

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-

чение комплексного железосодержащего материала в качестве вторичного металлосодержащего сырья для металлургических заводов по производству стали и металлопроката, Технология позволит полностью использовать не только железосодержащий шлам, но и тонкоизмельченные отходы обжига известняка и доломита (известняковую и доломитовую пыль сухой газоочистки) в качестве обезвоживающих и вяжущих материалов, а также отсев кокса и угля в качестве восстановителя. Предлагаемая технология решает также проблемы загрязнения окружающей среды и отвода земель для складирования отходов производства.

Ключевые слова: шлам, пыль, переработка, обезвоживание, окускование, утилизация.

Введение

Металлургическое производство технологически сопровождается образованием значительного количества различных отходов в объеме, достигающем 30 % от производства стали. Примерно 80 % этого количества составляют шлаки, и около 20 % – пыль и другие отходы.

Переработка и утилизация техногенных отходов важны не только для использования их в качестве альтернативного источника сырья, но и с точки зрения охраны окружающей среды. Однако, несмотря на огромный ресурсный потенциал, отходы горнодобывающей промышленности, как в России, так и в Казахстане, используются преимущественно, как сырье для строительной индустрии, но и в этом качестве перерабатывается не более 10 % годового объема их образования.

Экологическое законодательство России и Казахстана регулирует деятельность металлургического комплекса на достаточно высоком уровне, однако принципы безотходной экономики и ресурсосберегающие технологии, основанные на утилизации отходов, отстают в внедрения природоохранных мер. Например, слабо используется рециклинг пылевидных отходов железорудного сырья, в которых содержание железа доходит до 60 %. Для России и Казахстана, производящих значительную долю минеральной продукции мира и обладающих мощным горнометаллургическим потенциалом, проблема переработки накопленных отходов имеет первостепенное значение. Особенно в условиях повышенного спроса на железо. Металлургия стран бывшего СССР характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью – в 1,5–3 раза выше, чем в развитых странах [1], что обуславливает высокий уровень удельного образования отходов на единицу металлопродукции. На текущий момент объем накопленных твердых отходов металлургических предприятий исчисляется миллиардами тонн [2]. При этом некоторые виды металлургических отходов, например, железосодержащие шламы не нуждаются в обогащении и могут быть приравнены к железорудным концентратам. Наиболее значительными техногенными месторождениями по объему являются гидроотвалы и хвостохранилища [3]. Ежегодный прирост отходов по отдельным отраслям составляет, млн т: угольная промышленность – 1960, черная металлургия –

630, цветная металлургия – 374, химическая промышленность – 270, производство строительных материалов – 265 [4].

На отвалах и шламохранилищах металлургических предприятий РФ скопилось более 1 млрд т отходов. Из них около 360 млн т отходов черной металлургии и более 800 – цветной металлургии. В частности, на Урале за 300-летний период интенсивного горно-металлургического производства накоплены миллиарды кубометров отходов [5].

Все вышесказанное относится и к высоковлажным железосодержащим шламам металлургического производства. Из-за отсутствия эффективных технологий обезвоживания и окускования они, как правило, складываются в золошлакохранилище, где смешиваются с другими шламами и пылями, и их металлургическая ценность теряется.

Что касается казахстанских металлургических предприятий, то, например, на АО «АрселорМиттал Темиртау» ежегодно образуется около 95–100 тыс. т железосодержащих шламов доменной и кислородно-конвертерной газоочистки, содержащих 35–45 % железа и других важных для металлургических процессов элементов (кальция, магния) и которые не используются и складываются в золошламонакопителях и отвалах. Прирост железосодержащих песков с содержанием 50–75 % железа на АО «Алюминий Казахстана» составляет около 100 тыс. т, которые также складываются на шламовых полях. Учитывая тенденцию постоянного снижения, содержание железа в природных железорудных концентратах (45–50 %), железосодержащий окускованный материал, полученный из высоковлажных железосодержащих шламов и пылевидных отходов производства извести и обжига сырого доломита, может служить альтернативным вторичным материалом для частичной замены железорудного концентрата. Это позволит снизить потребность в природном железорудном сырье и флюсующих материалах, что возможно при наличии технологии подготовки железосодержащих шламов к металлургической переработке.

С другой стороны, на металлургических предприятиях полного цикла, к которым относится АО «АрселорМиттал Темиртау», при обжиге известняка и сырого доломита образуется большое количество мелкодисперсной кальций- и магнийсодержащей пыли в виде известковой и доломитовой пыли, обладающими отличными обезвоживающими и вяжущими свойствами, которые, как правило, не пользуются спросом, и складываются в золошламохранилищах.

Разработка технологии обезвоживания высоковлажных мелкодисперсных железистых шламов, а также создание комплексных композиционных самовосстанавливающихся материалов, как альтернативных источников сырья, может служить основой для создания ресурсосберегающих, малоотходных, замкнутых экологически безопасных и бессточных металлургических процессов, решающие не только вопросы сырья с максимальным вовлечением отходов производства в хозяйственный оборот, но и экологические проблемы региона.

В мировой практике известны технологии производства железосодержащего брикета, но они отличаются от предлагаемой нами технологии, использованием дорогостоящих и сложных технологий (термических, вакуумных) предварительного обезвоживания и многостадийных технологий окускования, которые являются энергоемкими и дорогостоящими технологиями [6–9]. Наиболее близкой к предлагаемой технологии является технология производства металлургического самовосстанавливающегося брикета российской компании «ЭкоМашГИО». В отличие от предлагаемой технологии используется железосодержащий шлам влажностью 15–20 %, применим для лежалых шламов, взятых из шламохранилища. Причем предлагаемая технологическая схема «ЭкоМашГИО» не исключает транспортировку железосодержащей пульпы по многокилометровому шламопроводу и складирование в шламонакопителях. Кроме того, в качестве вяжущего и упрочняющего материала в технологии «ЭкоМашГИО» используется цемент, что удорожает стоимость металлургического брикета [10; 11].

Предпосылками к разработке данного проекта явилось установление авторами новых закономерностей переработки высоковлажных железосодержащих шламов и кальций- и магнийсодержащих материалов (известковая, доломитовая пыль) для химического обезвоживания шламов, твердения смеси, по типу затворения цемента с водой, с получением камневидного материала в виде мелкого песка. При перемешивании высоковлажного шлама с обезвоживающими материалами за счет экзотермической реакции активных оксидов кальция и магния с влагой шлама температура системы повышается до 95–110 °С, а часть влаги испаряется и удаляется в виде пара [12–15].

Данный вариант технологии был внедрен на АО «АрселорМиттал Темиртау» (Республика Казахстан) в цехе водоснабжения для обезвоживания замасленной окалины с помощью пылевидных отходов извести и доломита с целью получения известкованной окалины для агломерационного производства [14].

Методика проведения исследований

Для исследования процессов совмещения операций обезвоживания, твердения и окускования железосодержащих шламов разработана лабораторная установка (рис. 1) и проведены эксперименты по изучению условий, обеспечивающих получение железосодержащих брикетов, пригодных для сталеплавильного передела [16; 17].

В процессе перемешивания и последующей выдержки производили измерение температуры массы, скорости обезвоживания и химического состава.

Процесс формообразования производили на лабораторном гидравлическом прессе с усилием 125, 180 и 280 кН. Изготовленные в лабораторных условиях цилиндрические брикеты диаметром 50 мм и высотой 60 мм

имели прочность соответственно 94, 265 и 505 кН/см², плотность 2,7 кг/см³. Количество мелочи менее 5 мм при сбрасывании на стальную плиту с высоты 2 м составило 0,6 %.

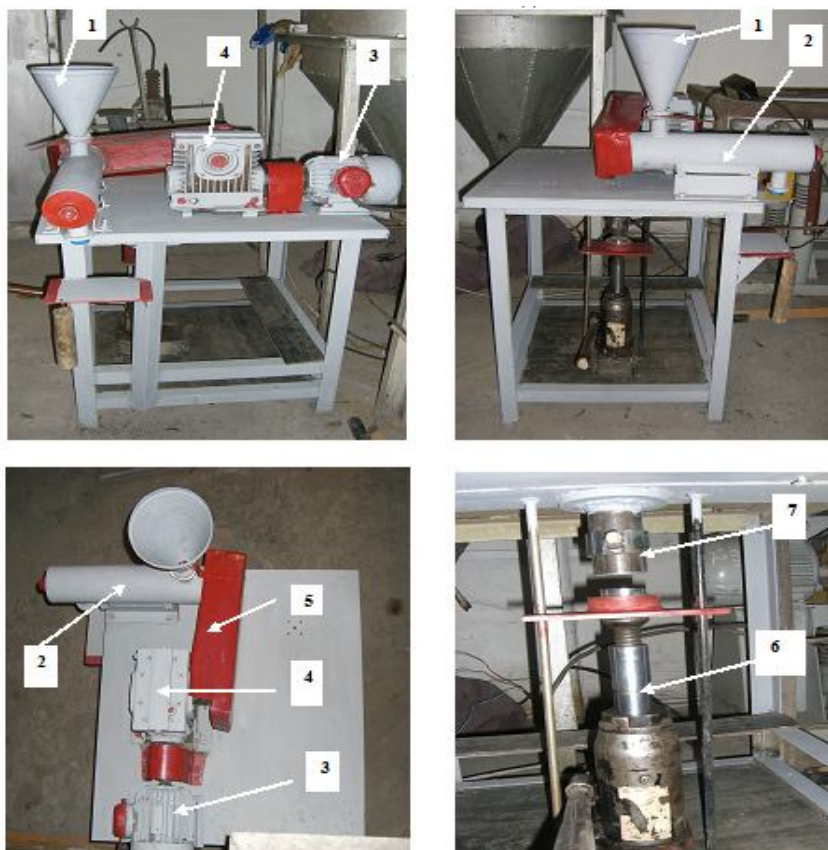


Рис. 1. Схема лабораторной установки для брикетирования железосодержащих шламов:

- 1 – приемный бункер; 2 – шнековый смеситель (активатор); 3 – электропривод;
- 4 – редуктор; 5 – ременная передача; 6 – гидравлический пресс;
- 7 – цилиндрическая пресс-форма

Результаты исследований

Исследования установлены новые закономерности, позволившие разработать безобжиговый способ получения железосодержащего материала и самовосстанавливающихся брикетов, что стало одним из основных положений научной новизны. Суть способа заключается в сочетании процессов обезвоживания, самоотверждения смеси с процессом формообразования

путем приложения внешнего давления к твердеющей смеси в пресс-формах с получением окускованного материала в виде брикетов. Предлагаемая технология не требует сушки и обжига, а набор прочностных свойств происходит на воздухе по мере охлаждения материала в течение суток. На предложенное техническое решение получены инновационные патенты РК [18; 19].

В результате дополнительных исследований разработана новая эффективная ресурсо-энергосберегающая технологическая схема производства окускованного железо-углеродсодержащего материала для технологий металлургического производства.

Разработанные инновационные технологии подготовки влажных шламов к переработке были представлены в Каталоге выставки достижений промышленности «Развитие горно-металлургической и угольной промышленности» [20], и отражены в материалах Всероссийской конференции «Исследования в области переработки и утилизации техногенных образований и отходов» [21].

Обсуждение результатов исследований

Шламовая пульпа из технологического цикла или систем мокрой газоочистки перекачивается непосредственно на предлагаемую установку (рис. 2), где пульпа конденсируется в напорных гидроциклонах до влажности 40–50 %, а сгущенный шлам направляется на конвейер, куда также из дозирующих бункеров загружается пылевидная известь и/или пылевидный доломит, а также отсев коксовой мелочи или пылевидный уголь. С конвейера материалы подаются в шнековый смеситель-активатор, где идет процесс химического обезвоживания. Из смесителя обезвоженная подогретая шламово-известковая смесь поступает на вальцовый или вибрационный пресс, где формируется окускованный материал с остаточной влажностью 5–9 %. Брикеты хранятся на поддонах для охлаждения и выдержки при температуре окружающей среды. Отработанная осветленная вода из гидроциклона перекачивается и возвращается в общий технологический цикл.

В целом данная технология позволяет создать замкнутую систему водоснабжения через предлагаемую установку (отделение), исключая пруд-осветлитель (шламонакопитель), что значительно сокращает расход воды, затраты труда и энергии на транспортировку пульпы по многокилометровому шлампроводу в шламохранилище и осветленной воды обратно для технологии, а также расходы на обслуживание шламовых насосов, шлампровода и шламонакопителя.

Таким образом, железорудный шлам в виде окускованного композиционного материала может быть использован в качестве заменителя железорудного концентрата в сквозной технологии выплавки стали и чугуна, что не требует выделения земель под шламохранилище для складирования

шламов и обеспечивает более полную утилизацию техногенных отходов производства.

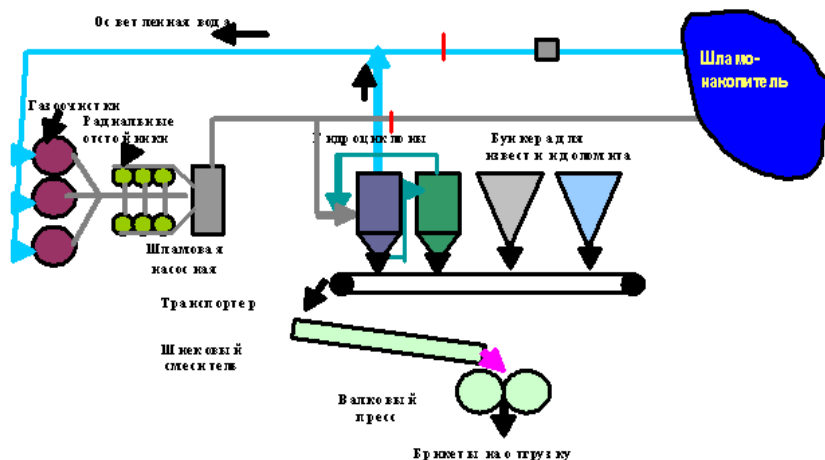


Рис. 2. Технологическая схема производства шламоизвестковых брикетов для черной металлургии

Предлагаемый проект является основой для создания ресурсосберегающих, малоотходных, замкнутых и экологически чистых бессточных процессов, решающих не только проблемы сырья и максимального вовлечения отходов в оборот, но и экологические проблемы производства.

Конкурентоспособность предлагаемой технологии по сравнению с аналогичными западными аналогами заключается в следующем:

- исключение транспортировки и складирования шлама в шламохранилище и переработки шлама в непосредственной близости от источника образования;

- снижение трудо- и энергозатрат на транспортировку и складирование шлама, обслуживание шламовых насосов, шламопровода и шламонакопителя;

- отпадает необходимость сушки шлама перед производством железорудных брикетов:

- обработка заключается в одностадийном процессе обезвоживания, самоотверждения и формообразования с получением комплексных железуглеродсодержащего окускованного материала в одном производственном цикле;

- использование в качестве обезвоживающего и вяжущего материала отходов кальций- и магнийсодержащих пылей (пылевидных отходов), а в качестве восстановителя отсева кокса или угля собственного производства.

В результате реализации проекта будет получена товарная продукция в виде вторичного железо-углеродсодержащего материала и железоуглеродистого сплава в качестве заменителя железорудного сырья и лома для производства стали, железа и сплавов.

Заключение

Предлагаемые проект и технология позволят организовать производство по переработке высоковлажного железосодержащего шлама и получение комплексного железосодержащего материала в качестве вторичного металлосодержащего сырья для металлургических заводов по производству стали и металлопроката, Технология позволит полностью переработать не только железосодержащий шлам текущего производства, но и пылевидные отходы обжига известняка и доломита (известняковую и доломитовую пыль сухих газоочисток) в качестве обезвоживающих и вяжущих материалов, а также отсева кокса и угля, как восстановителя.

Предлагаемая технология снимает также проблему загрязнения окружающей среды и отвода земель для складирования отходов производства.

Описанные проект и технология позволят исключить складирование железосодержащих шламов в золошламоникопителях и шламовых полях, получить новые товарные продукты и сократить расход природного железорудного сырья и флюсующих материалов и решить не только технологические, но и экологические вопросы металлургического производства. Предлагаемая технологическая схема переработки позволит снизить экологические платежи за складирование отходов, уменьшить количество забалансовых вод и загрязнение подземных вод.

Библиографический список

1. *Вольнкина Е. П.* Развитие концепции управления отходами и разработка методологии ее реализации на металлургическом предприятии : спец. 05.16.07 «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов» : дисс. ... д-ра техн. наук / Е. П. Вольнкина. – Новокузнецк, 2007. – 589 с.
2. *Козловский Е. А.* Состояние и направления развития минерально-сырьевой базы России / Е. А. Козловский // Горный журнал. – 2003. – № 10. – С. 4–9.
3. *Анисимов В. Н.* Решение геоэкологических проблем безопасности и глубокой переработки природно-техногенных месторождений / В. Н. Анисимов, И. С. Булгаков, Г. К. Гасиев // Горная промышленность. – 2012. – № 6 (106). – С. 64–68.
4. *Грановская Н. В.* Техногенные месторождения полезных ископаемых : Научно-образовательный курс / Н. В. Грановская, А. В. Наставкин, Ф. В. Мещанинов. – Ростов-на-Дону : ЮФУ. 2013. – 93 с. – URL: <http://nauka.x-pdf.ru/17raznoe/461906-1-granovskaya-nastavkin-meschaninov-tehnogennie-mestorozhdeniya-poleznych-iskopaemih-rostov-na-donu-nauchno-obrazovatelnyi-ku.php> (дата обращения: 30.01.2022).
5. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / С. И. Мормиль, В. Л. Сальникова, Л. А. Амосов, Г. Г. Хананова и др. ; под ред. Ю. А. Боровкова. – Екатеринбург : НИИ–Природа, ДИП

по Уральскому региону, АООТ «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Геологическое предприятие «Девон». – 2002. – 206 с.

6. *Гоник И. Л.* Особенности применения брикетизируемых железосодержащих отходов / И. Л. Гоник, В. П. Лякин, Н. А. Новицкий // *Металлург.* – 2011. – № 5. – С. 25–27.

7. *Белкин А. С.* Использование железококсовых брикетов на цементной связке в доменной плавке / А. С. Белкин и др. // *Металлург.* – 2003. – № 4. – С. 39–41.

8. *Anyashiki T.* Development of Carbon Iron Composite Process / T. Anyashiki, K. Fukada, H. Fujimoto // *JFE GIHO.* – 2008. – № 22. – P. 20–24.

9. Preparation of coal briquettes based on non-standard Kazakhstan coal with various additives and determination of their quality / M. Tulepov, L. Sassykova, A. Kerimkulova, [et al.] // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy.* – 2021. – 56 (1).

10. Подготовка металлургического сырья для доменной и бездомной металлургии железа : в 2 т. Т. 1. Теория, технология и практика подготовки компонентов и шихт для окомкования : учебник / Ф. М. Журавлев, В. П. Лялюк, Н. И. Ступник [и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 300 с. – ISBN 978-5-9729-0704-5, 978-5-9729-0706-9 (т. 1). – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115157.html> (дата обращения: 21.01.2022).

11. *Han H.* Binders and Bonding Mechanism for RHF Briquette Made from Blast Furnace Dust / H. Han, D. Duan, P. Yuan // *ISIJ International.* – 2014. – Vol. 54. – № 8. – P. 1781–1789.

12. Исследование процессов обезвоживания и подготовки железосодержащих шламов к утилизации / И. К. Ибраев, В. К. Головкин, С. Н. Климушкин, В. Г. Садовский [и др.] // *Сталь.* – 1996. – № 11. – С. 71–74.

13. Патент РК № 4005. (51)702 11/12,21 5/36. Способ обезвоживания шлама // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – 1996. – № 12, опубликован 15.12.2000. URL: <https://kzpatents.com/5-4005-sposob-obezvozhivaniya-shlama.html> (дата обращения: 21.01.2022).

14. Инновационный патент РК № 21208. Способ утилизации масло-железосодержащих отходов прокатного производства // Промышленная собственность. Официальный бюллетень, – 2009. – № 5, опубликован 15.05.2009.

15. *Ибраева О. Т.* Энергосберегающая технология переработки отходов металлургического производства / О. Т. Ибраева, И. К. Ибраев. – Алматы : НИЦ «Ғылым», 2011. – 292 с.

16. *Ибраев И. К.* Разработка комплекса для подготовки вторичного сырья из отходов металлургического производства для использования его в технологиях сквозного металлопроката / И. К. Ибраев, И. С. Вишнев // Республиканский научный журнал «Технология производства металлов и вторичных материалов». Териатау, 2009. – № 2. – С. 18–21.

17. Патент на полезную модель № 586. (2009.01) 28 5/12 (2009.01) 10 5/06 (2009.01) 10 7/06 (2009.01) Комплекс для брикетирования сыпучих материалов // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – 2011. – № 10, опубликован 15.10.2010.

18. Инновационный патент РК N 25103. A4 (11) C22B 1/243 (2009.01) C22B 1/24 (2009.01) 2010/0670.1 24.05.2010. Вяжущее для безобжигового окускования // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – 2011. – № 12 а, опубликован 15.12.2011.

19. Инновационный патент РК N 23987. А4 (11) С22В 1/243 (2010.01) С22В 1/24 (2010.01) 2010/0623.1 опубликован 14/05/2010. Способ безобжигового окускования // Промышленная собственность. Официальный бюллетень. – 2011. – № 5, 16.05.2011.

20. *Ибраев И. К.* Инновационные технологии подготовки высоковлажного шлама к захоронению / И. К. Ибраев, О. Т. Ибраева, М. М. Суондииков // Каталог выставки достижений отечественной промышленности «Развитие горно-металлургического комплекса и угольной промышленности». «MinTech-2010», 26–28 мая 2010 г. – Караганды, 2010. – С. 32–36.

21. *Ибраев И. К.* Разработка новых композиционных железосодержащих товарных продуктов из высоковлажных шламов металлургического производства / И. К. Ибраев, О. Т. Ибраева, А. С. Вишнев // Мат. Росс. конф. «Исследования в области переработки и утилизации техногенных образований и отходов» с элем. шк. мол. уч. г. Екатеринбург, 27 ноября 2009 г. – Екатеринбург, 2009. – С. 73–79.

УДК 669.754

ПОЛУЧЕНИЕ СУРЬМЫ Су-0 ЭЛЕКТРОРАФИНИРОВАНИЕМ В СУЛЬФАТНО-ФТОРИДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

**Воинков Р. С.^{1,3}, Яковлева Л. М.¹, Агарова Н. Е.¹, Яковлев К. А.¹,
Коснырев В. С.^{1,2}, Краюхин С. А.³, Тимофеев К. Л.^{1,3}**

¹АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Россия

²Уральский федеральный университет

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

³НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма, Россия

Аннотация. В ходе проведенных лабораторных исследований определены оптимальные режимы ведения процесса электрорафинирования сурьмы марки Су-1 в сульфатно-фторидном электролите при катодной плотности тока 185 А/м². Концентрацию сурьмы в электролите поддерживали в диапазоне 33–35 г/дм³, серной кислоты – в диапазоне 200–210 г/дм³ и плавиковой кислоты на уровне 30 г/дм³. Получен катодный осадок с содержанием сурьмы 99,94 %, соответствующий марке Су-00 по всем примесям, кроме мышьяка (0,02 %). За счет повышенного показателя выхода по току сурьмы 99,76 % удельный расход электроэнергии был достаточно низким – 265 (кВт · ч)/т. Технология электрорафинирования сурьмянистых анодов в сульфатно-фторидном электролите имеет преимущество перед электроэкстракцией, поскольку позволяет получить катодную сурьму с меньшими содержаниями примесей, соответствующую марке Су-0 и близкую по качеству марке Су-00. Составлен баланс распределения сурьмы и примесей по продуктам электролиза, выход шлама – 2,5 % от массы растворившейся части анодов. Скорость накопления сурьмы в электролите составила 0,066 г/ч. Для получения сурьмы высшей марки Су-00 требуется проведение дополнительной операции по очистке катодной сурьмы от мышьяка.

Ключевые слова: электрорафинирование, сульфатно-фторидный электролит, сурьмянистые аноды, плотность тока, катодная сурьма, анодный шлам.