

УДК 622.234.4(088.8)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ  
ХВОСТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Доктор техн. наук Т.К.Ахмеджанов  
А.К.Садыкова  
М.Т.Ахмеджанова  
С.Пак  
А.Т.Ахмеджанов

*Разработанный способ кучного выщелачивания хвостов обогатительных фабрик позволяет доизвлекать полезные компоненты, охрану окружающей среды от загрязнения тонкодисперсной с пылью и утилизацию хвостов обогащения.*

При эксплуатации месторождений руд цветных и благородных металлов с применением флотационных и других методов обогащения в районах обогатительных фабрик (ОФ) скапливаются огромные запасы тонко измельченной горной массы, называемые хвостами ОФ, которые десятками лет занимают обширные земельные угодья, загрязняя окружающую среду (атмосферу, почву, подземные и грунтовые воды и т.д.) пылью и другими токсичными компонентами (свинец, цинк, остаточные флотореагенты и др.). При этом многие хвостохранилища содержат значительное количество цветных и благородных металлов (табл.1).

Таблица 1  
Характеристика складированных хвостов обогащения

Наименование предприятия	Тип и наличие хвостов	Содержание полезных комп. в хвостах, %
Балхашский горно-металлургический комбинат	Хвосты обогащения – 357,687 млн.т	0,11 Си

Продолжение таблицы 1

1	2 —	3
Ачисайский полиметаллический комбинат	Отвальные хвосты обогащения (Ачисай) 923000 т  Отвальные хвосты обогащения (Байжансай) Хвостохранилище №1 - 224000 т  Хвостохранилище №2 - 2025000 т  Хвостохранилище 13 - 3021600 т  Хантангинское хвостохранилище - 5500000 т Байдырское хвостохранилище - 90627500 т	0,8 Pb 2,5 Zn 0,3 Pb 0,2 Zn  0,33 Pb 0,09 Zn 0,21 Pb 0,42 Zn 0,35 Pb 0,008 Zn 0,26 Pb 0,33 Zn
Восточно-Казахстанский медно-химический комбинат	Хвосты обогащения 3720000 т	0,147 Cu 0,413 Zn
Джезказганский горно-металлургический комбинат им. К.И. Сатпаева	Хвосты старого хвостохранилища 4650000 т  Хвосты нового хвостохранилища 407540000 т  Хвосты 3-й обогатительной фабрики 1830000 т	0,14 Cu 0,1 Pb 0,029 Zn 1,87 Fe 0,126 Cu 0,063 Pb 0,025 Zn 1,7 Fe 0,13 Cu 0,164 Pb 0,142 Zn
Жезкентский горно-обогатительный комбинат	Хвосты сульфидного цикла 50 тыс.т  Хвосты цинк-пиритового цикла  Хвосты баритового цикла	0,32 Pb 0,45 Zn 0,12 Cu 0,27 Pb 0,29 Zn 0,31 Cu 0,38 S 0,21 Pb 0,30 Zn 0,08 Cu

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Зыряновский свинцовый комбинат	Хвосты текущие 62836000 т	0,099 Pb 0,03 Cu 0,21 Zn
	Хвосты лежалые 28800000 т	0,229 Pb 0,59 Zn 0,09 Cu
Иртышский полиметаллический комбинат	Хвосты Белоусовской обогатительной ф-ки 17218000 т	0,156 Pb 0,412 Zn 0,09 Cu 7,5 Pb
	Хвосты Березовской обогатительной ф-ки 8578000 т	0,037 Zn 0,075 Cu

Так, например, хвосты Березовской ОФ Иртышского полиметаллического комбината содержат до 7,5% свинца, ОФ №1 рудоуправления «Майкаинзолото» – 0,79% меди и 3,07% цинка. Аналогичная картина характерна для многих других предприятий, перерабатывающих полиметаллические руды. При этом хвосты обогащения представлены обычно миллионами тонн тонкодисперсной горной массы, занимающей значительные земельные отводы, загрязняющей атмосферу пылью и отрицательно влияющей на экологическую обстановку в целом (загрязнение почв, флоры, водоемов, подземных и грунтовых вод и т.д.).

Анализ химико-минералогического состава хвостов обогащения показывает, что полезные компоненты представлены не только окисленными формами, но в них присутствуют и до 30-40% неокисленных форм. Присутствие окисленных форм указывает на возможность использования геотехнологических методов извлечения полезных компонентов, а неокисленных – на необходимость интенсификации окислительных процессов для повышения эффективности выщелачивания. Однако для эффективного выщелачивания полезных компонентов и дальнейшего использования оставшейся части горной массы в строительстве или в качестве закладочного материала при подземной добыче, с целью достижения безотходной технологии, требуется разработка новых способов переработки хвостов. Эти способы должны повысить эффективность доизвлечения ценных компонентов из хвостов, позволить утилизировать оставшуюся горную массу и обеспечить охрану окружающей среды. Одним из таких способов является предлагаемый нами способ разработки хвостохранилищ, максимально отвечающий указанным выше требованиям. При этом для повышения эффективности доизвлечения ценных компонентов путем кучного выщелачивания и утилизации оставшейся части горной массы предлагается хвосты обогащения гранулировать и отсыпать в виде куч по способу /1/.

Однако в отличие от указанного способа необходимо обеспечить не только фильтрационную способность, но и другие свойства объемов гранулированных хвостов и самих гранул.

В процессе гранулирования хвостов, с целью интенсификации окислительных процессов, в них необходимо добавлять различные окислители, например, трехвалентное железо  $Fe_2O_3$ , серную, соляную, азотную и другие кислоты, а так же другие вещества. Кроме того хвосты должны обладать необходимой механической прочностью и достаточной пористостью.

Анализ литературы показывает /2/, что для улучшения механической прочности гранул в качестве связующего материала можно использовать портландцемент, известь и строительный гипс. При этом выявлено, что наиболее предпочтительным является строительный гипс, позволяющий не только улучшить прочностные свойства гранул, но и повысить извлечение из гранул полезных компонентов. Как видим, для оценки и выбора наиболее эффективного связующего материала следует оптимизировать размеры гранул исходя из следующих технологических показателей: прочность гранул; извлекаемость полезных компонентов; фильтрационная способность объема гранул и инфильтрационная особенность гранул.

При этом гранулы должны быть таких размеров, чтобы формирующиеся из них кучи были достаточно проницаемы выщелачивающими растворами, а в сами гранулы хорошо проникали бы выщелачивающие растворы. Для обеспечения первого условия рассмотрим механизм движения выщелачивающих растворов в поровом пространстве между гранулами.

При отсыпке гранулированных хвостов в кучи наиболее устойчивой упаковкой гранул одинаковых размеров является их расположение в объеме правильного параллелепипеда (рис.1а). Такое расположение гранул создает межпоровое пространство наиболее не благоприятное для фильтрации раствора из-за возможности возникновения капиллярных явлений. Явление капиллярности может еще более увеличиваться, если гранулы будут разных размеров и в поровом пространстве крупных гранул разместятся более мелкие гранулы, как это показано на рис.1б. Обычно при грануляции сыпучих материалов на практике размеры бывают разные, поэтому и упаковка гранул, показанная на рис.1б наиболее вероятная.

В связи с этим возникает задача определения таких размеров гранул максимальных и минимальных, при которых будет отсутствовать явление капиллярности, а значит, улучшится фильтрация раствора в объеме кучи.

Схемы плотной упаковки гранулированных хвостов  
обогащения в отсыпном объеме

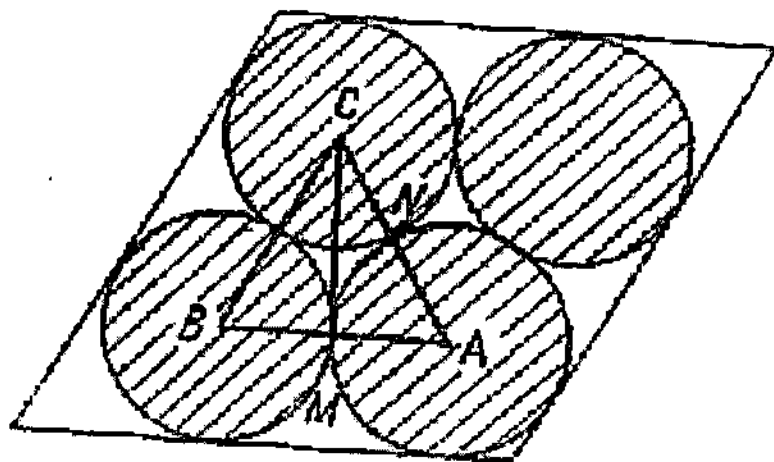


Рис. 1 а

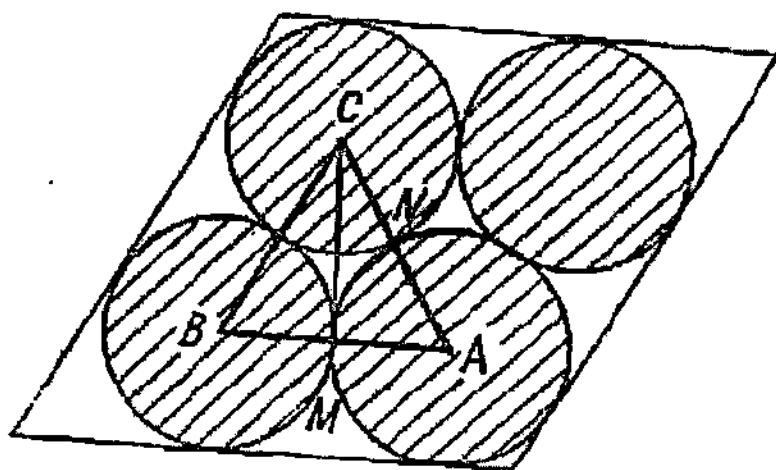


Рис. 1 б

Рассмотрим в выделенном объеме  $\Delta ABC$  (см. рис.1б), в котором площадь порового пространства равна:

$$S_n = S_{\Delta} - 3S_c - S_{\min}, \quad \text{м}^2, \quad (1)$$

где:  $S_{\Delta}$  - площадь треугольника  $ABC$ ,  $\text{м}^2$ ;

$S_c$  - площадь сектора  $AMN$ ,  $\text{м}^2$ ;

$S_{\min}$  - площадь сечения гранулы с минимальным радиусом  $R_{\min}$ ,  $\text{м}^2$ .

Так как размеры больших гранул принимаем равными, то в выделенном треугольнике  $ABC$  размещаются три равных сектора, с углом раскрытия  $60^\circ$ . Треугольник  $ABC$  является равносторонним треугольником со сторонами равными  $2R_r$  и площадь его можно представить как:

$$S_{\Delta} = 1/2(2R_r)H, \quad (2)$$

где:  $H$  - высота треугольника  $ABC$ ,  $\text{м}$ .

Из прямоугольного треугольника  $MCA$  определим, что:

$$H = \sqrt{4R_r^2 - R_r^2} = R_r\sqrt{3}, \quad \text{м}^2 \quad (3)$$

Тогда площадь треугольника  $ABC$  выразим как

$$S_{\Delta} = R_r^2\sqrt{3}, \quad \text{м}^2 \quad (2)$$

Площадь сектора  $AMN$  согласно того, что угол  $MAN$  равен  $60^\circ$  можно представить как:

$$S_c = S_r/6 = \pi R_r^2/6, \quad \text{м}^2 \quad (5)$$

где  $S_r$  - площадь сечения гранулы,  $\text{м}^2$ .

Подставляя значения (5) и (4) в формулу (1) получим:

$$S_n = R_r^2\sqrt{3} - \frac{3\pi}{6}R_r^2 - S_{\min} = \left(\frac{2\sqrt{3}-\pi}{2}\right)R_r^2 - S_{\min} = 0,14R_r^2 - S_{\min}, \quad \text{м}^2 \quad (6)$$

Как известно, явление капиллярности проявляется при радиусе цилиндрического порового пространства  $r_k$ , определяемом по формуле/3/:

$$r_k = 2 \sigma_p \cos\theta / \rho_p q h, \quad \text{м}^2 \quad (7)$$

где:  $\sigma_p$  - поверхностное натяжение жидкости,  $\text{Н/м}$ ;

$q$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}$ ;

$h$  - высота капиллярного поднятия жидкости,  $\text{м}$ ;

$\theta$  - краевой угол смачивания, град;

$\rho_p$  - плотность выщелачивающего раствора кг/м<sup>3</sup>.

При минимальном значении высоты капиллярного поднятия раствора  $h$  радиус порового пространства цилиндрической формы  $r_k$  будет таким, что произойдет явление капиллярности. Следует отметить, что явление капиллярности не проявляется и для порового пространства произвольной формы и в том случае, если площадь последней будет численно равна или больше площади порового пространства цилиндрической формы  $S_n$  радиусом  $r_k$ . Тогда площадь порового пространства произвольной формы, при которой будет минимальное явление капиллярности, составит:

$$S_n > S_n > \pi r_k^2 > 4\sigma_p^2 \cos^2 \theta / \rho_p^2 q^2 h^2 \quad \text{м}^2 \quad (8)$$

При выполнении условия равенства в выражении (8) можно определить тот минимальный критический радиус гранул, при котором в отсыпaeмом объеме гранулированных хвостов не будет проявляться явление капиллярности, а следовательно улучшится обработка раствором кучи. Для этого приравняем выражения (6) и (8) и будем иметь:

$$0,14 R_r^2 - S_{\min} = 4\sigma_p^2 \cos^2 \theta / \rho_p^2 q^2 h^2. \quad (9)$$

Откуда размеры радиусов больших и мелких гранул определяются соответственно как:

$$R_{\max} R_r = 2 \sqrt{\frac{\pi}{0,14}} \frac{\sigma_p \cos \theta}{\rho_p q h} + \sqrt{\frac{S_{\min}}{0,14}} \quad \text{м} \quad (10)$$

и

$$R_{\min} = R_r \sqrt{\frac{0,14}{\pi}} - 2 \sqrt{\frac{1}{\pi}} \frac{\sigma_p \cos \theta}{\rho_p q h} \quad \text{м} \quad (11)$$

Так как хвосты обогатительных фабрик представлены разнообразными полезными ископаемыми и горными породами, то значения параметров, входящих в формулы (10)-(11) для различных месторождений будут неодинаковы. Анализ этих параметров показывает, что для полиметаллических месторождений они варьируют в широких пределах, а соответственно и размеры гранул из хвостов обогащения будут разными (табл.2). После выщелачивания полезных компонентов гранулированные хвосты могут быть использованы в качестве наполнителей при производстве строительных материалов или конструкций. Как видим, применение предлагаемого способа интенсификации окислительных процессов при кучном выщелачивании хвостов обогащения позволяет реализовать безотходную технологию. Этот способ может быть

использован на всех предприятиях, где имеются хвостохранилища от обогатительных фабрик.

Таблица 2  
Расчетные значения радиуса гранул из хвостов обогащения

Наименование предприятий	Выщелачиваемый полезный компонент	Используемая кислота	Высота капиллярного поднятия раствора, мм	Смачиваемость грунта	Размер радиуса гранул, мм
1. ПО Балхашмедь	медь	серная	0,2	0,62	4,0
2. Восточно-Казахстанский медно-климатический к-т	медь, цинк	серная	0,4	0,65	4,5
3. НПО «Джезказган цветмет»	медь	серная	0,3	0,62	4,4
4. Жезкентский ГОК	медь	серная	0,3	0,62	4,4
5. К-т Ачполиметалл	свинец, цинк	соляная	0,5	0,75	7,8
6. Зырянский СЦК	цинк	соляная	0,4	0,63	4,8
7. Иртышский к-т	свинец, цинк	соляная	0,6	0,75	7,8

После извлечения полезных компонентов из гранулированных хвостов они обезвреживаются и сушатся, и затем могут применяться в строительной практике, о чем уже указывалось выше. При этом следует также отметить, что гранулированные хвосты можно широко применять при строительстве автомобильных и железных дорог. Для сокращения расходов на выщелачивание и обезвреживание хвостов предлагается в качестве выщелачивающего раствора использовать экологически безопасные растворители /4/, тиосульфатные реагенты. При этом отпадает необходимость обезвреживания гранулированных хвостов.

Таким образом, разработанный способ кучного выщелачивания хвостов обогатительных фабрик, позволяет доизвлекать полезные компоненты, обеспечить охрану окружающей среды от загрязнения тонкодисперсной пылью и полную утилизацию хвостов обогащения.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ав.свид. № 1680960 (СССР). Способ разработки хвостохранилищ. Ш.А.Алтаев, Т.К.Ахмеджанов и др. 30.09.91г. Бюл.№ 36
2. Г.Я.Дружина, Г.А.Строганов, М.Н. Зырянов. Кучное выщелачивание золота из предварительного окомкованных руд. //Цветные металлы, -М. 1997г., № 9, с.17-19
3. Е.Е.Коркис. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. -Л.: Недра. -1975г. -231с.
4. А.Бегалинов, Т.К.Ахмеджанов и др. Новые направления в утилизации сернистых газов и других вредных веществ для охраны окружающей среды. «Гидрометеорология и экология», -Алматы, 1998, №1. С.182-193

Казахский национальный технический университет

БАЙЫТУ ФАБРИКАСЫНЫҢ ҚАЛДЫҚТАРЫН ТИІМДІ  
ҚАЙТА ӨНДЕУ ЖОЛДАРЫ

Техн.ғыл.док.

Т.К.Ахмеджанов  
А.К.Садыкова  
М.Т.Ахмеджанова  
С.Пак  
А.Т.Ахмеджанова

Байыту фабрикасының қалдықтарын жасалынған сілтілеу тәсілімен пайдалы заттарды түгелімен шығарып алуға, қоршаған ортаны ластануын болдырмауға мүмкіндік тұғызады.