, то полный объем жидкости, удерживаемый в объеме отвала, будет равен

$$\Delta V_{ж} = \sum_{i=1}^N \sigma V_i, \quad (1)$$

где N – количество пор; $\Delta V_{ж}$ – объем жидкости в навале горной массы, m^3 .

Производное формулы (1) на плотность $P_{ж}$ дает массу жидкости в объеме отвала, т. е.

$$M = \rho_{ж} \Delta V_{ж} = \rho_{ж} \sum_{i=1}^N \sigma V_i, \quad (2)$$

где M – масса жидкости в объеме навала, кг; $P_{ж}$ – плотность жидкости, $кг/м^3$.

Удельный расход жидкости можно представить как отношение ее массы к массе руды или породы, которое выражается формулой

$$q = \frac{\rho_{ж} \sum_{i=1}^N \sigma V_i}{\rho_r V_H}, \quad (3)$$

где q – удельный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ_r – плотность рудной массы, $\text{кг}/\text{м}^3$; V_H – объем отвала, м^3 .

Относительная влажность горной массы v_{om} характеризует степень заполнения пор жидкостью, т. е. содержание жидкости в навале $\Delta V_{ж}$ по отношению к объему пор ΔV_H определяется

$$v_{om} = \frac{\Delta V_{ж}}{\Delta V_H} 100 \%. \quad (4)$$

Отношение объема пор отвала ΔV_H к его объему определяет его пористость, т. е.

$$m = \frac{\Delta V_H}{V_H}, \quad (5)$$

где m – пористость отвала рудной массы, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Из выражений (4) и (5) получим:

$$q = \frac{\rho_{ж}}{\rho_r 10^2} m v_{om} = 10^{-2} \frac{\rho_{ж}}{\rho_r} m v_{om}. \quad (6)$$

Величины ρ_r и m являются физическими характеристиками несвязной пористой среды, а $\rho_{ж}$ определяет свойство жидкости. Величина относительной влажности v_{om} зависит от свойств жидкости и увлажняемой рудной массы, а также условий их взаимодействия. Однако недостатком формулы (6) следует считать ограничение определения удельного расхода растворов условиями несвязных сред с однородной пористостью.

Общеизвестно, что навал горной массы в карьерах образуется в результате разрушения ее массива взрывами. Разрушение и формирование навала является многофакторным процессом. Фактически в навале горной массы содержатся фракции широчайшего диапазона, т. е. от негабаритов размером 1,5 и более метров до высокодисперсных частиц, распределенных по всему его объему. Следовательно, отвал рудной массы можно рассматривать как несвязную среду с неоднородной пористостью.

Представим объем необходимой жидкости для реакции растворения полезных компонентов в порах отвала следующим образом (рисунок 1):

$$\Delta V_{HЖ} = \Delta V_H - \Delta V_B - \Delta V_1, \quad (7)$$

где ΔV_H – объем пор отвала, м^3 ; ΔV_B – объем воздуха в отвале, м^3 ; ΔV_1 – суммарный объем частиц с прочно связанной жидкостью, м^3 .

Самоуплотнение навала при неполном заполнении пор происходит за счет смещения скелета навала при переходе частиц фракции 0–1 мм

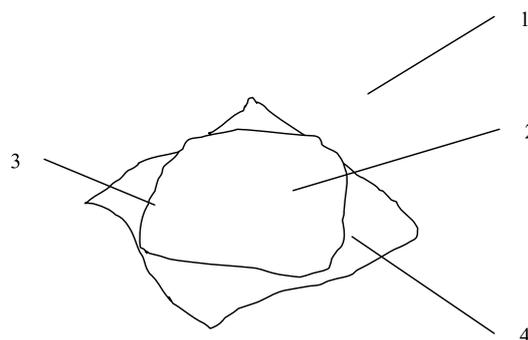


Рисунок 1 – Схема распределения жидкости и фракции частиц 0–1 мм в поровом пространстве, в куче или отвале забалансовых руд: 1 – куски породы; 2 – воздушное пространство или воздушный просвет; 3 – жидкость в углах пор или сечение S_k ; 4 – частицы фракции 0–1 мм

в раствор. С учетом объема самоуплотнения навала объем жидкости будет равен

$$\Delta V_{HЖ} = \Delta V_H - \Delta V_B - \Delta V_1 - \Delta V_2, \quad (8)$$

где ΔV_2 – величина объема самоуплотнения, м^3 .

При прохождении раствора через рудную массу полезный компонент растворяется и переходит из рудной массы в жидкость, в результате чего рудная масса уплотняется за счет уменьшения объема пор навала или кучи. Если уменьшение пор навала равно ΔV_3 , то объем жидкости равен

$$\Delta V_{HЖ} = \Delta V_H - \Delta V_B - \Delta V_1 - \Delta V_2 - \Delta V_3, \quad (9)$$

где ΔV_3 – объем полезного компонента в рудной массе, м^3 .

Объем воздуха, содержащийся в порах, вычисляется как разность объемов пор и жидкости, т. е.

$$\Delta V_B = \Delta V_H - \Delta V_{ж}. \quad (10)$$

Подставив для определения объема необходимой жидкости в отвале в формулу (9) значение (10) получим

$$\Delta V_{HЖ} \Delta V_{ж} - \Delta V_1 - \Delta V_2 - \Delta V_3. \quad (11)$$

Если степень заполнения пор или относительная влажность равна φ_0 процентов от объема пор навала, тогда суммарный объем частиц с прочно связанной жидкостью ΔV_1 составит $(v + W_{MM})$ процентов от объема жидкости $\Delta V_{ж}$ в порах навала. Следовательно, для объема ΔV_1 можно записать соотношение

$$\Delta V_1 = \frac{v + W_{MM}}{\varphi_0} \Delta V_{ж}, \quad (12)$$

где v – содержание частиц фракции 0–1 мм, %; W_{MM} – максимальная молекулярная влагоемкость частиц той же фракции, %.

Объем ΔV_1 , воспользовавшись соотношением

$$\varphi_0 = \frac{\Delta V_{ж}}{\Delta V_H} 100 \%, \quad (13)$$

выразим через объем пор навала:

$$\Delta V_1 = \frac{\nu + W_{MM}}{100\%} \Delta V_H. \quad (14)$$

Так как частицы фракции 0–1 мм участвуют в образовании дисперсной системы, то в скелете навала происходит смещение кусков на величину пропорциональную весовому процентному содержанию фракции 0–1 мм, содержащейся в навале. Отсюда объем выражается

$$\Delta V_2 = \frac{\nu}{100\%} \Delta V_H. \quad (15)$$

Изменение объема ΔV_H на величину ΔV_3 обусловлено тем, что химический реагент вступает в реакцию растворения с полезным компонентом в рудной массе, в результате чего полезный компонент из рудной массы переходит в жидкость. Это, в свою очередь, приводит к уплотнению навала (кучи) рудной массы на величину ΔV_3 . Следовательно, объем ΔV_3 будет пропорционален процентному содержанию полезного компонента ν_1 , и тогда ΔV_3 выразится через объем пор навала рудной массы:

$$\Delta V_3 = \frac{\nu_1}{100\%} \Delta V_H. \quad (16)$$

После элементарных математических преобразований для объема жидкости получим:

$$\Delta V_{HЖ} = 0,01 \Delta V_H [\varphi_0 - (W_{MM} + 2\nu + \nu_1)]. \quad (17)$$

Умножив $\Delta V_{HЖ}$ на плотность соответствующей жидкости, получим ее массу:

$$M = \rho_{ж} \Delta V_{HЖ} = 0,01 \rho_{ж} \Delta V_H [\varphi_0 - (W_{MM} + 2\nu + \nu_1)], \quad (18)$$

где M – масса жидкости, кг.

Тогда удельный расход жидкости, согласно определению, будет определяться формулой

$$q = 0,01 \frac{\rho_{ж}}{\rho_{Г}} \frac{\Delta V_H}{V_H} [\varphi_0 - (W_{MM} + 2\nu + \nu_1)], \quad (19)$$

где $\frac{\Delta V_H}{V_H} = m$ – пористость рудной массы, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

В формуле (19) необходимо учесть естественную влажность W_e массы. При этом естественную влажность следует либо прибавить к максимальной молекулярной влагоемкости, либо отнять от относительной влажности, так как чем больше будет естественная влажность, тем больше частиц будет участвовать в образовании дисперсной системы. В связи с этим удельный расход жидкости с учетом естественной влажности и формулы (19) представим, как

$$q = 0,01 \frac{\rho_{ж} m}{\rho_{Г} (1 - m)} [\varphi_0 - (W_{MM} + W_e + 2\nu + \nu_1)], \quad (20)$$

где q – удельный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{Г}$ – плотность рудной массы, $\text{кг}/\text{м}^3$; m – пористость рудной массы, $\text{м}^3/\text{м}^3$; φ_0 – относительная влажность рудной массы, %; W_{MM} – максимальная молекулярная влагоемкость (или растворимость), %; W_e – естественная влажность рудной массы, %; ν – весовое процентное содержание фракции менее 1 мм, %; ν_1 – весовое процентное содержание полезного компонента в рудной массе, %.

Полученная формула (20) по сравнению с ранее известной формулой позволяет учитывать процентное содержание полезного компонента в рудной массе, что приводит к увеличению точности определения удельного расхода. Вывод формулы основан на физико-химических явлениях, протекающих в процессе взаимодействия руды с растворами химических реагентов, и не должен вызывать сомнения.

Для всех величин, входящих в формулу, существуют методы лабораторного определения с достаточно большой точностью.

Коэффициент разрыхления навала взорванной горной массы определяется прямым измерением объемов и фотометрическими методами. По величине коэффициента разрыхления вычисляется пористость навала горной массы по известной зависимости:

$$m = \frac{K_p - 1}{K_p}, \quad (21)$$

где K_p – коэффициент разрыхления рудной массы, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Фильтрация жидкости в пористых средах протекает по-разному в зависимости от начальных условий, характеристик пористой среды, а также от физико-химических свойств взаимодействия руды с раствором. Поэтому состояние раствора в пористой среде может быть различной. От этого состояния зависит удельный расход выщелачивающего раствора.

При фильтрации раствора с полным заполнением пор рудной массы относительная влажность будет составлять 100 %. Тогда в несвязной пористой среде будет отсутствовать процесс самоуплотнения. В этом случае удельный расход раствора определяется по формуле

$$q = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{Г}} \frac{(K_p - 1)}{K_p} [1 - 0,01(W_M + W_e + \nu + \nu_1)]. \quad (22)$$

Для предварительной оценки и оперативного определения удельного расхода при малых значениях величины ν и ν_1 можно воспользоваться выражением

$$q = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{г}} \frac{(K_P - 1)}{K_P} [1 - 0,01(W_M + W_e)]. \quad (23)$$

Анализ полученных выражений (20), (21), (22) показывает, что удельный расход зависит от величины v_{om} , которая является функцией поверхностного натяжения и коэффициента смачивания.

В настоящее время на горно-обогатительных комбинатах находится большой объем забалансовых руд в отвалах и хвостохранилищах, который необходимо переработать способом кучного выщелачивания. При этом эффективность зависит не только от способа выщелачивания, но и от материальных и трудовых затрат. Определение удельного расхода раствора по рассмотренным формулам позволит снизить затраты на

химические реагенты, которые могут оказаться весьма существенными при обработке больших объемов рудных масс.

Литература

1. *Жараспаев М.* Способ определения удельного расхода жидкости для обработки рудной массы / М. Жараспаев, Л.А. Крупник и др. Патент РК № 14455. 13.03.95.
2. *Жараспаев М.* Установление удельного расхода жидкости для выщелачивания рудных отвалов / М. Жараспаев, Л.А. Крупник и др. // Вестник КазНТУ. Алматы. 1995. № 4.
3. *Жараспаев М.* Способ определения удельного расхода жидкости для обработки рудной массы / М. Жараспаев, Л.А. Крупник и др. Патент РК № 4310. 14.03.97. Бюл. № 1.