

# ХВОСТЫ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ГОЛИК В.И., доктор техн. наук, профессор; РАЗОРЁНОВ Ю.И., доктор техн. наук, профессор,  
Южно-Российский государственный технический университет

**В статье сформулирована актуальность вовлечения в переработку отходов минерального сырья с извлечением комплекса металлов в процессе механохимической активации в дезинтеграторах. Описана методика исследования процессов выщелачивания с анализом динамики независимых факторов.**

**Охарактеризованы особенности вторичных хвостов обогащения углей. Сделан вывод, что выщелачивание металлов из отходов добычи угля с механохимической активацией в дезинтеграторе возможно и может быть экономически приемлемо при изменении взглядов на охрану природы при добыче минеральных ресурсов.**

Среди глобальных проблем современности к основным относятся уменьшение запасов в легкодоступных участках земли и пополнение запасов техногенных месторождений одних и тех же минеральных ресурсов. В зависимости от технологических возможностей человек перекладывает минералы из одного места в другое, извлекая то и столько, что ему нужно на данном уровне существования. В виде хвостов переработки на земной поверхности остается от 50 до 99,9% извлеченных минеральных масс.

Поэтому формирующееся направление комплексного освоения рудных месторождений развивается в том числе и за счет вовлечения в переработку отходов минерального сырья. В ряде случаев не только из хвостов добычи и обогащения руд, но и из хвостов обогащения углей получают ванадий, вольфрам, галлий, германий, ниобий, скандий, титаний, цирконий и др. металлы.

Хвосты переработки угля приобретают статус придатка минерально-сырьевой базы ценных металлов с темпами, зависящими от уровня технологий извлечения целевых химических элементов. Наиболее освоено извлечение металлов из золошлаковых отходов энергетических бурых углей. Уже извлекаются титан, бериллий, медь, марганец, мышьяк, ванадий, галлий и т.д.

В большинстве случаев металлы из отходов горного производства получают в процессе химического растворения с изменением фазового состояния, чаще всего способом агитационного выщелачивания, когда перерабатываемую смесь перемешивают.

Получает новое развитие технология с механохимической активацией в дезинтеграторах, когда вместе с из-

мельчением происходит изменение состояния вещества на молекулярном уровне (рис. 1) [1].

Агитационное выщелачивание в рабочей камере дезинтегратора используют для извлечения металлов из металлосодержащего сырья: отвалы металлосодержащих пород, хвосты обогатительных фабрик и т.п.

Для обоснования эффективности вариантов выщелачивания металлов из некондиционного сырья сравнивают результаты экспериментов режимов обработки: выщелачивание в агитаторах; агитационное выщелачивание после активации в дезинтеграторе; выщелачивание в дезинтеграторе.

При исследовании процессов выщелачивания независимыми факторами являются: состав выщелачивающего раствора, соотношение твердого и жидкого и время выщелачивания, а при выщелачивании в дезинтеграторе к ним добавляются частота вращения роторов дезинтегратора [2].

Для исследований рекомендуется трехуровневый некомпозиционный план Бокса-Бенкена.

Лучший вариант выщелачивания определяют на основе трехкритериальной оптимизационной модели сравнением значений извлечения металлов. Первые положительные результаты выщелачивания металлов из хвостов обогащения руд продолжены в отношении хвостов обогащения угля. Нами была исследована возможность извлечения металлов из отходов обогащения угля технологией с комбинированной механохимической активацией.

При добыче и обогащении углей на 1 т товарного угля образуется 3,3 т отходов [3]. Ежегодно на террито-

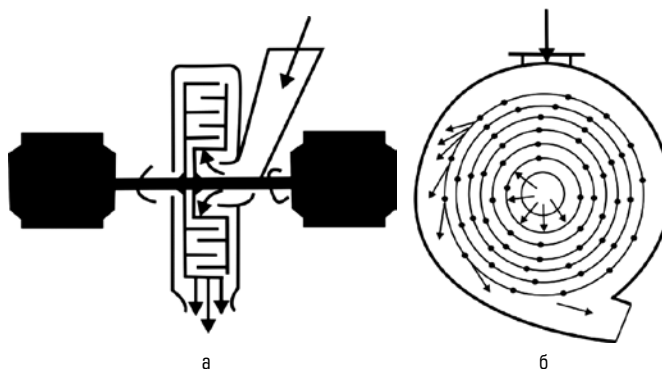


Рис. 1. Принципиальная схема дезинтегратора: а — принцип работы; б — силы в рабочем органе

рии России в процессе добычи угля из недр извлекается порядка 0,5 млрд м<sup>3</sup> горной массы, образуется около 60 млн м<sup>3</sup> минеральных отходов обогащения и 20 млн м<sup>3</sup> золошлаков.

Отходы угледобычи могут быть использованы в производстве кирпича, инертных заполнителей – аглопорита и керамзита, плитки, бетонов, блоков и панелей, шлакоблоков, формовочных смесей, искусственных фильтрующих массивов, минерального волокна, каменного литья, минеральных пигментов, адсорбентов и фильтрующих материалов для очистки стоков, топливных брикетов, тампонажных и буровых растворов, извлечения карбида кремния из отходов электродного производства и т.п. [4].

При извлечении металлов из хвостов обогащения угля конечными продуктами являются уголь (30-10 мм, 0-10 мм) и чистые отходы, состоящие в основном из сланцев. Сланцы используются в производстве цемента, строительной керамики, кирпича, легких агрегатов – сланцевый порит для добавления в бетонные смеси. Фракции размером от 3 до 30 мм используются в водопорных закладочных материалах для строительства подземных объектов.

Шламы от флотации каменного угля обладают теплоотворной способностью, их используют как топливо для выработки энергии после снижения влажности до 8-10%. Шламы бурого угля в качестве топлива не используются, но возможны к применению в сельском хозяйстве для улучшения качества почв.

В России используется не более 10% углеотходов, причем металлы из них не извлекаются.

За более чем столетний период интенсивной добычи угля на территории Восточного Донбасса добывали до трети российской добычи коксующихся углей и около четверти – энергетических. Действующими здесь 19 обогатительными фабриками сформировано более 450 хранилищ отходов обогащения угля с общим объемом складированных отходов 300 млн м<sup>3</sup> на площади до 1,5 тыс. га земель.

Особенностью химического состава здешних отходов обогащения углей является повышенное содержание органического углерода, а содержание серы варьируется от 0,6 до 2,1%.

Содержание металлов в хранилищах хвостов обогащения характеризуется табл. 1 [5].

Таблица 1. Содержание химических элементов в хранилищах ОФ, г/т

Обогатительная фабрика	Содержание элементов, г/т										
	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Zr	Pb	Zn	Be	Sr
Донецкая	641	74	17	124	222	5	114	74	149	3	175
Гуковская	980	40	15	80	149	6	99	50	84	4	594
Шолоховская	324	55	24	242	242	6	104	55	263	3	356
Несветаевская	790	50	10	99	198	3	99	40	149	3	151

Повышенные кларки концентрации ванадия и хрома установлены в Каменско-Гундоровском, Гуково-Зверевском и Шахтинско-Несветаевском районах; молибдена – в Белокалитвенском и Краснодонском районах. С помощью регрессионных полнофакторных моделей второго порядка, полученных на основе статистических исследований репре-

зентативных выборок среднего объема определено, что для Восточного Донбасса характерно повышенное содержание свинца, кларки концентрации его изменяются от 1,2 до 5,6, составляя в среднем 3,33 (табл. 2).

Таблица 2. Кларки концентраций некоторых металлов в хвостах обогащения угля

Район	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Zr	Pb	Zn	Be
Каменско-Гундоровский	0,4	0,7	0,8	1,3	1,7	0,9	0,4	1,6	0,5	0,5
Белокалитвенский	0,3	0,2	0,2	0,7	0,8	1,1	0,4	1,3	0,1	0,5
Гуково-Зверевский	0,4	0,7	0,6	1,2	1,3	0,9	0,4	1,9	0,4	0,7
Краснодонский	0,4	0,3	0,3	0,7	0,6	1,8	0,4	4,4	0,4	0,7
Сулино-Садкинский	0,3	0,7	0,7	1,0	1,0	0,8	0,5	1,2	0,5	0,5
Шахтино-Несветаевский	0,4	0,7	0,7	0,4	1,5	0,9	0,5	5,6	0,4	0,5

Пробы измельчали до размеров ≤2,5 мм, сушили при температуре 60°С в течение 12-24 часов, чтобы максимальная влажность материалов не превышала 2%, и исследовали по методикам, связанным с активацией в дезинтеграторе ДЕЗ-11.

Исследовали две партии растворов, полученных при выщелачивании в дезинтеграторе разноразных горелых и негорелых отходов. Начальное содержание металлов в хвостах обогащения углей характеризуется табл. 3.

Таблица 3. Содержание металлов в хвостах обогащения угля, г/т

Элемент	Минимум	Максимум	Среднее
Марганец	310	330	320
Никель	10	40	25
Кобальт	5	10	5
Ванадий	60	130	95
Хром	50	140	85
Молибден	1	2	1.5
Цирконий	60	90	75
Свинец	20	90	55
Цинк	10	40	50
Бериллий	2	2,6	2,3

Особенностью исследований является трудность определения количества полученных выщелачиванием металлов вследствие их малой концентрации. Пробы производственных растворов, полученных при проведении экспериментов по другим режимам выщелачивания, анализировали на содержание в них цветных металлов в рентгеновском спектрометре «Спектроскан MAX-GV».

Для получения репрезентативных результатов по методу латинских квадратов пробы обеих партий объемом 1,2 л каждая упаривали в сушильном шкафу при температуре 60°С с получением концентрата металлов (упаренный концентрат).

В другие пробы каждой из партий с помощью независимого равноточного измерительного инструмента по методу латинских квадратов был добавлен раствор соды до значения рН=9,0 для перевода металлов в нерастворимую форму и получения комплексного геля. Гель был отфильтрован и подвергнут сушке при температуре 60°С. После

упаривания и сушки сокращенные пробы были прокалены при температуре 300°C для удаления кристаллически-связанной воды (сухой концентрат). В результате упаривания, сушки и прокаливания массы проб сократились в 10-12 раз (табл. 4-6).

Таблица 4. Извлечение металлов из горелых хвостов обогащения

Металл	Упаренный концентрат, %	Сухой концентрат, %	Δ, раз
Cr	0,01	0,10	10
Fe	0,85	2,75	3
Ni	0,03	0,30	10
Mn	0,01	0,10	10
Co	0,02	0,10	5
Cu	0,03	0,40	13
Pb	0,01	0,1	10
Zn	0,04	0,30	7

Таблица 5. Извлечение металлов из негорелых хвостов обогащения

Металл	Упаренный концентрат, %	Сухой концентрат, %	Δ, раз
Cr	0,03	0,15	5
Fe	1,3	3,06	2,4
Ni	0,026	0,17	6
Mn	0,015	0,10	8
Co	0,03	0,12	4
Cu	0,03	0,30	10
Pb	0,01	0,1	10
Zn	0,02	0,14	7

Таблица 6. Состав сухого концентрата из разноразмерных хвостов обогащения

Металл	Горелые хвосты, %	Негорелые хвосты, %	Δ, %
Cr	0,10	0,15	+0,05
Fe	2,75	3,06	+0,31
Ni	0,30	0,17	- 0,13
Mn	0,10	0,10	0
Co	0,10	0,12	+0,02
Cu	0,40	0,30	-0,10
Pb	0,1	0,1	0
Zn	0,30	0,14	7

Извлечения марганца в выпаренный и прокаленный продукт составляет 1,3%, никеля – 102,1%, кобальта – 104,5%, хрома – 18,0%, свинца – 43,5%, цинка – 36,6%. Извлечение металлов больше, чем 100%, объясняется возможным превышением их содержания в выщелачиваемых материалах над содержанием в пробах исходных материалов. Извлечение металлов достаточно высокое, хотя физическое их содержание в растворах очень низкое, мг/л: марганец – 1,0; никель – 7,0; кобальт – 2,0; хром – 4,0; свинец – 3,0; цинк – 5,0.

Полученные с доверительной вероятностью 95% результаты исследований свидетельствуют о том, что выщелачивание металлов из отходов добычи угля возможно, хотя для традиционных методов переработки содержание

**НАС ВСЕ ПОКУПАЮТ!**  
**БЕЛЫЙ Proficem ЦЕМЕНТ**  
 (863) 308-20-00 www.roshimprom.ru

металлов слишком мало и процесс оказывается слишком затратным.

Особенности вторичных хвостов обогащения углей:

- в процессе механохимической активации в раствор переходят практически все металлы и соли, поэтому хвосты становятся доступными к использованию без ограничений по санитарным требованиям;

- масса вторичных хвостов представляет собой пластичную смесь дисперсных компонентов, до 60% которой составляют активные частицы размерами не более 0,076 мм, что сокращает затраты на дальнейшее производство товарной продукции.

Технологии с выщелачиванием металлов и полной утилизацией углетходов станут привлекательными с экономической точки зрения, когда современные природоразрушающие технологии добычи минерального сырья уступят природоохранным технологиям, а в экономическом сравнении альтернативных вариантов технологии будет участвовать величина компенсации за действительный ущерб всему живому от хранения отходов на земной поверхности, а не явно заниженные штрафы [6].

Эффективность технологии оценивается на основании долговременных статистических показателей, она определяется соотношением компенсационных затрат и

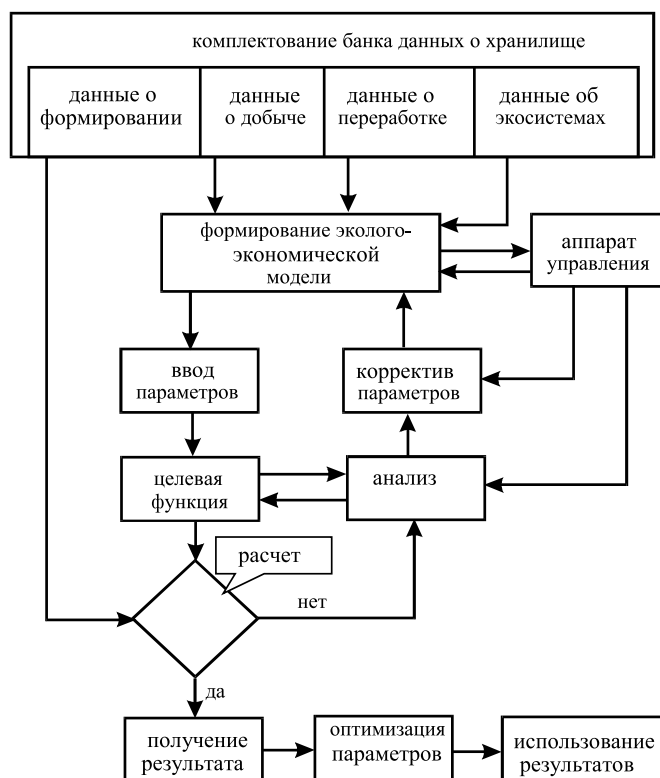


Рис. 2. Оценка эколого-экономической эффективности управления отходами

ущерба от хранения отходов, производственной мощности утилизирующего предприятия и его технологического уровня (рис. 2).

Эффективность использования консервированных запасов хвостов с их утилизацией:

$$\Pi = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{l=1}^L \left\{ (M_{ey} \Pi_{my} + Q_y \Pi_{qy}) \right\} - \sum_{z=1}^3 [K(1 + E_{ny}) + E_q + E_x] - [(M_e \Pi_m + Q \Pi_q) + Q_r \Pi_r] K_c K_y K_T K_6 K_r K_{вр} K_q \rightarrow \max$$

где  $P$  – продукты утилизации хвостов;  $O$  – виды хвостов;  $\Pi$  – процессы переработки хвостов;  $T$  – время переработки;  $F$  – фазы существования хранилищ;  $N$  – стадия использования хвостов;  $M_{ey}$  – количество металлов из отходов;  $\Pi_{my}$  – цена металлов;  $Q_y$  – количество восстановленных эффектов;  $\Pi_{qy}$  – цена утилизированных веществ;  $E_q$  – коэффициент процентной ставки на кредит для утилизации;  $E_x$  – коэффициент процентной ставки на кредит для производства металлов;  $E_{ny}$  – коэффициент процентной ставки на экологию;  $M_e$  – количество потерянных металлов;  $\Pi_m$  – цена потерянных металлов;  $Q$  – количество потерянных эффектов;  $\Pi_q$  – цена потерянных полезных веществ;  $Q_r$  – количество эффектов поражения среды;  $\Pi_r$  – затраты на компенсацию глобальных факторов поражения;  $3$  – затраты на управление;  $K$  – затраты на управление хранилищами;  $K_c$  – коэффициент самоорганизации хвостов;  $K_y$  – коэффициент утечки продуктов выщелачивания;  $K_T$  – коэффициент дальности утечки растворов;  $K_6$  – коэффициент влияния на биосферу;  $K_r$  – коэффициент влияния загрязнения на соседние регионы;  $K_{вр}$  – коэффициент реализации опасности со временем;  $K_r$  – коэффициент риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Управление ресурсами хвостохранилища может быть прибыльным даже без производства продукции при условиях, что при этом уменьшается опасность для окружающей природной среды.

Эффективность технологий управления ресурсами хвостохранилищ:

$$\Xi = \sum_{i=1}^T \left( \sum_1^n C_6 - \sum_1^n C_o \right) : Q,$$

где  $C_6$  и  $C_o$  – базовые и новые затраты, связанные с хранением отходов на поверхности;  $Q$  – объем утилизируемой части хвостохранилища.

#### Библиографический список

1. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации // Обогащение руд. М., 2010, № 5.
2. Российский статистический ежегодник. Статсборник Госкомстата России. М. 2010.
3. Голик В.И., Комашенко В.И., Дребенштедт К. Охрана окружающей среды. М.: Высшая школа. 2007.
4. Сендецкий И.И. Геологическое изучение с подсчетом запасов техногенного сырья породного отвала бывшей шахты Воровского, г. Шахты. Ростовская область. Сырье для производства щебня. Подсчет запасов на 01.01.10 г. НИР, г. Новочеркасск. 2010.
5. Ляшенко В.И., Голик В.И., Штеле В.И. Создание и внедрение малозатратных ресурсосберегающих методов, средств и технологий на горных предприятиях. М.: ЦНИИ экономики и информации. 1995. Обзор информ.



Официальный поставщик  
современной  
лабораторной техники

Приборы и оборудование для  
диагностики и контроля качества  
строительных материалов



Лазерный анализатор  
размеров частиц



Вакуумный  
сушильный  
шкаф



Встряхивающий стол



Испытательная  
машина на  
сжатие и изгиб

www.rvs-ltd.ru

e-mail: post@rvs-ltd.ru

тел.: (812) 320-6707