Изучение возможностей повышения эффективности центробежной сепарации

Морозов Ю. П.^{1*}, Пеньков П. М.¹

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: gmf.opi@ursmu.ru

Реферат

Предмет и цель работы. Одним из направлений повышения извлечения ценных компонентов в центробежной сепарации является ее использование в схеме циркуляционной концентрации. За счет многократного прохождения потока пульпы через центробежный сепаратор обеспечиваются более высокие показатели извлечения ценного компонента в тяжелую фракцию. Целью данной работы является изучение возможностей повышения эффективности центробежной сепарации на основе циркуляции легкой фракции.

Методология. Для решения поставленной задачи были проведены лабораторные испытания. Центробежную сепарацию осуществляли в лабораторном турбулизационном центробежном сепараторе К-200ВЛ при частоте вращения конуса 1000 об/мин. Гидроциклонирование осуществляли в гидроциклоне ГЦ-75, диаметр песковой насадки которого составлял 1,7 см. Полученные концентрат и хвосты подвергнуты пробирному анализу на золото. По результатам пробирного анализа выполнен расчет извлечения золота в тяжелую и легкую фракции.

Выводы. Полученный результат свидетельствует о высокой эффективности предлагаемого технического решения. Предложенное техническое решение обеспечивает повышение эффективности процесса за счет увеличения извлечения частиц повышенной плотности в концентрат при увеличении его качества и снижении удельного расхода воды на процесс.

Ключевые слова: центробежная сепарация; замкнутый цикл; циркуляция; искусственная смесь.

Введение. Гравитационные методы обогащения широко применяются в качестве основных методов извлечения благородных металлов, а также в качестве дополнения к флотации, цианированию или амальгамации. Для извлечения золота находят применение гравитационные методы, основанные на разделении во взвешенных, пульсирующих, прямолинейных или закрученных и центробежных потоках пульпы: обогащение на шлюзах, винтовых сепараторах и концентрационных столах; обогащение на отсадочных машинах; обогащение в гидроциклонах и центробежных сепараторах [1–7].

В связи с тем что в настоящее время все больше истощаются богатые по благородным металлам россыпные месторождения, особое значение имеет решение проблемы создания новых методов и аппаратов, а также изыскание более полного извлечения мелкодисперсных благородных металлов из руд и техногенного сырья [8].

Широкое распространение гравитационных методов обогащения полезных ископаемых объясняется их преимуществами перед другими методами переработки минерального сырья. Гравитационное разделение используется при переработке руд для разделения минералов на основе различий в плотности. К преимуществам гравитационных методов можно отнести их дешевизну, экологичность, разделение минералов без изменения их свойств, широкий диапазон крупности разделяемых минеральных частиц. Наиболее распространенным и успешным типом гравитационного сепаратора, используемого для мелких частиц, является центробежный концентратор [9].

Процесс центробежной сепарации нашел широкое применение в практике обогащения полезных ископаемых. Положительные результаты применения центробежных сепараторов получены при обогащении золотосодержащих руд россыпных и коренных месторождений, месторождений редкоземельных минералов [9].

Недостатки известных способов центробежной сепарации обусловлены большими потерями частиц повышенной плотности с легкой фракцией, которые связаны с тем, что частицы ценного компонента, находящиеся на поверхности пристеночного слоя, за один цикл не успевают попасть в пазы и вымываются из конуса сепаратора вместе с легкой фракцией. Также повышенное давление турбулизующей воды, необходимое для предотвращения забивания пазов конуса центробежного сепаратора, может вымывать частицы из пазов конуса [10] и ведет к увеличению расхода воды, что в свою очередь сказывается на повышении капитальных и эксплуатационных затрат [11]. Увеличение скорости вращения конуса центробежного сепаратора снижает показатели обогащения [12].

Турбулизационные сепараторы позволяют снизить нижний предел крупности перерабатываемого сырья. При больших значениях центробежной силы они могут быть конкурентоспособными с флотационными машинами.

Одним из направлений повышения извлечения ценных компонентов в центробежной сепарации является использование ее в схеме циркуляционной концентрации. За счет многократного прохождения потока пульпы через центробежный сепаратор обеспечиваются более высокие показатели извлечения ценного компонента в тяжелую фракцию [8].

Методология и результаты исследования. Для повышения эффективности показателей центробежной сепарации разработана технология, совмещающая центробежную сепарацию и циркуляционную концентрацию [13]. Она включает: последовательную подачу порций исходного материала в виде пульпы, центробежную сепарацию порций с турбулизацией пристеночного слоя внутри конуса, выделение легкой фракции в хвосты, разгрузку тяжелой фракции в концентрат. Исходный материал подвергается гидроциклонированию с получением слива и песков, пески подвергают центробежной сепарации с турбулизацией пристеночного слоя сливом гидроциклонирования, центробежную сепарацию осуществляют с циркуляцией легкой фракции в течение заданного времени переработки порции исходного питания с последующим удалением ее в хвосты. Единовременную разгрузку тяжелой фракции в концентрат осуществляют с помощью смывной воды после переработки заданного количества порций.

Схема проведения опытов по центробежной сепарации при переработке четырех порций исходного питания представлена на рис. 1.

Эксперименты выполнены следующим образом. Порция 1 исходного питания подвергается гидроциклонированию с получением песков и слива. Пески направляются на центробежную сепарацию, а слив – на турбулизацию пристеночного слоя в конусе центробежного сепаратора. В процессе центробежной сепарации порции 1 образуются тяжелая и легкая фракции. Легкая фракция в течение заданного времени возвращается в центробежную сепарацию для улавливания частиц повышенной плотности, после чего она удаляется в хвосты. Далее порция 2 исходного питания подвергается гидроциклонированию и центробежной сепарации песков с турбулизацией пристеночного слоя сливом операции гидроциклонирования. Центробежная сепарация порции 2 и последующих порций осуществляется аналогично центробежной сепарации порции 1. При этом частицы повышенной плотности всех порций накапливаются в тяжелой фракции центробежной сепарации.

После переработки заданного количества порций осуществляется разгрузка тяжелой фракции из пазов конуса центробежной сепарации с помощью смывной воды.

Схема цепей аппаратов, реализующая центробежную сепарацию предлагаемым способом, представлена на рис. 2.

Рис. 1. Технологическая схема центробежной сепарации при переработке четырех порций исходного питания

Fig. 1. Process scheme of centrifugal separation when processing four portions of feedstock

Исходное питание в виде пульпы в заданном объеме порции 1 подается в зумпф 1, из которого насосом 2 подается в гидроциклон 3 на гидроциклонирование. Пески гидроциклона 3 направляются в патрубок исходного питания 4.1, а слив в турбулизатор 4.2 центробежного сепаратора 4, в котором осуществляется центробежная сепарация с получением тяжелой фракции в пазах конуса и легкой фракции, которая через делитель потоков 5 направляется в зумпф 1 и насосом 2 перекачивается в гидроциклон 3, из которого в виде песков и слива возвращается в центробежный сепаратор 4. По истечении заданного времени циркуляции легкой фракции с помощью переключателя потоков 5 легкая фракция направляется в хвосты. После разгрузки легкой фракции порции 1 в зумпф 1 подается в виде пульпы порция 2, на которой процесс осуществляется аналогично процессу на порции 1.

Процесс продолжается до тех пор, пока не будет переработано заданное количество порций, после чего осуществляется разгрузка накопленной тяжелой фракции с помощью смывной воды.

Предлагаемый способ центробежной сепарации реализован в лабораторных условиях на золотосодержащем продукте крупностью $-0,5$ мм с массовой долей свободного золота 100 г/т. Свободное золото в продукте представлено частицами крупностью -50 мкм.

Центробежную сепарацию осуществляли в лабораторном турбулизационном центробежном сепараторе К-200ВЛ при частоте вращения конуса 1000 об/мин. Гидроциклонирование осуществляли в гидроциклоне ГЦ-75, диаметр песковой насадки которого составлял 1,7 см.

Рис. 2. Схема цепей аппаратов для реализации центробежной сепарации предлагаемым способом:

1 – зумпф; 2 – насос; 3 – гидроциклон; 4 – центробежный сепаратор; 5 – переключатель потоков

Fig. 2. Scheme of a chain of devices for centrifugal separation realization by the proposed method:

1 – sump; 2 – pump; 3 – hydrocyclone; 4 – centrifugal separator; 5 – flow swicther

Эксперименты проводили следующим образом. Порцию золотосодержащего продукта массой 2000 г и воду подавали в зумпф 1 с мешалкой для получения пульпы с массовой долей твердого 20 %.

Далее запустили центробежный сепаратор 4 в работу, затем пульпу из зумпфа 1 подавали насосом 2 в гидроциклон 3, пески которого подавались в патрубок исходного питания 4.1, а слив – в турбулизатор 4.2 центробежного сепаратора 4. При установлении шибера переключателя потоков 5 в положение подачи легкой фракции центробежного сепаратора 4 в зумпф 1 осуществляется циркуляция легкой фракции через насос 2, гидроциклон 3 и центробежный сепаратор 4 в течение

заданного промежутка времени (8 минут), при этом частицы повышенной плотности, которые не успели попасть в пазы конуса центробежного сепаратора за первый проход пульпы, улавливаются в тяжелой фракции в процессе циркуляции.

По истечении 8 минут заданного времени циркуляции шибер переключателя потоков 5 устанавливали в положение на подачу легкой фракции в хвосты. После разгрузки легкой фракции в хвосты процесс осуществляли на следующих порциях. Общее количество переработанных порций – 11.

После переработки заданного количества порций при скорости вращения конуса центробежного сепаратора 50 об/мин осуществляли разгрузку тяжелой фракции с помощью смывной воды и направляли ее в концентрат.

Таблица 1. Результаты разделения золотосодержащего продукта известным и предлагаемым способами центробежной сепарации
Table 1. Result of separating tgold containing product with a well-known and the proposed methods of centrifugal separation

Показатель	Значение показателя	
	известный способ	предлагаемый способ
Массовая доля золота в тяжелой фракции, г/т	480	4050
Извлечение золота в тяжелую фракцию, %	75,8	92,2
Расход дополнительной воды, м ³ /т	3,6	0,1

Полученные концентрат и хвосты подвергнуты пробирному анализу на золото. По результатам пробирного анализа выполнен расчет извлечения золота в тяжелую и легкую фракции.

Для сравнения на данном золотосодержащем промпродукте реализована центробежная сепарация по известному способу при турбулизации пристеночного слоя водой, частоте вращения конуса 1000 об/мин без циркуляции легкой фракции.

Результаты сравнения показателей центробежной сепарации известным и предлагаемым способами приведены в табл. 1.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности предлагаемого технического решения, которое позволяет увеличить извлечение частиц повышенной плотности в тяжелую фракцию и повысить качество тяжелой фракции при снижении удельного расхода воды за счет турбулизации пристеночного слоя сливом гидроциклонирования, циркуляции легкой фракции при переработке порции исходного питания и одновременной разгрузки тяжелой фракции в концентрат после переработки заданного количества порций.

Анализ и обсуждение результатов. Циркуляция легкой фракции в процессе центробежной сепарации каждой порции обеспечивает максимальное улавливание частиц повышенной плотности в тяжелой фракции, а последовательная переработка заданного количества порций обеспечивает за счет накопления частиц повышенной плотности всех порций повышение качества конечной тяжелой фракции. Чем больше переработано порций, тем больше будет накоплено в тяжелой фракции частиц повышенной плотности и тем выше будет массовая доля этих частиц в конечной тяжелой фракции.

Использование для турбулизации пристеночного слоя конуса центробежного сепаратора слива гидроциклонирования исключает использование дополнительной турбулизирующей воды и тем самым повышает экономичность процесса.

Область применения результатов. Рассмотренная технология относится к гравитационному обогащению полезных ископаемых и может быть использована в цветной и черной металлургии и других отраслях промышленности при обогащении руд с минералами различной плотности. Технология обеспечивает повышение эффективности центробежной сепарации.

Выводы. Предложенное технологическое решение обеспечивает повышение эффективности процесса за счет увеличения извлечения частиц повышенной плотности в концентрат при увеличении его качества и снижении удельного расхода воды на процесс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов Ю. П. Теоретическое обоснование и разработка новых методов и аппаратов извлечения мелкодисперсных благородных металлов из руд техногенного сырья: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2001. 397 с.
2. Шохин В. Н., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения. М.: Недра, 1993. 350 с.
3. Лопатин А. Г. Центробежное обогащение руд и песков. М.: Недра, 1987. 222 с.
4. Польшкин С. И. Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов. М.: Недра, 1987. 428 с.
5. Зеленов В. И., Щендригин А. Н. Пути совершенствования технологии переработки золото- и серебросодержащих руд. М.: ВИЭМС, 1986. 40 с.
6. Кизевальтер Б. В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. М.: Недра, 1979. 295 с.
7. Багазеев В. К. Разработка россыпных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 1994. № 6. С. 122–136.
8. Хамидулин И. Х. Технологии извлечения золота с использованием циркуляционной концентрации: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017. 125 с.
9. Adam Jordens; Richard S. Sheridan; Neil A. Rowson; Kristian E. Waters processing a rare earth mineral deposit using gravity and magnetic separation // Minerals Engineering. 2014. Vol. 62. P. 9–18.
10. Пеньков П. М., Хамидулин И. Х. Исследования работы центробежного сепаратора при циркуляции легкой фракции // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: матер. XXII Междунар. науч.-техн. конф. 19–20 апреля 2017 г. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2017. С. 148–150.
11. Ozan Kökkılıç, Ray Langlois, Kristian E. Waters. A design of experiments investigation into dry separation using a Knelson Concentrator // Minerals Engineering. 2015. Vol. 72. P. 73–86.
12. Givemore Sakuhuni; Bern Klein; N. Emre Altun. A hybrid evolutionary performance improvement procedure for optimisation of continuous variable discharge concentrators // Separation and Purification Technology. 2015. Vol. 145. P. 130–138.
13. Способ центробежной сепарации: пат. 2690590 Рос. Федерация. № 2018129278/03; заявл. 09.08.2018; опубл. 04.06.2019. Бюл. № 16. 9 с.

Поступила в редакцию 22 января 2020 года

Сведения об авторах:

Морозов Юрий Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: gmf.opi@ursmu.ru
Пеньков Павел Михайлович – аспирант кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: paha_opi@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-80-86

Studying the possibilities of improving centrifugal separation efficiency

Iurii P. Morozov¹, Pavel M. Penkov¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Object and aim of research. One direction in improving valuable components extraction in centrifugal separation is to apply it in the scheme of circular concentration. By means of multiple passing of a pulp flow through the centrifugal separator, higher indicators of valuable component extraction in heavy residue are ensured. The aim of this research is to study the possibility of improving the efficiency of centrifugal separation based on float circulation.

Methodology. Laboratory testing has been carried out to cope with the given task. Centrifugal separation has been fulfilled in a laboratory vortex formation centrifugal separator K-200VL under the cone rotation

frequency of 1000 r/min. Hydrocycloning has been carried out in cyclone separator GTs-75 with the apex diameter of 1.7 cm. The obtained concentrate and tailings were subject to gold assay test. According to the results of the assay test, the calculation of gold extraction in heavy residue and float has been fulfilled.

Summary. The obtained result testifies to high efficiency of the proposed technical solution. The proposed technical solution ensures improved efficiency of the process by means of increasing the extraction of particles of increased density in the concentrate when increasing its quality and reducing specific water consumption for the process.

Key words: centrifugal separation; closed cycle, circulation; artificial mixture.

REFERENCES

1. Morozov Iu. P. *Theoretical substantiation and development of new methods and devices for finely dispersed precious metals extraction from the ore of technogenic raw material*. DSc in Engineering diss. Ekaterinburg; 2001. (In Russ.)
2. Shokhin V. N., Lopatin A. G. *Gravitational methods of dressing*. Moscow: Nedra Publishing; 1993. (In Russ.)
3. Lopatin A. G. *Centrifugal dressing of ore and sand*. Moscow: Nedra Publishing; 1987. (In Russ.)
4. Polkin S. I. *Ore and placers of rare and precious metals dressing*. Moscow: Nedra Publishing 1987. (In Russ.)
5. Zelenov V. I., Shchendrigin A. N. *Ways of improving the technology of gold and silver containing ore processing*. Moscow: VIEMS Publishing; 1986. (In Russ.)
6. Kizevalter B. V. *Theoretical fundamentals of gravitational processes of dressing*. Moscow: Nedra Publishing; 1979. (In Russ.)
7. Bagazeev V. K. Placer deposits development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 1994; 6: 122–136. (In Russ.)
8. Khamidulin I. Kh. *Technologies of gold extraction with the use of circular concentration*. PhD in Engineering diss. Ekaterinburg; 2017. (In Russ.)
9. Adam Jordens; Richard S. Sheridan; Neil A. Rowson; Kristian E. Waters processing a rare earth mineral deposit using gravity and magnetic separation. *Minerals Engineering*. 2014; 62: 9–18.
10. Penkov P. M., Khamidulin I. Kh. Studying the work of centrifugal separator at float circulation. In: *Scientific fundamentals and practice of ore and technogenic raw material processing: proceedings of 22nd Internat. Research and practice conf. 19–20 April 2017*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publishing; 2017. p. 148–150. (In Russ.)
11. Ozan Kökkılıç, Ray Langlois, Kristian E. Waters. A design of experiments investigation into dry separation using a Knelson Concentrator. *Minerals Engineering*. 2015; 72: 73–86.
12. Givemore Sakuhuni; Bern Klein; N. Emre Altun. A hybrid evolutionary performance improvement procedure for optimization of continuous variable discharge concentrators. *Separation and Purification Technology*. 2015; 145: 130–138.
13. Morozov Iu. P., Kozin V. Z., Penkov P. M., Bekchurina E. A., Khamidulin I. Kh. *A method of centrifugal separation*. Patent RF no. 2018129278/03; 2019. (In Russ.)

Received 22 January 2020

Information about authors:

Iurii P. Morozov – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: gmf.opi@ursmu.ru

Pavel M. Penkov – PhD student, Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: paha_opi@mail.ru

Для цитирования: Морозов Ю. П., Пеньков П. М. Изучение возможностей повышения эффективности центробежной сепарации // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 80–86. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-80-86

For citation: Morozov Iu. P., Penkov P. M. Studying the possibilities of improving centrifugal separation efficiency. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 3: 80–86 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-80-86