

Библиографический список

1. *Ибрагимов Р. Г.* Применение полимерных мембран в качестве сепараторов для аккумуляторных батарей / Р. Г. Ибрагимов, Р. Т. Галлямов, М. И. Хайруллин [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – С. 39–44.
2. Сурьма / Под ред. С. М. Мельникова. – Москва : Металлургия, 1977. – 536 с.
3. *Агарова Н. Е.* Оптимизация режимов электроэкстракции сурьмянисто-оловянного концентрата в сульфидно-щелочном электролите / Н. Е. Агарова, А. А. Козмина, Л. М. Яковлева [и др.] // Цветные металлы. – 2019. – № 2. – С. 33–38.
4. *Мазанко А. Ф.* Промышленный мембранный электролиз / А. Ф. Мазанко, Г. М. Камарьян, О. П. Ромашин. – Москва : Химия, 1989. – 240 с.

УДК 669.053.4 : 669.21/23 : 669.33

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПИРИТНЫХ ОГАРКОВ С КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ПОЛУЧАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КЕКОВ

Межогских В. В.¹, Краюхин С. А.², Воинков Р. С.^{1,2}, Тимофеев К. Л.^{1,2},
Шунин В. А.¹, Новокшанова В. Н.¹

¹ АО «Уралэлектромедь», Верхняя Пышма, Россия

² НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», Верхняя Пышма, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследований по переработке пиритных огарков с кондиционированием получаемых железосодержащих кеков. В ходе ее выполнения была проведена оценка возможности применения технологий цианирования и хлоридной переработки для извлечения золота, серебра и концентрирования железа в получаемых продуктах магнитной сепарации. Также были определены оптимальные режимы получения кондиционных продуктов из железосодержащих хвостов выщелачивания пиритных огарков. Установлен оптимальных расход хлора на стадии выщелачивания, обеспечивающий извлечение золота более 70 % из состава исходного материала. Было установлено, что вариант хлор-хлоридной технологии представляется предпочтительным из-за более высоких показателей извлечения металлов, минимизации экологических рисков и возможности диверсификации поставок железосодержащей продукции в черной металлургии и в цементной промышленности.

Ключевые слова: пиритные огарки, цианирование, гипохлорит, выщелачивание, магнитная сепарация.

Введение

В период с 1932 по 1995 годы в непосредственной близости от промплощадки филиала «Производства полиметаллов» (г. Кировград) АО «Уралэлектромедь» (бывшего Кировградского медеплавильного комбината) было сформировано два отвала пиритных огарков. Отвалы представляют собой дополнительный источник минерального сырья, что обуславливает

необходимость поиска эффективных способов для его переработки с целью извлечения золота и меди. Задачей исследований является оценка применения технологий цианирования и хлор-хлоридной переработки для извлечения целевых металлов, а также возможности получения кондиционных продуктов из железосодержащих хвостов от выщелачивания пиритных огарков.

Технология цианидного выщелачивания пиритного огарка

Для проведения цианирования использовали пиритный огарок филиала «Производства полиметаллов», отобранный из отвала №2 (Большой отвал, геологический блок 25-С₂) с глубины 2–3 м, со следующим составом: 1,3 г/т Au; 17,9 г/т Ag; 0,28 % Cu; 44,3 % Fe; 0,35 % Zn; 8,88 % Si; 3,51 % S; 0,052 % Cl.

Согласно рациональному анализу состава пиритных огарков, выполненного в АО «Иргиредмет» (г. Иркутск), доля золота и серебра в цианируемой форме составляет 73,58 % и 12,82 %, соответственно. В упорной (неизвлекаемой цианированием) форме золота – 26,42 %, серебра – 87,18 %.

Упорные формы золота и серебра распределены следующим образом:

- связанные с минералами As и Sb – 11,18 и 76,79 %, соответственно;
- связанные со вторичными минералами Fe, карбонатами – 5,20 и 5,27 % соответственно;

- заключенные в сульфиды – 5,5 и 0,44 %, соответственно;

- тонко вкрапленные в порообразующие минералы – 4,54 и 4,68 %, соответственно.

Результаты рационального анализа свидетельствуют о том, что доля легкоизвлекаемого цианируемого золота в пиритных огарках достаточно высока – 73,58 %, при этом серебро прямым цианированием практически не извлекается.

Технологическая схема цианирования, представленная на рис. 1, включает мокрое измельчение и водную отмывку пиритного огарка, известковую обработку и цианирование кека водного выщелачивания в открытом агитаторе, промывку кека цианирования и его обезвреживание.

Водную отмывку пиритного огарка после стадии мокрого измельчения проводили в режиме четырехступенчатой противоточной декантации. Извлечение металлов на данной стадии составило, %: 85,2–96,4 Cu; 0–1,6 Fe; 48,8–56,3 Zn. Выход огарка составил 94,3 %. Эффективность применения противоточной отмывки обусловлена меньшими затратами воды при сопоставимом с одностадийным агитационным режимом извлечении меди.

После проведения стадий мокрого измельчения и четырехступенчатой противоточной декантационной отмывки был получен кек состава, %: 0,044 Cu; 47,6 Fe; 0,19 Zn. Затем с целью подготовки остатка к цианированию была проведена его известковая обработка с расходом CaO от 8,7 до 14,0 кг/т, с доведением pH до значений 10,5–11,5.

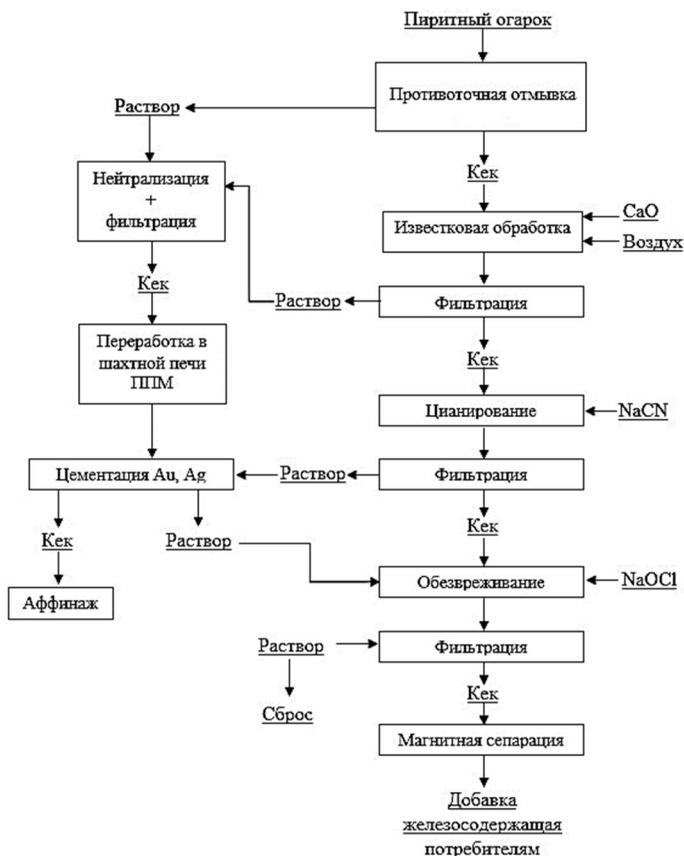


Рис. 1. Технологическая схема цианирования пиритного огарка

Для извлечения золота и серебра из осадка известковой обработки было проведено его цианирование в открытом агитаторе, в результате чего получили осадок следующего состава: 0,4 г/т Au; 8,0 г/т Ag; 0,04 % Cu; 47,2 % Fe; 11,0 % Si; 0,19 % Zn. Извлечение золота составило 70,8 %, серебра – 7,4 %.

Концепция переработки пиритных огарков предусматривает использование хвостов после извлечения золота в качестве сырья для промышленности. Вследствие наличия соединений железа в качестве основной составляющей огарка, среди потенциальных потребителей рассматриваются предприятия черной металлургии и цементной промышленности. Анализ требований отечественных предприятий черной металлургии к составу железосодержащего сырья показал необходимость содержания железа

в нем не менее 60 %, но в пиритном огарке его меньше. С целью кондиционирования железосодержащих хвостов для реализации в черную металлургию и цементную промышленность проведена мокрая магнитная сепарация кека цианирования с использованием трубчатого электромагнитного анализатора СЭ298 по схеме, представленной на рис. 2. В результате двухстадийной сепарации получен магнитный продукт (смесь магнитных фракций № 1 и № 2), содержащий 59,8 % Fe и 0,37 г/т Au, выход которого составил 55,1 %, и немагнитный продукт № 2, содержащий 41,6 % Fe и 0,50 г/т Au, с выходом 41,6 %.

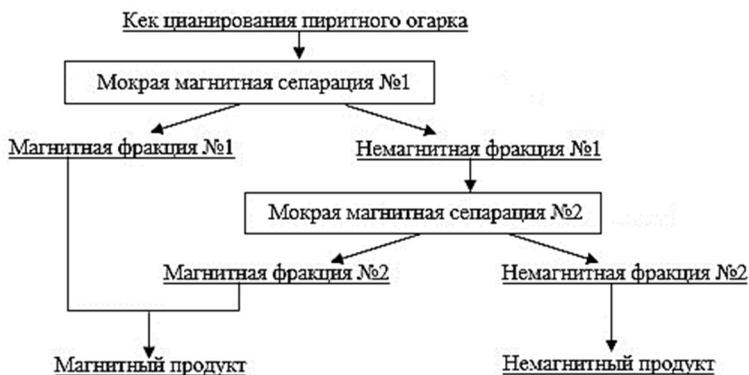


Рис. 2. Технологическая схема магнитной сепарации кека цианирования пиритного огарка

Проведя оценку полученной магнитной фракции на соответствие требованиям заводов черной металлургии, выявлено, что получаемый железосодержащий концентрат не соответствует требованиям из-за низкого содержания железа (менее 60 %) и повышенного содержания примесей: диоксида кремния, оксида алюминия, серы, цинка, магния и свинца (табл. 1).

Т а б л и ц а 1
Содержание примесей в магнитном продукте, %

Наименование	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	Cu	Zn	K	Mg	Mn	As	Pb	H ₂ O
Требования заводов черной металлургии	60–65	< 5	< 1	< 0,2	< 0,15	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 5
Магнитный продукт	59,8	10,5	1,95	0,79	0,04	0,26	0,16	0,25	0,010	0,05	0,051	4,0

При проведении оценки состава немагнитного продукта, как сырья для цементной промышленности (табл. 2), отмечено его несоответствие из-за повышенного содержания Na₂O (1,84 % при требовании не более 1,0 %).

Содержание примесей в немагнитном продукте, %

Наименование	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	Cr ₂ O ₃	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг
Немагнитный продукт	71,6	4,0	0,47	1,84	0,005	0,007	Не определяли
Требование цементных заводов	≥ 50,0	< 10	< 1,5	< 1,0	< 1,0	< 0,9	Не более 370

Полученные результаты свидетельствуют о нецелесообразности проведения магнитной сепарации обезвреженных хвостов цианирования пиритных огарков из-за невозможности получения кондиционных продуктов для черной металлургии. Остаток можно рассматривать только как сырье для цементной промышленности при условии качественной отмывки от натрия.

Технология хлор-хлоридного выщелачивания пиритных огарков

Технология хлор-хлоридного выщелачивания подразумевает выщелачивание золота из пиритных огарков с последующим сорбционным извлечением его из раствора и выводом в составе насыщенного сорбента на пиromеталлургическую переработку. Хвосты выщелачивания золота направляются на хлоридное выщелачивание с извлечением цветных металлов и серебра, затем проводится водная отмывка кека выщелачивания с последующей магнитной сепарацией. Технологическая схема хлор-хлоридной переработки пиритных огарков представлена на рис. 3.

Полученный осадок содержал: 0,32 г/т Au; 10,3 г/т Ag; 0,063 % Cu; 0,15 % Zn; 44,0 % Fe. Состав раствора выщелачивания: 0,153 мг/дм³ Au; 1,204 мг/дм³ Ag; 0,114 г/дм³ Cu; 0,159 г/дм³ Zn; 0,00019 г/дм³ Fe. Достигнута степень извлечения золота из пиритного огарка величиной 73,6 %. Извлечение серебра и цветных металлов из материала составило, %: 48,9 Ag; 58,7 Cu; 44,5 Zn; 0,0016 Fe.

Прирост извлечения металлов в раствор на стадии солянокислого выщелачивания составил, %: 4,9 Au; 1,8 Ag; 8,0 Cu; 3,0 Zn; 0,343 Fe. Сквозное извлечение по двум стадиям выщелачивания, %: 78,5 Au; 50,7 Ag; 66,7 Cu; 47,5 Zn; 0,345 Fe.

Проведя водную отмывку осадка солянокислого выщелачивания отмечено, что основная доля компонентов Cu, Zn и Cl удаляется из материала после двух ступеней промывки (рис. 4), что обеспечивается удельным расходом воды 8,6 дм³ на 1 кг материала. Содержание железа в остатке после отмывки в лабораторных условиях составило 51,1 %, хлора 0,006 %, серы 1,61 %. Сквозное извлечение компонентов из огарка в отмытый остаток составило, %: 78,5 Au; 51,2 Ag; 68,6 Cu; 48,6 Zn; 0,35 Fe.

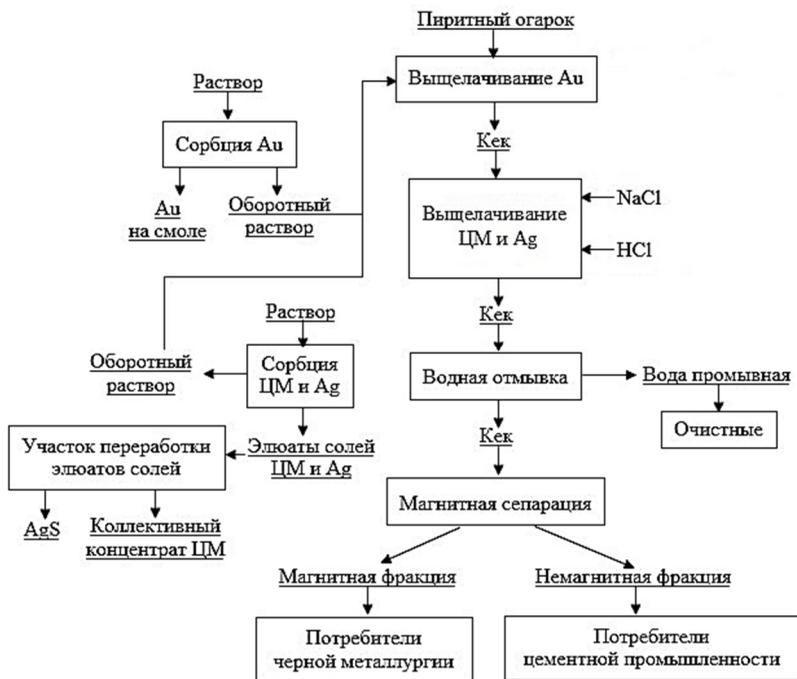


Рис. 3. Схема хлор-хлоридной переработки пиритных огарков

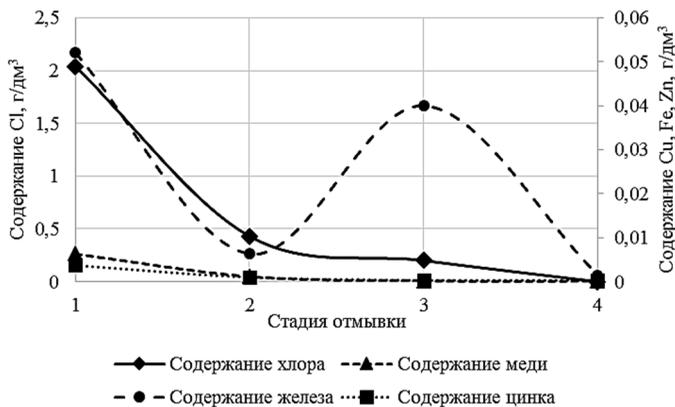


Рис. 4. Динамика изменения концентраций элементов на стадиях водной отмывки осадка солянокислого выщелачивания

В производственных условиях возможно несколько снизить расход активного хлора при его рециклинге из отходящих газов и возврате в процесс выщелачивания.

Мокрая магнитная сепарация кека цианирования на трубчатом электромагнитном анализаторе СЭ298 была проведена согласно схеме, приведенной на рис. 2. После двух стадий сепарации был получен магнитный продукт следующего состава, %: 62,8 Fe; 2,37 Si; 0,45 S; 0,11 Cu; 0,31 Zn. Сквозной выход магнитного продукта от двух стадий сепарации 44,6 %. Немагнитный продукт содержал, %: 67,3 Fe; 10,6 Si. Сквозной выход немагнитного продукта после двух стадий магнитной сепарации – 47,5 %.

Проведение выщелачивания пиритных огарков по хлор-хлоридной технологии с включением стадии магнитной сепарации открывает возможность получения железосодержащего магнитного продукта требуемого качества (табл. 3) для вовлечения в черную металлургию с извлечением железа от 53,5 до 79,6 %.

Т а б л и ц а 3

Содержание примесей в магнитном продукте, %

Наименование	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	Cu	Zn	K	Mg	Mn	As	Pb	H ₂ O
Требования заводов черной металлургии	60–65	<5,0	<1	<0,2	<0,15	<0,2	<0,2	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<5,0
Магнитный продукт	62,8	4,4	<1	0,50	0,11	0,39	<0,2	<0,1	0,023	<0,05	0,093	4,0

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение магнитной сепарации для кондиционирования кека от переработки пиритного огарка по хлорной технологии до содержания железа 60–65 %.

При проведении оценки состава немагнитного продукта как сырья для цементной промышленности, по требованиям предприятий, производящих цемент (табл. 4), отмечено несоответствие из-за повышенного содержания Na₂O (1,48 %, при требовании не более 1,0 %), как и в варианте с технологией цианидного выщелачивания пиритного огарка. Кондиционирование данного продукта является предметом дополнительно проводимого в настоящее время научного исследования.

Т а б л и ц а 4

Содержание примесей в немагнитном продукте, %

Наименование	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	Cr ₂ O ₃	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг
Немагнитный продукт	67,3	4,0	0,43	1,48	0,005	0,007	Не определяли
Требование цементных заводов	≥ 50,0	< 10	< 1,5	< 1,0	< 1,0	< 0,900	Не более 370

Заключение

Таким образом, при сравнении цианидной и хлор-хлоридной технологий переработки пиритных огарков при условии доведения получаемых продуктов до требуемых кондиций, второй вариант представляется предпочтительным из-за более высоких показателей извлечения металлов, минимизации экологических рисков и возможности диверсификации поставок железосодержащей продукции в черную металлургию и в цементную промышленность.

УДК 669.015.006.002

БЕССТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОВЛАЖНЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ И ПЫЛЕЙ

Блудова Д.¹, Ибраев И. К.², Ибраева О. Т.²

¹ Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

² ТОО «Инновационный Евразийский университет»,

г. Павлодар, Республика Казахстан

Аннотация. Разработана бессточная энергосберегающая технология переработки высоковлажных железосодержащих шламов металлургического производства. Исследованы закономерности совмещенного процесса химического обезвоживания высоковлажных железосодержащих шламов пылевидными отходами извести и доломита, твердения и окускования методом прессования в едином технологическом цикле на разработанной экспериментальной установке. В ходе лабораторных исследований проводился контроль температуры массы, скорость обезвоживания, химический состав смесей, внешний вид получаемых брикетов, весовые потери при окусковании, влажность смесей, механическая прочность брикетов. Установлены новые закономерности, позволившие разработать безобжиговый способ получения железосодержащего материала и самовосстанавливающихся брикетов. Суть способа, являющегося одним из основных положений научной новизны, заключается в совмещении процессов обезвоживания, самоотверждения смеси с процессом формообразования путем приложения внешнего давления к твердеющей смеси в пресс-формах с получением окускованного материала в виде брикетов в едином технологическом цикле. Предлагаемая технология не требует сушки и обжига, а набор прочностных свойств происходит по мере охлаждения материала на воздухе в течение суток. Разработан новый энергоэффективный и бессточный способ производства железосодержащих брикетов, совмещающий процессы химического обезвоживания и окускования в одном технологическом цикле. Предлагаемый проект и технология позволят организовать производство по переработке высоковлажного железосодержащего шлама и полу-