

Влияние рентгенорадиометрической сепарации на технологические показатели глубокого обогащения забалансовой цинковой руды

Цыпин Е. Ф.^{1*}, Попова Е. В.², Ефремова Т. А.²

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

² Научно-исследовательский и проектный институт «Уралмеханообр», г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: tsipin.e@mail.ru

Реферат

Введение. В последнее время в переработку вовлекаются руды сложного химического и минералогического состава, в том числе и забалансовые руды. Для забалансовых руд характерно невысокое содержание ценного компонента. Одним из наиболее перспективных методов повышения качества сырья является рентгенорадиометрический.

Целью работы является изучение влияния предварительного обогащения рентгенорадиометрическим методом на технологические показатели флотационного обогащения забалансовой цинковой руды.

Методика. Исследование проведено на забалансовой цинковой руде крупностью $-50+0$ мм. Из исходной руды выделены несортируемый класс крупности и один машинный класс $+30$ мм. Машинный класс разделен на рентгенорадиометрическом сепараторе с получением концентрата рентгенорадиометрической сепарации (PPC) и хвостов PPC. Путем смешивания концентрата PPC в заданной пропорции с содержанием несортируемого класса 80, 60, 30 % сформированы объединенные продукты, являющиеся продуктами питания флотации. Проведено флотационное обогащение данных продуктов с получением грубого цинкового концентрата и флотационных хвостов. Рассчитаны технологические показатели.

Выводы. Совместное применение рентгенорадиометрической сепарации и флотационного обогащения забалансовой цинковой руды позволяет существенно повысить технологические показатели и пересмотреть подходы к построению технологии обогащения данной руды.

Ключевые слова: предварительная концентрация; флотация; рентгенорадиометрическая сепарация; забалансовая цинковая руда; технологические показатели; предварительное обогащение.

Введение. Потребность расширения рудной сырьевой базы диктуется ростом потребления сырья и производимой из него продукции. Запасы богатых руд со временем истощаются. В связи с этим в переработку вовлекаются относительно бедные и забалансовые руды. Традиционно используемые технологии глубокого обогащения, такие как флотационные, не позволяют достичь на них столь же высоких технологических показателей как при обогащении богатых руд. Эффективность обогащения может быть повышена за счет использования предварительной концентрации в стадиях рудоподготовки [1, 2]. Такой подход находит применение в разных странах при переработке различных видов минерального сырья [3–6]. Наибольшее распространение получили информационные или сенсорные методы обогащения [7, 8].

В кластер информационных входят следующие методы: радиометрические, применяемые для сортировки радиоактивных руд; оптические, применяемые для сортировки нерудного сырья, марганцевых, золотосодержащих руд; группа ней-

тронных (нейтронно-радиационный, нейтронно-активационный, нейтронно-абсорбционный), которые потенциально могут быть применены к широкому кругу разнообразных руд; фотонейтронный, использующий фотоядерную реакцию (γ, n) и применяемый для сортировки бериллиевых руд; радиорезонансные и теплотметрические, применяемые для руд, содержащих минералы и горные породы,

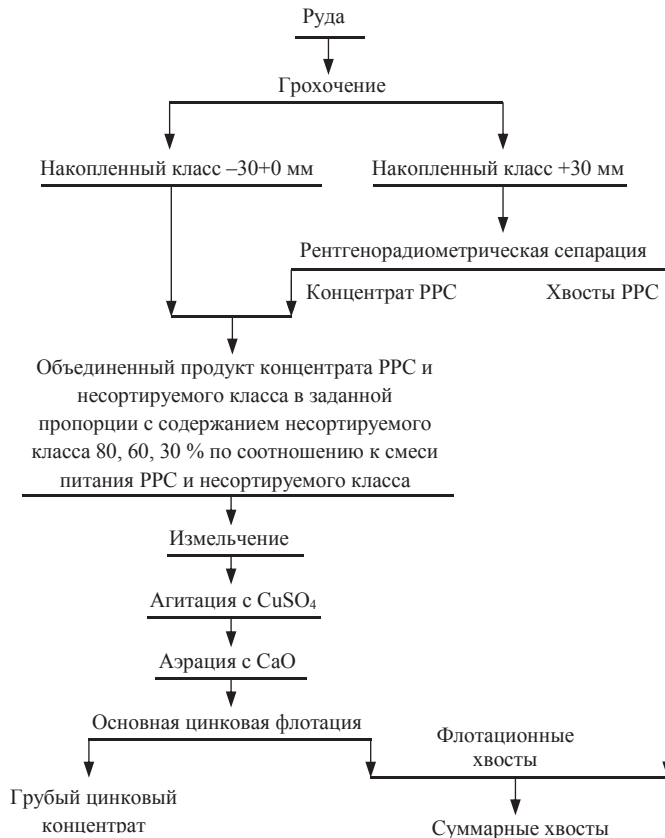


Рис. 1. Схема проведения опытов
Fig. 1. Research design scheme

отличающиеся соответственно электрическими и магнитными или теплофизическими свойствами [1, 7]. Особо следует отметить наиболее широко используемую в промышленности многообразную группу рентгеновских методов, это рентгенофлуоресцентный, рентгеноабсорбционный, рентгенолюминесцентный методы.

Таблица 1. Показатели рентгенорадиометрического разделения, %
Table 1. Indicators of X-ray radiometric separation, %

| Продукт РРС | Выход | Массовая доля цинка | Извлечение цинка |
|----------------|--------|---------------------|------------------|
| Концентрат РРС | 46,14 | 3,731 | 88,51 |
| Хвосты РРС | 53,86 | 0,415 | 11,49 |
| <i>Итого</i> | 100,00 | 1,945 | 100,00 |

Рентгенофлуоресцентный метод отличает возможность сортировки сырья по содержанию химических элементов, начиная с Ca, разнообразие специфических алгоритмов, используемых для разделения многообразных видов минерального сырья [9–11]. В промышленных условиях этот метод показывает высокую эффек-

тивность при предварительном обогащении с выделением отвальных кусковых хвостов и части кусковых концентратов руд цветных, редких и благородных металлов [1, 9, 12, 13], урановых руд [14, 15], руд черных металлов [1], неметаллических полезных ископаемых [9, 16, 17].

Таблица 2. Результаты флотационного обогащения, %
Table 2. Results of flotation, %

| Продукт | Суммарные характеристики | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|--------|--------------------|-----------------|
| | Концентрат | | | Хвосты | | |
| | Выход | Массо- вая доля | Извлече- ние | Выход | Массо- вая доля | Извлече- ние |
| <i>Без использования РРС</i> | | | | | | |
| 1-я фракция пенного продукта | 2,40 | 22,35 | 35,29 | 100,00 | 1,52 | 100,00 |
| 2-я фракция пенного продукта | 7,13 | 14,05 | 65,91 | 97,60 | 1,01 | 64,71 |
| 3-я фракция пенного продукта | 11,82 | 9,26 | 72,05 | 92,87 | 0,56 | 34,09 |
| 4-я фракция пенного продукта | 15,69 | 7,19 | 74,29 | 88,18 | 0,48 | 27,95 |
| 5-я фракция пенного продукта | 16,92 | 6,72 | 74,86 | 84,31 | 0,46 | 25,71 |
| Флотационные хвосты | 100,00 | 1,52 | 100,00 | 83,08 | 0,46 | 25,14 |
| <i>80 % несортируемого класса</i> | | | | | | |
| 1-я фракция пенного продукта | 2,39 | 30,20 | 40,10 | 100,00 | 1,80 | 100,00 |
| 2-я фракция пенного продукта | 6,68 | 17,86 | 66,29 | 97,61 | 1,10 | 59,90 |
| 3-я фракция пенного продукта | 11,71 | 11,29 | 73,47 | 93,32 | 0,65 | 33,71 |
| 4-я фракция пенного продукта | 18,45 | 7,47 | 76,62 | 88,29 | 0,54 | 26,53 |
| 5-я фракция пенного продукта | 22,34 | 6,28 | 78,00 | 81,55 | 0,52 | 23,38 |
| Флотационные хвосты | 100,00 | 1,80 | 100,00 | 77,66 | 0,51 | 22,00 |
| <i>60 % несортируемого класса</i> | | | | | | |
| 1-я фракция пенного продукта | 2,25 | 38,91 | 37,90 | 100,00 | 2,31 | 100,00 |
| 2-я фракция пенного продукта | 6,54 | 24,41 | 69,12 | 97,75 | 1,46 | 62,10 |
| 3-я фракция пенного продукта | 10,53 | 16,76 | 76,43 | 93,46 | 0,76 | 30,88 |
| 4-я фракция пенного продукта | 15,43 | 11,87 | 79,29 | 89,47 | 0,61 | 23,57 |
| 5-я фракция пенного продукта | 18,22 | 10,20 | 80,53 | 84,57 | 0,57 | 20,71 |
| Флотационные хвосты | 100,00 | 2,31 | 100,00 | 81,78 | 0,55 | 19,47 |
| <i>30 % несортируемого класса</i> | | | | | | |
| 1-я фракция пенного продукта | 2,29 | 42,75 | 35,99 | 100,00 | 2,72 | 100,00 |
| 2-я фракция пенного продукта | 5,15 | 33,02 | 62,52 | 97,71 | 1,79 | 64,01 |
| 3-я фракция пенного продукта | 9,20 | 22,78 | 77,04 | 94,85 | 1,08 | 37,48 |
| 4-я фракция пенного продукта | 13,66 | 16,32 | 81,93 | 90,80 | 0,69 | 22,96 |
| 5-я фракция пенного продукта | 17,18 | 13,32 | 84,17 | 86,34 | 0,57 | 18,07 |
| Флотационные хвосты | 100,00 | 2,72 | 100,00 | 82,82 | 0,52 | 15,83 |

При решении задачи предварительной концентрации часть хвостов удаляется в кусковом виде, что приводит к потерям ценных компонентов в этой стадии обогащения. При глубоком (например, флотационном) обогащении также удаляются хвосты, с которыми теряется часть полезных компонентов. Вместе с тем содержание полезных компонентов в питании глубокого обогащения возрастает. Это может повлиять на извлечение ценных компонентов в стадиях глубокого обогащения и компенсировать потери ценных компонентов в стадиях предварительной концентрации, а также позволит получать более богатые концентраты глубо-

кого обогащения. В отдельных случаях предварительная концентрация может привести к изменению кинетических характеристик флотационного процесса, что позволит усовершенствовать технологическую схему флотационного обогащения с вытекающими из этого благоприятными экономическими и экологическими последствиями.

Теоретический подход к выявлению взаимосвязи потерь ценных компонентов с хвостами предварительной концентрации и технологическими показателями технологии в целом проанализирован в [1]. Однако для каждого вида сырья упомянутые эффекты могут проявляться в разной степени и потому должны быть подтверждены экспериментально.

Целью исследования является установление взаимосвязи технологических показателей обогащения с условиями и показателями предварительной концентрации руды рентгенофлуоресцентной сепарацией и последующей флотацией концентрата рудосортировочного комплекса на примере забалансовой цинковой руды.

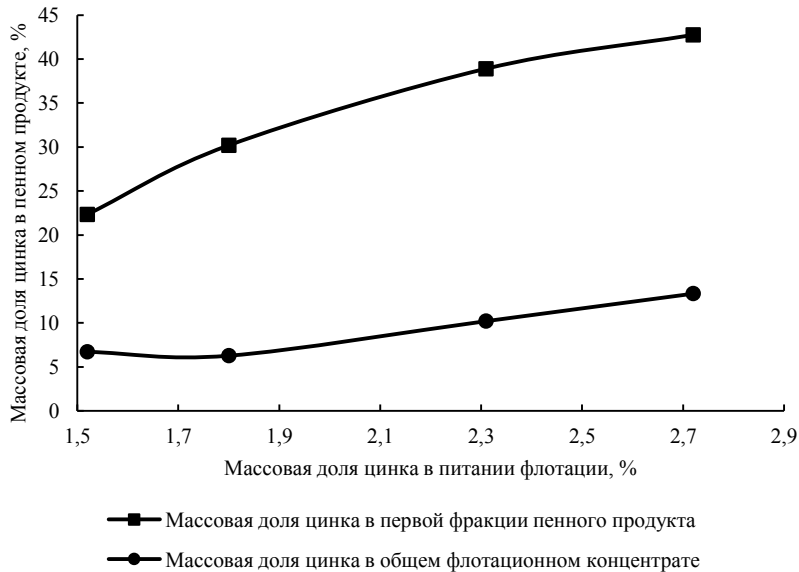


Рис. 2. Изменение массовой доли цинка в пенном продукте флотации в зависимости от содержания цинка в питании флотации
Fig. 2. Zinc mass fraction variation in flotation froth depending on the content of zinc in flotation feed

Методика. Исследования проведены на пробе забалансовой цинковой руды крупностью $-50+0$ мм, содержащей 1,52 % цинка. От исходной руды выделены машинный класс крупности $+30$ мм и несортируемый класс $-30+0$ мм.

Машинный класс разделен на рентгенометрическом сепараторе с получением обогащенного цинком продукта и продукта с массовой долей цинка, соответствующей массовой доле цинка во флотационных хвостах. На основании изучения характеристических рентгеновских спектров кусков, разделение выполнено по спектральному отношению интенсивностей в спектральных областях: области вторичного характеристического рентгеновского излучения цинка N_{Zn} и области рассеянного первичного рентгеновского излучения N_S .

На рис. 1 представлена схема проведения исследований по рентгенометрической сепарации (РПС) с последующей флотацией продуктов разделения. Для оценки влияния РПС на эффективность флотации искусственно составлены

смеси из концентрата сепарации и несортируемого класса. Содержание несортируемого класса составило 80, 60 и 30 %, при этом массовая доля цинка в имитируемой исходной руде (смесь классов +30 мм и –30+0 мм в указанных соотношениях) составила: 1,573; 1,695; 1,730 % соответственно. В питании измельчения и флотации (объединенный продукт концентрата сепарации и несортируемого класса) массовая доля цинка соответственно составила 1,80; 2,31; 2,72 %. Для сравнения результатов поставлен флотационный опыт на исходной руде с массовой долей цинка 1,52 % без предварительного обогащения РРС.

Таблица 3. Технологические показатели обогащения относительно исходной руды, %
Table 3. Technological parameters of dressing regarding the initial ore, %

| Продукт | Выход | Массовая доля цинка | Извлечение цинка |
|-----------------------------------|--------|---------------------|------------------|
| <i>Без использования РРС</i> | | | |
| Грубый цинковый концентрат | 16,92 | 6,72 | 74,86 |
| Флотационные хвосты | 83,08 | 0,46 | 25,14 |
| <i>Итого</i> | 100,00 | 1,52 | 100,00 |
| <i>80 % несортируемого класса</i> | | | |
| Грубый цинковый концентрат | 18,73 | 6,270 | 74,67 |
| Флотационные хвосты | 65,11 | 0,510 | 21,09 |
| Хвосты РРС | 16,16 | 0,415 | 4,24 |
| Суммарные хвосты | 81,27 | 0,491 | 25,33 |
| <i>Итого</i> | 100,00 | 1,573 | 100,00 |
| <i>60 % несортируемого класса</i> | | | |
| Грубый цинковый концентрат | 12,33 | 10,190 | 74,14 |
| Флотационные хвосты | 55,35 | 0,550 | 17,96 |
| Хвосты РРС | 32,32 | 0,415 | 7,90 |
| Суммарные хвосты | 87,67 | 0,500 | 25,86 |
| <i>Итого</i> | 100,00 | 1,695 | 100,00 |
| <i>30 % несортируемого класса</i> | | | |
| Грубый цинковый концентрат | 9,78 | 13,350 | 75,44 |
| Флотационные хвосты | 47,13 | 0,520 | 14,20 |
| Хвосты РРС | 43,09 | 0,415 | 10,36 |
| Суммарные хвосты | 90,22 | 0,470 | 24,56 |
| <i>Итого</i> | 100,00 | 1,730 | 100,00 |

Поступающий на глубокое обогащение продукт измельчается в щелочной среде до 83–85 % содержания класса –0,071 мм. Измельченный продукт подвергается агитации с медным купоросом, расход медного купороса при этом составляет 500 г/т, и аэрации с СаО. Содержание свободного СаО в жидкой фазе пульпы 868 г/м³. Время флотации составляет 25 мин, расход собирателя – бутилового ксантогената калия – 200 г/т. Предусмотрена дробная подача собирателя. Съем пенного продукта осуществляется по фракциям.

Результаты исследований. В табл. 1 представлены результаты рентгенорадиометрической сепарации забалансовой цинковой руды.

Массовая доля цинка в хвостах сепарации составляет 0,415 %, что по данным практики соответствует массовой доле цинка во флотационных хвостах. Выход хвостов РРС относительно сепарируемого класса крупности составил 53,86 %, что указывает на возможность применения РРС на забалансовой цинковой руде.

В табл. 2 представлены суммарные характеристики результатов флотационных опытов, рассчитанные относительно питания флотации.

Анализ результатов. Применение РРС позволяет удалить часть флотоактивного пирита, что косвенно подтверждается данными табл. 2. Уменьшение потерь цинка с флотационными хвостами с 25,14 до 15,83 % с одновременным увеличением массовой доли цинка в суммарном флотационном концентрате с 6,72 до 13,32 % указывает на то, что в концентрат извлекается больше сфалерита и соответственно меньше пирита.

На рис. 2 приведены зависимости массовой доли цинка в первой фракции пенного продукта и в грубом цинковом флотационном концентрате от массовой доли цинка в питании флотации.

Таблица 4. Сводная таблица показателей обогащения
Table 4. Dressing indicators summary

| Массовая доля цинка | Степень концен-трации | Концентрат | | | Хвосты | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------|----------------|-------------|--------|----------------|-------------|-------|
| | | Выход | Массо-вая доля | Извле-чение | Выход | Массо-вая доля | Извле-чение | |
| <i>Относительно питания флотации</i> | | | | | | | | |
| В питании флотации | 1,520 | 1,00 | 16,92 | 6,72 | 74,86 | 83,08 | 0,46 | 25,14 |
| | 1,800 | 1,18 | 22,34 | 6,28 | 78,00 | 77,66 | 0,51 | 22,00 |
| | 2,310 | 1,52 | 18,22 | 10,20 | 80,53 | 81,78 | 0,55 | 19,47 |
| | 2,720 | 1,79 | 17,18 | 13,32 | 84,17 | 82,82 | 0,52 | 15,83 |
| <i>Относительно исходной руды</i> | | | | | | | | |
| В имитируе-мой исход-ной руде | 1,520 | 1,00 | 16,92 | 6,72 | 74,86 | 83,08 | 0,46 | 25,14 |
| | 1,573 | 1,04 | 18,73 | 6,28 | 74,67 | 81,27 | 0,49 | 25,33 |
| | 1,695 | 1,12 | 12,33 | 10,20 | 74,14 | 87,67 | 0,50 | 25,86 |
| | 1,730 | 1,14 | 9,78 | 13,32 | 75,44 | 90,22 | 0,47 | 24,56 |

С увеличением массовой доли цинка в питании флотации увеличивается массовая доля цинка как в суммарном пенном продукте (общий флотационный концентрат), так и в первой флотационной фракции пенного продукта, причем при массовой доле цинка в питании флотации, равной 2,72 % (где доля несортируемого класса составляет 30 %), первая фракция соответствует кондиционному концентрату и сразу может быть выведена в готовый цинковый концентрат.

В табл. 3 представлены результаты обогащения с учетом хвостов РРС, рассчитанные по схеме рис. 1.

С увеличением выхода сепарируемого класса (сопровождается повышением содержания цинка в исходной руде с 1,52 до 1,73 %) отмечено повышение массовой доли цинка во флотационном цинковом концентрате с 6,27 до 13,32 %, при этом снижается выход концентрата, а потери цинка с суммарными хвостами меняются незначительно 24,5–25,9 %.

Обобщенные данные обогащения представлены в табл. 4. Под степенью концентрации цинка понимается отношение массовой доли цинка исходной руды с применением рентгенорадиометрической сепарации к массовой доле цинка без использования предварительного обогащения.

Степень концентрации цинка в питании флотации с уменьшением доли несортируемого класса значительно увеличивается. Следует отметить существенное повышение технологических показателей, особенно массовой доли цинка в концентрате, при увеличении содержания цинка в питании флотации начиная с 2,3 %.

Степень концентрации относительно исходной руды в искусственно созданных смесях изменяется незначительно, но при этом значительно повышается качество суммарного флотационного концентрата (до 13,32 %), а потери цинка с суммарными хвостами остаются практически на одном уровне.

Выводы. Совместное применение рентгенорадиометрической сепарации и флотационного обогащения забалансовой цинковой руды позволяет существенно повысить технологические показатели (повышение массовой доли цинка в грубом флотационном цинковом концентрате с 6,27 до 13,32 % без увеличения потерь цинка с хвостами обогащения) и пересмотреть подходы к построению технологии обогащения данной руды.

Повышение массовой доли в питании флотации ведет к увеличению массовой доли цинка в первой флотационной фракции, что указывает на перспективы изменения схемы флотационного обогащения с введением РРС, а именно на возможность введения операции флотации цинковой «головки» с получением кондиционного концентрата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыпин Е. Ф. Обогащение в стадиях рудоподготовки: науч. монография. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 303 с.
2. Бочаров В. А., Игнаткина В. А. Технология обогащения полезных ископаемых. Т. 1. М.: Руда и металлы, 2007. 952 с.
3. Härkki K. Overcoming sustainability challenges of future concentrator plants // Proceedings of the XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile: Gecamin, 2014. Chap. 1.
4. Moore P. Processing performance // International Mining. 2018. January. P. 66–73.
5. Максимов И. И. XXVII Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых. Часть 1 // Обогащение руд. 2015. № 3. С. 3–11. DOI: 10.17580/or.2015.03.01
6. Максимов И. И., Баранов В. Ф., Богданович А. В., Кибирев В. И. XXVII Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых. Часть 2 // Обогащение руд. 2015. № 6. С. 50–58. DOI: 10.17580/or.2015.06.10
7. Цыпин Е. Ф. Информация и обогатительные процессы // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 1. С. 86–92.
8. Kolacz J. Sensor based sorting with signal pattern recognition: The new powerful tool in mineral processing // Proceedings of the XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile: Gecamin, 2014. Chap. 16. P. 106–115.
9. Федоров Ю. О., Кацер И. У., Коренев О. В., Короткевич В. А., Цой В. П., Ковалев П. И., Федоров М. Ю., Поповский Н. С. Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации руд // Известия вузов. Горный журнал. 2005. № 5. С. 21–37.
10. Цыпин Е. Ф., Овчинникова Т. Ю., Ефремова Т. А., Пестов В. В. Построение технологических схем предварительного обогащения многокомпонентных руд // Обогащение руд. 2016. № 5. С. 8–13. DOI: 10.17580/or.2016.05.02
11. Пестов В. В. Разработка и использование программно-методического обеспечения рентгенофлуоресцентной сепарации минерального и техногенного сырья // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 8. С. 111–117.
12. Санакулов К. С., Руднев С. В. Комплекс рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождения Кокпатас // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 1 (40). С. 3–7.
13. Санакулов К. С., Руднев С. В., Канцель А. В. О возможности отработки месторождения Учкулач с использованием технологии рентгенорадиометрического обогащения свинцово-цинковых руд // Горный вестник Узбекистана. 2011. № 1 (44). С. 17–20.
14. Повышение эффективности подземной разработки урановых месторождений: научное издание / В. И. Культишев [и др.]. М.: МГИУ, 2007. 212 с.
15. Колесаев В. Б., Литвиненко В. Г., Культишев В. И. Комбинированная технология переработки бедных урановых руд // Горный журнал. 2008. № 8. С. 50–53.
16. Шемякин В. С., Скопов С. В., Маньковский Р. В., Красильников П. А., Мамонов Р. С. Предварительное обогащение кварцевого сырья // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 8. С. 74–79.
17. Зверев В. В., Литвинцев Э. Г., Рябкин В. К., Гусев С. С., Кузнецова О. В., Глушко Т. В., Ратнер В. Б., Рябкина З. П. Радиометрическая сепарация как основной процесс в технологической схеме обогащения минерального сырья // Обогащение руд. 2001. № 5. С. 3–6.

Сведения об авторах:

Цыпин Евгений Федорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: tsipin.e@mail.ru

Попова Елена Владимировна – старший научный сотрудник отдела обогащения лаборатории обогащения руд цветных металлов и техногенного сырья Научно-исследовательского и проектного института «Уралмеханобр». E-mail: popova_EV@umbr.ru

Ефремова Татьяна Александровна – научный сотрудник отдела обогащения лаборатории обогащения руд цветных металлов и техногенного сырья Научно-исследовательского и проектного института «Уралмеханобр». E-mail: efremova_ta@umbr.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-71-79

The influence of X-ray radiometric separation on the technological parameters of extra-balance zinc ore deep dressing

Evgenii F. Tsy-pin¹, Elena V. Popova², Tatiana A. Efremova²

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

² Uralmechanobr, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. At a recent time, ore of complex chemical and mineralogical composition, including extra-balance ore, get involved into ore processing. Low assay is common with extra-balance ore. X-ray radiometric method is one perspective way of improving the quality of raw material.

Research aim is to study the influence of preliminary dressing with the X-ray radiometric method on the technological parameters of extra-balance zinc ore flotation.

Methodology. The research has been carried out with the use of extra-balance zinc ore with the size of $-50+0$ mm. Unsortable grain-size class and one jigging class $+30$ mm have been selected from the initial ore. Jigging class is separated at an X-ray radiometric separator to get the concentrate of X-ray radiometric separation (XRRS) and XRRS tailings. By mixing XRRS concentrate in the given proportion and the contents of the unsortable class 80, 60, 30%, combined products are formed being the products of flotation feed. Flotation of the given products has been carried out to get the rough concentrate and flotation tailings. Technological parameters have been calculated.

Summary. Combined application of X-ray radiometric separation and flotation of extra-balance zinc ore allows significantly improving technological parameters and reconsider approaches to the technology of the given ore dressing.

Key words: preliminary concentration; flotation; X-ray radiometric separation; extra-balance zinc ore; technological parameters; preliminary dressing.

REFERENCES

1. Tsy-pin E. F. *Dressing in the stages of ore preparation: scientific monograph*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2015. (In Russ.)
2. Bocharov V. A., Ignatkina V. A. *Technology of mineral processing. Vol. 1*. Moscow: Ruda i metally Publishing; 2007. (In Russ.)
3. Härkki K. Overcoming sustainability challenges of future concentrator plants. In: *Proceedings of the XXVII International Mineral Processing Congress*. Santiago, Chile: Gecamin, 2014. Chap. 1.
4. Moore P. Processing performance. *International Mining*. 2018. January. P. 66–73.
5. Maksimov I. I. XXVII International Mineral Processing Congress. Part 1. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2015; 3: 3–11. DOI: 10.17580/or.2015.03.01 (In Russ.)
6. Maksimov I. I., Baranov V. F., Bogdanovich A. V., Kibirev V. I. XXVII International Mineral Processing Congress. Part 2. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2015; 6: 50–58. DOI: 10.17580/or.2015.06.10 (In Russ.)
7. Tsy-pin E. F. Information and enrichment process. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2012; 1: 86–92. (In Russ.)
8. Kolacz J. Sensor based sorting with signal pattern recognition: The new powerful tool in mineral processing. In: *Proceedings of the XXVII International Mineral Processing Congress*. Santiago, Chile: Gecamin, 2014. Chap. 16. P. 106–115.
9. Fedorov Iu. O., Katser I. U., Korenev O. V., Korotkevich V. A., Tsoi V. P., Kovalev P. I., Fedorov M. Iu., Popovskii N. S. Experience and practice of X-ray radiometric ore separation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2005; 5: 21–37. (In Russ.)
10. Tsy-pin E. F., Ovchinnikova T. Iu., Efremova T. A., Pestov V. V. Development of flow sheets for pre-concentration of multi-component complex ores. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2016; 5: 8–13. DOI: 10.17580/or.2016.05.02 (In Russ.)
11. Pestov V. V. The development and use of methodical software X-ray florescent separation of mineral and technogenic raw materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2011; 8: 111–117. (In Russ.)

12. Sanakulov K. S., Rudnev S. V. Complex of X-ray radiometric dressing of sulphide ore at Kokpatas deposit. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining News of Uzbekistan*. 2010; 1 (40): 3–7. (In Russ.)
13. Sanakulov K. S., Rudnev S. V., Kantsel A. V. Regarding the possibility of mining Uchquloch deposit with the use of lead-zinc ore X-ray radiometric separation technology. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining News of Uzbekistan*. 2011; 1 (44): 17–20. (In Russ.)
14. Kultyshev V. I. et al. *Improving the effectiveness of uranium deposits underground mining: scientific publication*. Moscow: MSIU Publishing; 2007. (In Russ.)
15. Kolesaev V. B., Litvinenko V. G., Kultyshev V. I. Combined technology for processing of poor uranium ore. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2008; 8: 50–53. (In Russ.)
16. Shemiakin V. S., Skopov S. V., Mankovskii R. V., Krasilnikov P. A., Mamonov R. S. Preliminary concentration of quartz raw material at Kyshtym deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2016; 8: 74–79. (In Russ.)
17. Zverev V. V., Litvintsev E. G., Riabkin V. K., Gusev S. S., Kuznetsova O. V., Glushko T. V., Ratner V. B., Riabkina Z. P. Radiometric separation as the main process in the flow chart of mineral processing. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2001; 5: 3–6. (In Russ.)

Received 20 March, 2019

Information about authors:

Evgenii F. Tsypin – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: tsypin.e@mail.ru

Elena V. Popova – senior researcher, Ore Dressing office, Laboratory of Non-Ferrous Metal Ore and Technogenic Raw Materials Dressing, Uralmechanobr. E-mail: popova_EV@umbr.ru

Tatiana A. Efremova – researcher, Ore Dressing office, Laboratory of Non-Ferrous Metal Ore and Technogenic Raw Materials Dressing, Uralmechanobr. E-mail: efremova_ta@umbr.ru

Для цитирования: Цыпин Е. Ф., Попова Е. В., Ефремова Т. А. Влияние рентгенорадиометрической сепарации на технологические показатели глубокого обогащения забалансовой цинковой руды // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 71–79. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-71-79

For citation: Tsypin E. F., Popova E. V., Efremova T. A. The influence of X-ray radiometric separation on the technological parameters of extra-balance zinc ore deep dressing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 71–79 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-71-79