

Совершенствование разомкнутой схемы флотации на основе дробной подачи собирателя по фронту флотации

Морозов Ю. П.^{1*}, Валиева О. С.², Евграфова Е. Л.³

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

² Политехнический институт (филиал)

Северо-Восточного Федерального университета, г. Мирный, Россия

³ Производственная компания «Таилс КО», г. Екатеринбург, Россия

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

Реферат

Предмет и цель работы. Разработка и оптимизация схем флотации является важным направлением совершенствования технологии флотации. Перспектива совершенствования схемных решений флотации связана с использованием разомкнутых схем, в которых наиболее полно реализуются условия приближения к идеальному флотационному каскаду. Целью данной работы является изучение возможностей повышения эффективности разомкнутых схем флотации на основе рационального объединения и флотации в отдельных ступенях продуктов при дробной подаче собирателя по фронту флотации.

Методология. Для получения закономерностей формирования разнокачественных продуктов при дробной подаче собирателя выполнено покамерное опробование разомкнутых схем на двух обогатительных фабриках при переработке медных руд. В лабораторных условиях исследована кинетика флотации медной руды при дробной подаче собирателя в процесс. Покамерным опробованием разомкнутых схем и исследованием кинетики флотации медной руды при дробной подаче собирателя в процесс установлено ступенчатое формирование пенного продукта по фронту флотации. Полученные закономерности могут быть использованы при формировании разомкнутых схем флотации при снижении смешивания разнокачественных продуктов, что приводит к существенному повышению показателей флотации.

Выводы. Выявленные закономерности раскрывают дополнительные возможности совершенствования флотационного обогащения сульфидных руд на основе использования разомкнутых схем флотации с дробной подачей собирателя по фронту флотации.

Ключевые слова: разомкнутые схемы флотации; дробная подача собирателя; формирование потоков; технологическая схема; компоновочное решение.

Введение. При флотации чаще всего используются замкнутые канонические схемы, в которых промпродукты направляются в предыдущие операции флотации. Объем циркулирующих продуктов для развитых схем флотации составляет значительную величину, которая в отдельных случаях на порядок превышает объемный расход исходного питания схемы. Циркулирующие потоки приводят к увеличению машиноемкости схемы, увеличивают нахождение отдельных частиц в пульпе, что отрицательно сказывается на показателях флотации.

Разработка и реализация оптимальных схем флотации является важным направлением совершенствования технологии флотации [1, 2]. Теоретическому обоснованию идеальных флотационных каскадов уделено большое внимание в работах [3–5]. Показано, что оптимизация флотационных каскадов должна основываться на учете кинетики флотации минералов в каждой ступени флотационного каскада, на минимальном разубоживании продуктов при смешивании [5]. При этом должен быть реализован оптимальный реагентный режим.

Сформулированные условия приближения к идеальному флотационному каскаду наиболее полно реализуются в разомкнутых схемах флотации. Логика построения разомкнутых схем заключается в исключении циркуляций потоков, объединении и флотации в отдельной ступени продуктов по значениям массовой доли и флотуемости компонентов в них. Реализация в лабораторных условиях разомкнутой схемы, составленной на приведенных принципах, показала возможность значительного снижения машиноемкости схемы при существенном повышении технологических показателей обогащения [6].

Большое значение в технологии флотации имеет реагентный режим, включающий ассортимент реагентов, их расход и точки подачи в процесс [7–12].

При использовании разомкнутых схем флотации повышение показателей обогащения возможно путем дробной подачи собирателя по фронту флотации [13, 14], при которой реализуется «голодный режим» флотации. При таком режиме собиратель в первую очередь закрепляется на более гидрофобных богатых частицах флотуемого минерала, обеспечивая высокое качество пенного продукта в начальных камерах флотации. Подача следующей порции собирателя после окончания флотации богатых легкофлотуемых частиц флотуемого минерала приводит к флотации среднефлотуемых частиц и далее – труднофлотуемых частиц.

Реализация такого реагентного режима флотации в разомкнутых схемах должна обеспечить повышение показателей обогащения.

Методология и результаты исследования. Закономерности формирования качества пенных продуктов по фронту флотации исследованы в промышленных условиях на Сибайской и Балхашской обогатительных фабриках путем покамерного опробования разомкнутых схем основной и контрольной флотаций.

Таблица 1. Группировка разнокачественных продуктов по фронту разомкнутой схемы флотации на Сибайской обогатительной фабрике
Table 1. Grouping the products of different quality in the front of open flotation scheme at Sibai Concentrator

Камеры	Показатели флотации, %	
	Массовая доля меди	Извлечение меди
1–13	17,42	51,11
14–20	9,72	21,15
21–35	2,00	9,99

На Сибайской обогатительной фабрике для реализации открытого цикла флотации промпродукты испытываемой секции направляли в голову процесса на другую секцию. На испытываемой секции, работающей в открытом цикле, выполнено покамерное опробование 35 камер основной и контрольной флотаций при производительности секции по твердому питанию 50 т/ч.

Дробную подачу ксантогената осуществляли: в первую камеру – 50 г/т, в седьмую – 30 г/т, в двадцать первую – 20 г/т. Установлено, что дробная подача собирателя в разомкнутой схеме приводит к ступенчатому изменению качества пенных продуктов по фронту флотации. Группировка разнокачественных пенных продуктов по фронту флотации приведена в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что ступенчатое формирование качества пенного продукта по фронту разомкнутой схемы флотации при дробной подаче собирателя позволяет выделить более 50 % меди в кондиционный концентрат с массовой долей меди в нем 17,4 % и 21,2 % меди – в промпродукт с массовой долей меди в нем 9,7 %.

При покамерном опробовании замкнутой схемы флотации на Сибайской обогатительной фабрике ступенчатость качества пенных продуктов не наблюдалась.

Аналогично покамерное опробование основной медной флотации выполнено на Балхашской обогатительной фабрике при переработке руды месторождения Шатыркуль. Руда перерабатывается на фабрике по схеме с основной медной флотацией, работающей в открытом цикле с получением на трех секциях пенных продуктов, которые объединяются и направляются на флотацию по стандартной схеме с циркуляциями промпродуктов. Количество камер основной флотации на секции – 12.

В операции основной флотации реализована дробная подача собирателя по фронту флотации: в первую камеру 75 г/т; в седьмую – 9 г/т; в девятую – 23 г/т.

По результатам покамерного опробования основной флотации на первой секции Балхашской обогатительной фабрики сформированы разнокачественные пенные продукты. Баланс продуктов основной флотации при дифференцированном формировании пенных продуктов приведен в табл. 2.

Таблица 2. Баланс продуктов основной флотации на первой секции Балхашской обогатительной фабрики при дифференцированном формировании пенных продуктов

Table 2. Balance of main flotation products at the first section of Balkhash Concentrator under differential formation of froth products

Продукт	Показатели флотации, %	
	Массовая доля меди	Извлечение меди
Концентрат	20,62	59,96
Промпродукт	6,65	25,17
Хвосты	0,17	14,58
Исходное питание	1,62	100,00

Показано, что в первых камерах флотомашины получается кондиционный по меди концентрат с массовой долей меди более 20 % при извлечении меди в него 60 %. Аналогичные результаты получены для основной флотации второй секции.

Кинетика флотации при дробной подаче собирателя исследована в лабораторных условиях при флотации медной руды Еленовского месторождения. Медь в руде представлена главным образом халькопиритом. В небольшом количестве присутствуют халькозин, ковеллин и борнит. Массовая доля меди в руде составляет 2,0–3,2 %.

Руда на фабрике перерабатывается по двухстадиальной схеме с выделением в первой стадии кондиционного медного концентрата и выделением медной «головки» во второй стадии флотации.

Исследования выполнены на пробе руды с массовой долей меди 2,0 %, измельченной до 65 % и 85 % класса –0,071 мм. Расход ксантогената при исследовании кинетики изменяли в диапазоне от 10 до 200 г/т.

Исследования на руде, измельченной до 65 % класса крупности –0,071 мм, показали, что массовая доля меди в пенном продукте с течением времени изменяется от 7,5 % в начале флотации до 2,5–0,5 % в конце флотации и снижается тем быстрее, чем больше расход собирателя. При расходах собирателя 50 г/т и выше по окончании флотации получают отвальные хвосты с массовой долей меди 0,09–0,1 % при потерях меди с хвостами 2,5–4,0 %. При этом выход хвостов находится в пределах 50–77 %. Эксперименты с дробной подачей собирателя по 10 г/т в голову процесса и через каждые 30 с флотации показали, что массовая доля меди в хвостах снижается до 0,08 % при потерях меди с хвостами 1,74 %.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности проведения первой стадии флотации с получением отвальных хвостов и обогащенного пен-

ного продукта, который направляется после измельчения до 85 % класса $-0,071$ мм во вторую стадию флотации.

Исследование кинетики флотации на руде, измельченной до 85 % класса крупности $-0,071$ мм выполнены при дробной подаче собирателя в голову процесса и через каждые 30 с флотации. Съём пенного продукта осуществляли через каждые 30 с флотации. Отмечается наличие ступенчатости формирования массовой доли меди в пенном продукте с течением времени. Так, за первые 30 с формируется пенный продукт с массовой долей меди 7,73 % при извлечении в него меди 81,16 %, за последующие 60 с – пенный продукт с массовой долей меди 2,55 % при извлечении в него меди 13,69 % и в конце флотации за 210 с формируется пенный продукт с массовой долей меди 0,36 % при извлечении в него меди 2,72 %. Хвосты флотации при этом содержат 0,074 % меди.

Таблица 3. Результаты исследования кинетики флотации измельченного концентрата первой стадии при дробной подаче собирателя в процесс флотации
Table 3. Research results of first-stage refined concentrate flotation under fractional feed of collecting agent into flotation process

Продолжительность флотации, с	Выход продукта, %	Массовая доля меди, %	Извлечение меди, %
0–50	9,09	19,50	28,81
51–100	6,51	18,86	19,69
101–150	5,97	16,46	15,80
<i>Итого: концентрат 1</i>	21,57	18,54	64,30
151–200	7,97	10,32	13,23
201–250	6,54	9,91	10,42
251–300	4,41	9,15	6,50
301–350	3,46	5,25	2,92
<i>Итого: концентрат 2</i>	22,29	9,23	33,09
351–600	14,07	0,86	1,94
<i>Итого: концентрат 3</i>	14,07	0,86	1,94
<i>Хвосты</i>	42,07	0,10	0,68
<i>Исходное питание</i>	100,00	6,22	100,00

Далее проведены исследования кинетики флотации на пенном продукте первой стадии флотации, измельченном до крупности 85 % класса $-0,071$ мм при дробной подаче собирателя в процесс. При продолжительности флотации 600 с суммарный расход собирателя во вторую стадию флотации составил 120 г/т. Ксантогенат подавался в процессе дробно: 40 г/т – до начала флотации, 40 г/т – по истечении 200 с, 40 г/т – по истечении 400 с от начала процесса флотации.

Съём пенного продукта в отдельные порции осуществляли через каждые 50 с при флотации в течение 350 с, после чего при флотации «до конца» получали пенный продукт в диапазоне времени флотации с 350 до 600 с. Опыты повторяли три раза.

Результаты экспериментов после математической обработки приведены в табл. 3.

Установлено, что качество пенного продукта в течение процесса флотации при дробной подаче собирателя в процесс формируется ступенчато.

На основе полученных экспериментальных данных выполнен расчет разомкнутой качественно-количественной схемы флотации, которая приведена на рис. 1.

Показано, что разомкнутая схема в заданном режиме флотации при дробной подаче собирателя позволяет получать концентрат с массовой долей меди 17,96 % при извлечении в него меди 91,68 % и отвальные хвосты с массовой долей меди 0,1 % при извлечении в них меди 4,12 %. Кроме того, получается промпродукт с массовой долей меди 1,05 % при извлечении в него меди 4,12 %, который может быть направлен в отдельную переработку или в «голову» процесса во вторую стадию измельчения.

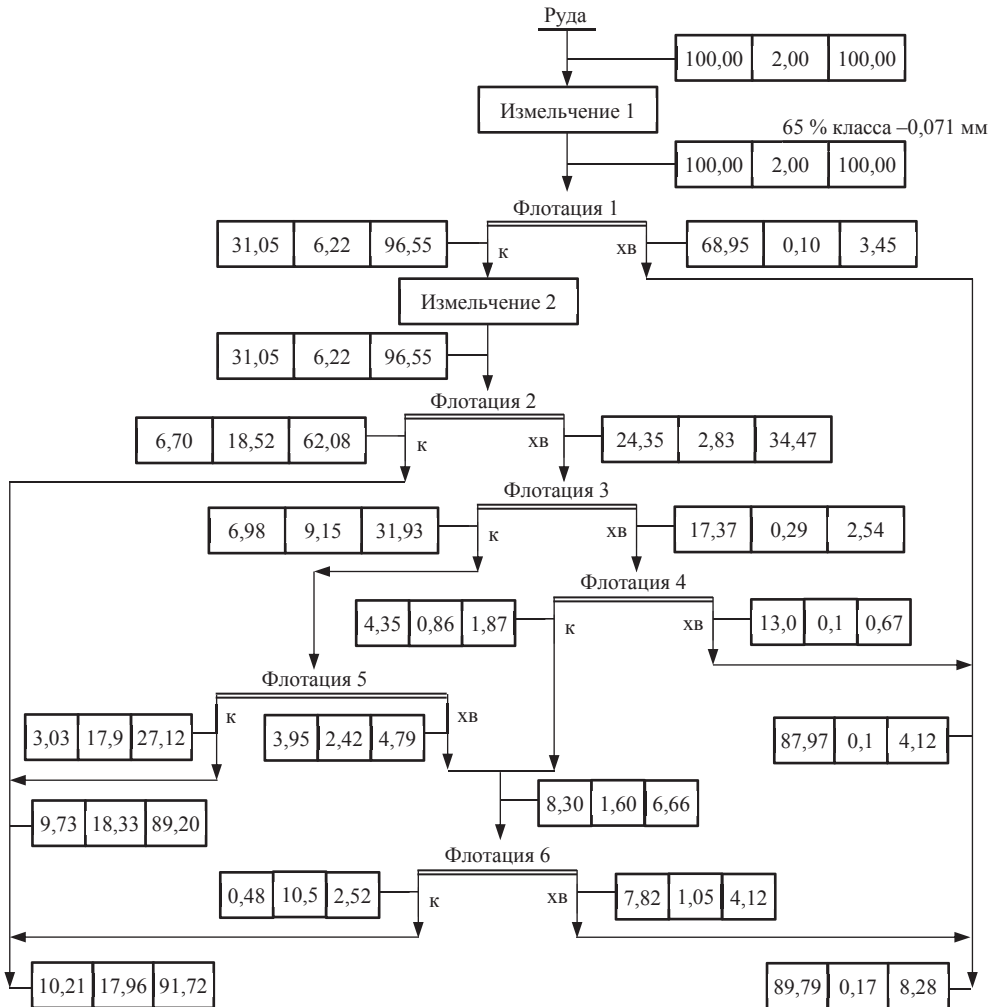


Рис. 1. Качественно-количественная разомкнутая схема флотации медной руды Еленовского месторождения

Fig. 1. Quality-quantity open circuit of copper ore flotation at Elenovsky deposit

Сравнение показателей существующей и рекомендуемой схем флотации выполнено при условии объединения промпродукта с отвальными хвостами в рекомендуемой схеме.

Результаты сравнения приведены в табл. 4.

Анализ результатов табл. 4 показывает, что предлагаемая разомкнутая схема двухстадийной флотации с дробной подачей собирателя в процесс обеспечивает более высокие технологические показатели обогащения руды Еленовского месторождения и может быть рекомендована к внедрению.

Для предлагаемой к реализации разомкнутой схемы переработки руды Еленовского месторождения разработано компоновочное решение отделения флотации в условиях обогатительной фабрики, в которой цикл медной флотации состоит из трех параллельных ниток флотомашин. Первая нитка флотации включает 6 камер флотомашин типа РИФ-30, вторая и третья нитки флотации состоят из 8 камер флотомашин типа ОК-10.

Таблица 4. Показатели флотации руды Еленовского месторождения по существующей и рекомендуемой схемам
Table 4. Ore flotation indicators at Elenovsky deposit according to the existing and the recommended schemes

Показатель	Значение показателя, %	
	по существующей схеме	по рекомендуемой схеме
Выход концентрата	15,24	10,21
Массовая доля меди в концентрате	15,50	17,96
Извлечение меди в концентрат	87,50	91,68
Массовая доля меди в хвостах	0,39	0,17

Для реализации рекомендуемой разомкнутой схемы предлагается оставить первую нитку флотации без изменения. Вторую и третью нитки флотации существующей схемы предлагается демонтировать и установить 8 камер флотомашин типа ФПМ-6,3.

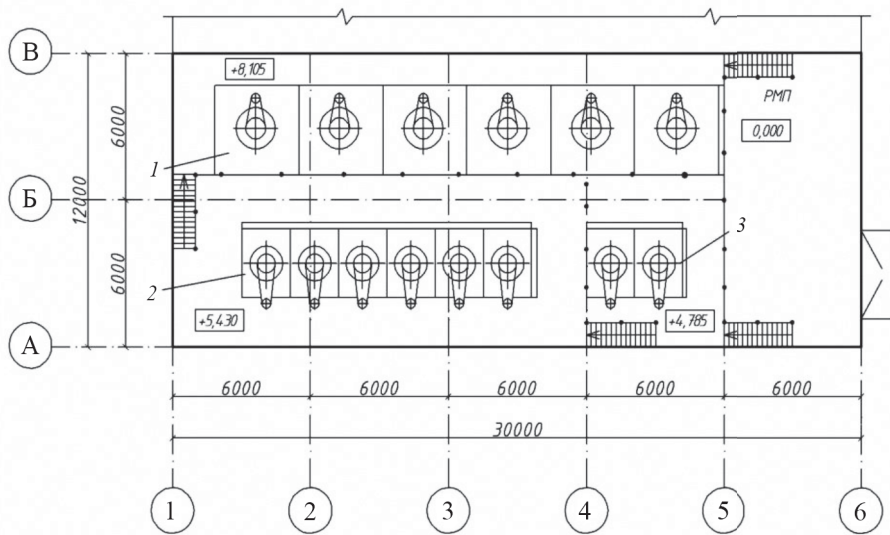


Рис. 2. Компоновочное решение отделения флотации с разомкнутой схемой:
 1 – флотомашин РИФ-30 (6 камер); 2 – флотомашин ФПМ-6,3 (6 камер); 3 – флотомашин ФПМ-6,3 (2 камеры)

Fig. 2. Layout solution for flotation with open circuit:
 1 – flotation machine RIF-30 (6 chambers); 2 – flotation machine FPM-6,3 (6 chambers); 3 – flotation machine FPM-6,3 (2 chambers)

Компоновочное решение отделения флотации, реализующее разомкнутую схему переработки руды, приведено на рис. 2.

Замена 16 камер флотомашин типа ОК-10 на 8 камер флотомашин типа ФПМ-6,3 одновременно со снижением занимаемой площади приведет к снижению амортизационных отчислений, расходов на электроэнергию и расходов на

ремонт. Снижение себестоимости переработки руды на фабрике за счет перехода на разомкнутую схему флотации составит около 10 % от существующей себестоимости.

Анализ и обсуждение результатов. Покамерным опробованием разомкнутых схем на двух обогатительных фабриках установлено, что дробная подача собирателя по фронту медной флотации в открытом цикле обеспечивает ступенчатое формирование качества пенного продукта, которое позволяет объединять продукты для последующих ступеней флотации с минимальным смешиванием разнокачественных продуктов и получать в «голове» процесса значительное количество кондиционного медного концентрата.

Исследование кинетики флотации медной руды Еленовского месторождения подтвердило наличие ступенчатого формирования качества пенного продукта с течением времени флотации за счет дробной подачи собирателя в процесс и показало возможность эффективного объединения пенных продуктов в разнокачественные потоки с получением в «голове» процесса кондиционного медного концентрата с массовой долей меди 18,54 % при извлечении в него меди 64,3 % по отношению к питанию операции флотации.

На основании экспериментальных данных предложена технологическая схема и разработано компоновочное решение отделения флотации, реализующего предлагаемую схему. Показано, что рекомендуемая схема флотации по сравнению с действующей на фабрике обеспечивает повышение качества медного концентрата с 15,5 % до 17,96 % при повышении извлечения меди в концентрат с 87,5 % до 91,72 %.

Реализация разомкнутой схемы флотации руды Еленовского месторождения за счет замены 16 камер флотомашини типа ОК-10 на 8 камер флотомашини типа ФПМ-6,3 обеспечит снижение занимаемой площади, амортизационных отчислений, расходов на электроэнергию и ремонт. Снижение себестоимости переработки руды на фабрике составит около 10 % от существующей себестоимости.

Область применения результатов. Результаты настоящей работы могут быть применены при совершенствовании технологии флотационного обогащения сульфидных руд путем внедрения разомкнутых схем флотации.

Выводы. Выявленные закономерности формирования разнокачественных пенных продуктов при дробной подаче собирателя по фронту разомкнутых схем флотации раскрывают дополнительные возможности совершенствования технологии флотационного обогащения сульфидных руд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чантурия В. А., Шадрюнова И. В., Горлова О. Е. Инновационные процессы глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов // Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов: матер. междунар. науч.-произв. конф. Алматы: КНИТУ, 2018. С. 7–13.
2. Чантурия В. А., Козлов А. П. Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Плаксинские чтения: матер. междунар. науч. конф. 2017. Красноярск: СФУ, 2017. С. 3–6.
3. Погорельный А. Д. О флотационной характеристике промышленной пульпы // Известия вузов. Цветная металлургия. 1961. № 5. С. 58–68.
4. Погорельный А. Д. Расчет схем флотационного разделения // Известия вузов. Цветная металлургия. 1958. № 2. С. 26–32.
5. Барский Л. А., Козин В. З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. 486 с.
6. Динь-Нгог-Данг. Моделирование и оптимизация процесса флотационного разделения на основе вероятностных представлений: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 1982. 43 с.
7. Hassanzaden A., Cagiziki S., Ozturd Z. A novel statistical insight to selection of the best flotation kinetic model // XXIX Int. min. proc. cong. IMPC. 2018. P. 67.
8. Бочаров В. А., Игнаткина В. А. Рациональные технологии флотации труднообогатимых колчеданных руд цветных металлов // Новые технологии обогащения и комплексной переработки

труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья: матер. междунар. совещ. Плаксинские чтения–2011. Екатеринбург: Форт Диалог–Исеть, 2011. С. 217–221.

9. Riguelme A., Desbiens A., del Villar R., Maldonado M. Identification of a nonlinear dynamic model of the bubble size distribution in a pilot flotation column // *International Journal of Mineral Processing*. 2015. Vol. 145. P. 7–16.

10. Minz F. E., Bolin N.-J., Lamberg P., Bachmann K., Gutzmer J., Wanhainen Ch. Distribution of Sb minerals in the Cu and Zn flotation of Rockliden massive sulphide ore in north-central Sweden // *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 82. P. 125–135.

11. Zhigang H., Shujuan D. Flotation experiment research on a polymetallic sulfide ore of Cu, Pb, and Zn in Shanxi province // *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2014. No. 6(4). P. 121–127.

12. John Chadwick. Float data // *International Mining*. 2018. November. P. 12–22.

13. Морозов Ю. П., Морозов В. В. Оптимизация технологии флотации с разомкнутыми схемами // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья: матер. междунар. совещ. Плаксинские чтения–2011. Екатеринбург: Форт Диалог–Исеть, 2011. С. 217–221.

14. Морозов Ю. П., Евграфова Е. Л., Валиева О. С. Формирование пенных продуктов в разомкнутых схемах флотации // Научная основа и практика переработки руд и техногенного сырья: матер. междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Форт Диалог–Исеть, 2015. С. 147–150.

Поступила в редакцию 6 марта 2019 года

Сведения об авторах:

Морозов Юрий Петрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: gmf.ori@ursmu.ru

Валиева Ольга Сергеевна – старший преподаватель кафедры горного дела Политехнического института (филиал) Северо-Восточного федерального университета. E-mail: olga.valieva.80mail.ru

Евграфова Елена Леонидовна – кандидат технических наук, инженер производственной компании «Тайлс КО». E-mail: tails2002@inbox.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-80-88

Improving the open circuit of flotation based on collecting agent fractional feed in the front of flotation

Iurii P. Morozov¹, Olga S. Valieva², Elena L. Evgrafova³

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

² Mirny Polytechnic Institute (Branch) of North-Eastern Federal University, Mirny, Russia.

³ Tails Co., Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research object and aim. Flotation schemes development and optimization is a significant trend in flotation technology improvement. The prospect of developing flotation schemes is connected with the use of open circuits which realize the conditions approaching the ideal flotation cascade. This research aims to study the possibilities of improving the effectiveness of open flotation circuits based on rational integration and flotation at certain stages of products under fractional feed of a collecting agent in the front of flotation.

Methodology. In order to obtain the regularities of forming the products of different qualities under fractional feed of a collecting agent, chamber assaying of open circuits have been carried out at two processing plants with copper ore processing. In laboratory conditions, copper ore flotation kinetics has been studied under fractional feed of a collecting agent into the process. Chamber assaying of open circuits and copper ore flotation kinetics study under fractional feed of a collecting agent into the process determined step-like formation of froth product in the front of flotation. The obtained regularities can be applied when forming open flotation circuits through reducing the blending of the products of different quality which leads to significant increase in flotation indicators.

Summary. Revealed regularities open up additional possibilities to improve flotation of sulphide ore dressing based on the use of open flotation circuits with fractional feed of a collecting agent in the front of flotation.

Key words: open flotation circuits; fractional feed of a collecting agent; flows formation; flow chart; layout solution.

REFERENCES

1. Chanturiia V. A., Shadrnunova I. V., Gorlova O. E. Innovative processes of deep and integrated processing of technogenic raw material in the conditions of new economic challenges. In: *Effective technologies of non-ferrous, rare, and precious metals production. Proceedings of International Scientific and Production Conference*. Almaty: KNRTU Publishing; 2018: 7–13. (In Russ.)

2. Chanturiia V. A., Kozlov A. P. Modern problems of complex ore and technogenic raw material comprehensive mineral processing. In: *Plaksin Readings: Proceedings of International Scientific Conference*. 2017. Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publishing; 2012: 3–6. (In Russ.)
3. Pogorelyi A. D. On flotation characteristic of industrial pulp. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Universities' Proceedings. Nonferrous Metallurgy*. 1961; 5: 58–68. (In Russ.)
4. Pogorelyi A. D. Calculation of flotation separation schemes. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Universities' Proceedings. Nonferrous Metallurgy*. 1958; 2: 26–32. (In Russ.)
5. Barskii L. A., Kozin V. Z. *System analysis in mineral processing*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
6. Din-Ngog-Dang. *Modeling and optimizing the process of flotation separation based on probabilistic representations*. PhD (Engineering) abstract of dissertation. Moscow. 1982. 43 p.
7. Hassanzaden A., Cagiziki S., Ozturd Z. A novel statistical insight to selection of the best flotation kinetic model. *XXIX Int. min. proc. cong. IMPC*. 2018. p. 67.
8. Bocharov V. A., Ignatkina V. A. Rational technologies of non-ferrous metals complex pyrite ore flotation. In: *New technologies in complex natural and technogenic mineral raw material dressing and comprehensive processing. Proceedings of International Conference "Plaksin Readings – 2011"*. Ekaterinburg: Fort Dialog – Iset Publishing; 2011. p. 217–221. (In Russ.)
9. Riguelme A., Desbiens A., del Villar R., Maldonado M. Identification of a nonlinear dynamic model of the bubble size distribution in a pilot flotation column. *International Journal of Mineral Processing*. 2015; 145: 7–16.
10. Minz F. E., Bolin N.-J., Lamberg P., Bachmann K., Gutzmer J., Wanhainen Ch. Distribution of Sb minerals in the Cu and Zn flotation of Rockliden massive sulphide ore in north-central Sweden. *Minerals Engineering*. 2015; 82: 125–135.
11. Zhigang H., Shujuan D. Flotation experiment research on a polymetallic sulfide ore of Cu, Pb, and Zn in Shanxi province. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2014; 6(4): 121–127.
12. John Chadwick. Float data. *International Mining*. 2018; November: 12–22.
13. Morozov Iu. P., Morozov V. V. Optimizing flotation technology with open circuits.. In: *New technologies in complex natural and technogenic mineral raw material dressing and comprehensive processing. Proceedings of International Conference "Plaksin Readings–2011"*. Ekaterinburg: Fort Dialog–Iset Publishing; 2011. p. 217–221. (In Russ.)
14. Morozov Iu. P., Evgrafova E. L., Valieva O. S. Formation of froth products in open flotation circuits. In: *Scientific foundation and practice of ore and technogenic material processing. Proceedings of International Scientific and Technical Conference*. Ekaterinburg: Fort Dialog–Iset Publishing; 2015. p. 147–150. (In Russ.)

Received 6 March, 2019

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
Olga S. Valieva – senior lecturer of the Mining Department, Mirny Polytechnic Institute (Branch) of North-Eastern Federal University. E-mail: olga.valieva.80mail.ru
Elena L. Evgrafova – PhD (Engineering), engineer, Tails Co. E-mail: tails2002@inbox.ru

Для цитирования: Морозов Ю. П., Валиева О. С., Евграфова Е. Л. Совершенствование разомкнутой схемы флотации на основе дробной подачи собирателя по фронту флотации // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 80–88. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-80-88

For citation: Morozov Iu. P., Valieva O. S., Evgrafova E. L. Improving the open circuit of flotation based on collecting agent fractional feed in the front of flotation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 80–88 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-80-88