ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(11-1):318–327
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.765 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_318

РАЗОМКНУТЫЕ СХЕМЫ ФЛОТАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНЫХ РУД С ОБОГАЩЕНИЕМ ПЕННЫХ ПРОДУКТОВ В СУЖАЮЩИХСЯ ЖЕЛОБАХ

А. В. Колтунов[1], **О. С. Валиева**[2], **Т. И. Интогарова**[2], **И. Х. Хамидулин**[1]

[1] Уральский Государственный Горный Университет, Екатеринбург, Россия;
[2] Политехнического института (филиал) Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Амосова, Мирный, Россия

Аннотация: Рассмотрены возможности реализации разомкнутых циклов флотации на основе раздельного обогащения разнокачественных пенных продуктов. Одним из путей повышения эффективности разомкнутых схем флотации является обогащение пенных продуктов в сужающихся желобах, обеспечивающих эффективное разделение пенного продукта на концентрат и хвосты за счет интенсификации процесса вторичной концентрации минералов в пене. Подробно описана методика, по которой рассчитываются показатели разделения пенных продуктов в сужающихся желобах. Она основана на использовании зависимости массовой доли меди в верхнем продукте от выхода верхнего продукта, что позволяет при заданном качестве верхнего продукта определять его выход. Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний сужающегося желоба, в верхнем продукте которого показана возможность получения кондиционного медного концентрата. Выполнен прогнозный расчет технологических показателей частично разомкнутой схемы флотации с раздельным обогащением разнокачественных пенных продуктов на примере обогащения руды месторождения «Шатыркуль». Установлено, что обогащение пенных продуктов в сужающихся желобах в основной, первой и второй перечистной операциях флотации позволит повысить извлечение меди в концентрат с 82,5 до 89,3% при получении концентрата с массовой долей меди 20%. Раскрыта актуальность применения сужающихся желобов для обогащения пенных продуктов при разработке разомкнутых схем флотации.

Ключевые слова: флотация, вторичная концентрация, сужающиеся желоба, медные руды, технологические показатели, рекомендации.

Для цитирования: *Колтунов А. В., Валиева О. С., Интогарова Т. И., Хамидулин И. Х.* Разомкнутые схемы флотации сульфидных медных руд с обогащением пенных продуктов в сужающихся желобах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 318–327. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_318.

Open-circuit flotation of copper sulfide ore with froth treatment in narrowing chutes

A. V. Koltunov[1], **O. S. Valieva**[2], **T. I. Intogarova**[2], **I. Kh. Khamidulin**[1]

[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;
[2] Mirny Polytechnic Institute, Branch of the Ammosov North-Eastern Federal University, Mirny, Russia

© А. В. Колтунов, О. С. Валиева, Т. И. Интогарова, И. Х. Хамидулин. 2021

Abstract: This paper discusses capabilities of open-circuit flotation with separate treatment of different-quality froth. One of the ways of enhancing efficiency of open-circuit flotation in treatment of froth in converging chutes, which ensures efficient separation of froth into concentrate and tailings owing to stimulation of secondary concentration of mineral in the froth. The calculation procedure of the froth separation performance in converging chutes is described. This procedure uses relation of mass fraction of copper in overflow and the overflow yield, which allows determining the overflow yield at the preset overflow quality. The lab-scale and full-scale testing data of a converging chute are presented, and the producibility of the standard quality copper concentrate in the overflow is demonstrated. The forward calculation of open-circuit flotation performance with separate treatment of different-quality froth is presented as a case-study of Shatyrkul ore. It is found that treatment of froth in the converging chutes in bulk, and in the first and second recleaner flotation stages enables increasing recovery of copper in concentrate from 82.5 to 89.3% with production of the concentrate with copper mass fraction of 20%. The relevance of the converging chutes in froth treatment in open-circuit flotation is disclosed.

Key words: Flotation, secondary concentration, converging chutes, copper ore, performance, recommendations.

For citation: Koltunov A. V., Valieva O. S., Intogarova T. I., Khamidulin I. Kh. Open-circuit flotation of copper sulfide ore with froth treatment in narrowing chutes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11-1):318–327. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_318.

Введение

Современные темпы развития производства требуют постоянного повышения технологических показателей обогащения руд. Однако характеристики исходного сырья неизменно ухудшаются, и на сегодняшний день в переработку вовлекаются труднообогатимые и бедные руды. Данная проблема особенно характерна для флотации сульфидных руд, схемы обогащения которых отличаются значительной сложностью. Схемы флотации являются многостадиальными с большим количеством перечистных операций и значительным объёмом циркулирующих продуктов, что в результате приводит к снижению технологических и экономических показателей переработки руд [1, 2].

Разработка и реализация оптимальных схем флотации является одним из важных направлений совершенствования технологии флотации [3, 4], которое может быть реализовано путем оптимизации структуры технологических схем флотации [5] и использования методов интенсификации процессов вторичной концентрации минералов в пене.

Теоретическому обоснованию идеальных флотационных каскадов уделено большое внимание в работе [6]. Показано, что оптимизация флотационных каскадов по производительности и машиноемкости должна основываться на учете кинетики флотации минералов в каждой ступени флотационного каскада и на минимальном разубоживании продуктов при смешивании. Чем меньше суммарный поток, тем более высоких технологических показателей можно достигнуть.

Вопросы моделирования и оптимизации флотационных каскадов рассмотрены в работах [7, 8]. Логика построения схемы в данном случае заключается во введении операций контрольных флотаций хвостов, перечистных операций и операций промпродуктовых флотаций концентратов контрольных флотаций. При достижении заданного качества пенные про-

дукты перечистных операций направляются в кондиционный концентрат, а камерные продукты контрольных операций при достижении отвального значения массовой доли ценного компонента направляются в хвосты.

Возможности использования разомкнутых схем флотации рассмотрены в работах [9—11]. Показано, что разомкнутая схема образовывается следующим образом. Сначала формируется первая линия флотации, обеспечивающая получение в камерном продукте отвальных хвостов. Затем по фронту флотации пенные продукты группируются в разнокачественные потоки. В начале первой линии флотации выделяется пенный продукт кондиционного качества. Далее по фронту флотации формируется несколько потоков пенных продуктов, которые подвергаются перечистным операциям флотации. Варианты разомкнутых схем могут отличаться друг от друга количеством разнокачественных потоков и точками объединения продуктов разделения для последующей флотации.

Среди методов интенсификации процесса вторичной концентрации минералов в пене известны методы орошения поверхности пены промывной жидкостью и двухфазной пеной [12, 13], водой [14, 15] и паром [16]. Наиболее перспективным методом интенсификации процесса вторичной концентрации является обогащение пенных продуктов флотации в сужающихся желобах [17, 18], которые позволяют эффективно разделять пенный слой на верхний и нижний продукты за счёт увеличения его высоты.

Настоящая работа направлена на совершенствование схем флотации сульфидных медных руд на основе использования разомкнутых циклов флотации с операциями обогащения пенных продуктов в сужающихся желобах.

Методология и результаты исследования

Закономерности процесса обогащения пенных продуктов в сужающихся желобах исследованы в лабораторных и промышленных условиях. Лабораторные испытания выполнены на пробах медных руд месторождений «Шатыркуль» и «Сафьяновское».

Опыты на пробе руды месторождения «Шатыркуль» с массовой долей меди 2,6% проводили в лабораторной механической флотомашине с объёмом камеры 1,6 л, на пенном пороге которой установлен сужающийся желоб. Навеску массой 1 кг подвергали измельчению до 90% класса минус 0,05 мм, агитации с ксантогенатом (100 г/т) и со вспенивателем Т-80 (100 г/т) и флотации в течение двух минут с обогащением пенного продукта в сужающемся желобе. В полученных пенных продуктах сужающегося желоба в каждом опыте определяли выход, массовую долю меди и извлечение меди по отношению к исходному пенному продукту.

При обогащении пенного продукта флотации медной руды месторождения «Шатыркуль» при выходе верхнего продукта 20% получен кондиционный медный концентрат с массовой долей меди 17,8% при извлечении меди в него 50,2%, при выходе верхнего продукта 10% получен кондиционный медный концентрат с массовой долей меди 20,5% при извлечении меди в него 28,6%

Опыты на пробе руды месторождения «Сафьяновское» с массовой долей меди 2,15% проводили на установке, состоящей из трехлитровой механической флотомашины, к пенному порогу которой установлен сужающийся желоб, разделяющий пенный продукт по высоте на четыре части. В каждом опыте навеску массой 1 кг подвергали измельчению до 80% класса минус

0,071 мм, агитации с ксантогенатом и вспенивателем Т-92 в количестве по 50 г/т и флотации в течение 5 минут с обогащением пенного продукта в сужающемся желобе. В полученных четырех пенных продуктах сужающегося желоба в каждом опыте определяли выход, массовую долю и извлечение меди по отношению к исходному пенному продукту. Всего выполнено 6 параллельных опытов.

При обогащении пенного продукта флотации медной руды месторождения «Сафьяновское» получены при объединении двух верхних продуктов желоба медный концентрат с массовой долей меди 18,6% при извлечении меди в него 35,5%, а при объединении трёх верхних продуктов желоба — медный концентрат с массовой долей меди 16,8% при извлечении в него меди 63,9%.

В целом, лабораторными исследованиями показана возможность получения кондиционных медных концентров в верхних продуктах сужающихся желобов.

Промышленные испытания сужающегося желоба проведены на обогатительной фабрике ОАО «Святогор» на пенных продуктах в операциях: первой перечистной медной и цинковой флотации руды месторождения «Ново-Шемурское», первой перечистной медной флотации руды месторождения «Сафьяновское» и основной медной флотации конвертерных шлаков. Результаты испытаний сужающегося желоба приведены в табл. 1.

В операции цинковой флотации установлена возможность получения кондиционного цинкового концентрата с массовой долей цинка от 44 до 48% при извлечении в него цинка до 67% по отношению к питанию сужающегося

Таблица 1

Результаты промышленных испытаний сужающегося желоба
Full-scale test data of convergent chute

Перерабатываемая руда	Операция флотации	Показатели, %			
		Массовая доля меди	Массовая доля цинка	Извлечение меди	Извлечение цинка
Медно-цинковая руда Ново-Шемурского месторождения	I цинковая перечистка	3,33	47,83	–	36,1
		2,96	48,13	–	40,8
		1,94	44,35	–	66,8
Медная руда Сафьяновского месторождения	I медная перечистка	19,38	–	73,1	–
		19,73	–	66,2	–
		19,06	–	34,5	–
		18,96	–	77,8	–
		18,81	–	66,3	–
		18,80	–	61,2	–
		18,21	–	82,9	–
		18,58	–	46,4	–
Конвертерные шлаки	Основная медная флотация	14,80	–	28,8	–
		15,90	–	41,1	–
Медная руда Шемурского месторождения	I медная перечистка	18,20	–	41,5	–
		19,30	–	60,2	–
		18,60	–	35,8	–

желоба. В операциях медной флотации установлена возможность получения кондиционного медного концентрата с массовой долей меди от 18 до 19,7% при извлечении в него меди до 82% по отношению к питанию сужающегося желоба. В операции основной медной флотации конвертерных шлаков установлена возможность получения концентрата с массовой долей меди 16% при извлечении в него меди 41%.

Высокая эффективность работы сужающегося желоба для обогащения пенных продуктов при переработке сульфидных медных руд свидетельствует о целесообразности проведения крупномасштабных промышленных испытаний и внедрения технологии флотации с обогащением пенных продуктов флотации в сужающихся желобах на флотационных фабриках, перерабатывающих медные руды.

Для прогнозирования показателей флотационного обогащения медных руд с обогащением пенных продуктов в сужающихся желобах разработана методика расчета показателей работы сужающегося желоба [19]. На основе математической обработки накопленных данных по работе сужающихся желобов на пенных продуктах основной и перечистной медных флотаций установлено, что в широком диапазоне массовой доли в исходном питании желобов от 4 до 25% показатели их работы подчиняются общей закономерности распределения меди по высоте пенного слоя на выходе из желобов.

Зависимости средневзвешенной массовой доли меди в верхнем продукте желоба от его выхода $\gamma_в$ (в д. ед.) описываются уравнением

$$\overline{\beta}_в = \alpha \cdot \gamma_в^2 - b \cdot \gamma_в + c, \qquad (1)$$

в котором коэффициенты *a, b, c* зависят от массовой доли меди в исходном пенном продукте α (в д. ед.):

$$\alpha = -0{,}0767 \cdot \alpha + 0{,}0317, \qquad (2)$$

$$b = 0{,}312 \cdot \alpha + 0{,}0421, \qquad (3)$$

$$c = 1{,}3887 \cdot \alpha + 0{,}0103. \qquad (4)$$

Расчет показателей осуществляется следующим образом. Для пенного продукта с массовой долей меди α по уравнениям (2, 3, 4) рассчитываются значения коэффициентов *a, b,* с, которые подставляют в уравнение 1. Для заданной массовой доли меди в верхнем продукте желоба из уравнения 1 определяют выход верхнего продукта и рассчитывают извлечение меди в верхний продукт желоба.

Разработанная методика позволяет рассчитывать показатели работы сужающегося желоба и использовать полученные данные для формирования разомкнутых циклов флотации.

Для медной руды месторождения «Шатыркуль» разработана частично разомкнутая схема флотации с использованием сужающихся желобов в операциях основной, первой и второй перечистной флотаций и выполнен прогнозный расчет технологических показателей обогащения.

Исходные данные для прогнозных расчетов схемы с сужающимися желобами взяты из результатов покамерного опробования основной, первой и второй перечистной флотаций.

Покамерным опробованием основной медной флотации показано, что массовая доля меди в пенном продукте по фронту флотации снижается с 24,2% в первой камере до 0,9% в двенадцатой камере. При переработке руды по существующей схеме разнокачественные пенные продукты всех двенадцати камер основной флотации объединяются и направляются на флотацию по стандартной схеме с циркуляциями промпродуктов, что является существенным недостатком.

Выполнен расчет показателей полностью разомкнутой схемы основной

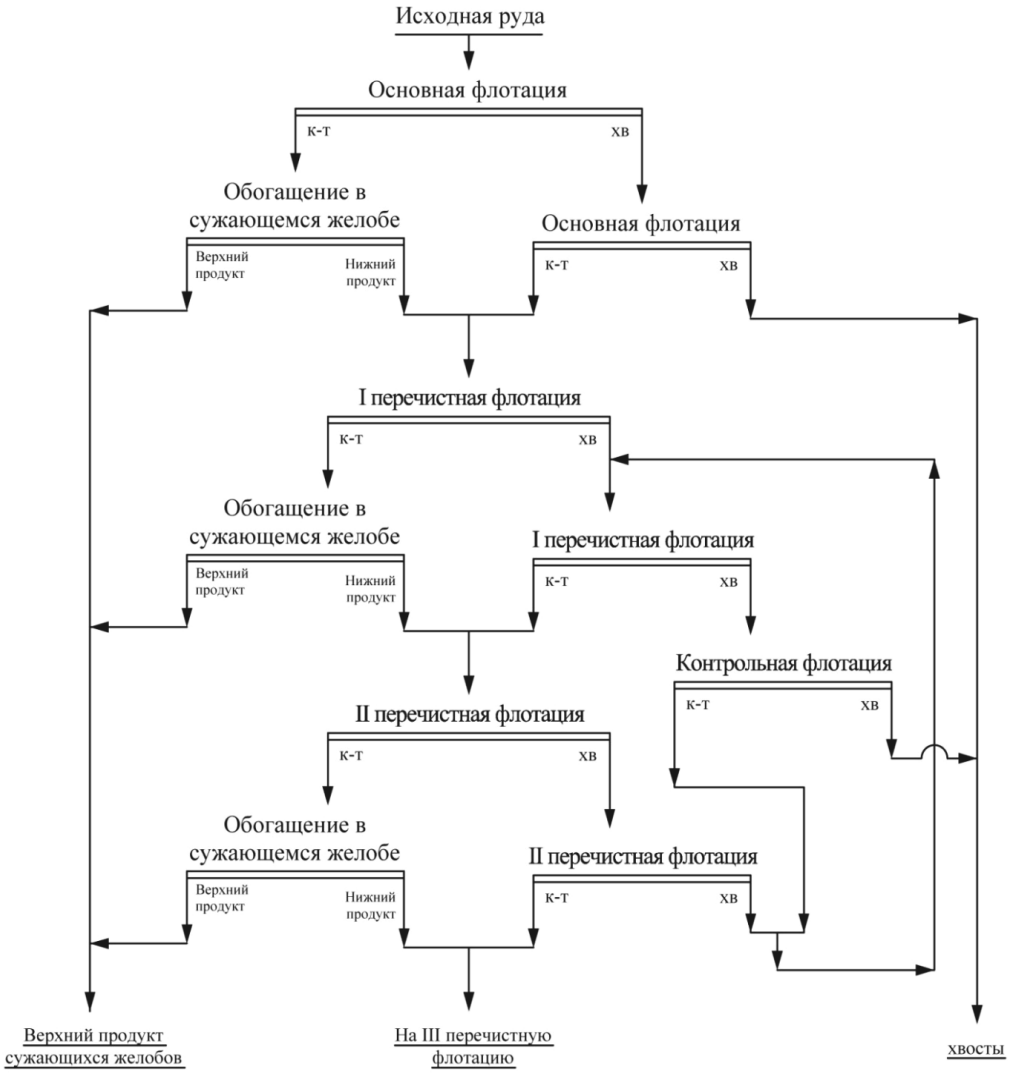

Рис. 1. Схема флотации медной руды месторождения «Шатыркуль» с обогащением пенных продуктов в сужающихся желобах
Fig. 1. Flowchart of Shatyrkul copper ore with froth treatment in converging chutes

флотации с операциями обогащения пенных продуктов в сужающихся желобах на первых четырех камерах. Рассмотрены варианты получения в верхних продуктах сужающихся желобов кондиционного медного концентрата марок КМ 3, КМ 4 и КМ 5.

Использование сужающихся желобов в основной флотации позволит получать концентрат марки КМ 3 при извлечении в него меди 47%, марки КМ 4 — 59%, марки КМ 5 — 73%.

Выполнен расчет частично разомкнутой схемы переработки медной руды месторождения «Шатыркуль» (рис. 1) с операциями обогащения пенных продуктов основной, первой и второй перечистной медной фло-

Таблица 2

Результаты расчетов технологических показателей флотации с сужающимися желобами в операциях основной, первой и второй перечистной флотации
Calculated performance of flotation with converging chutes in bulk, and in the first and second recleaner flotation

Наименование продукта	Выход, %	Массовая доли меди, %	Извлечение, %
Верхний продукт сужающихся желобов основной флотации	5,61	20,85	73,09
Верхний продукт сужающихся желобов I перечистки	0,83	20,68	10,78
Верхний продукт сужающихся желобов II перечистки	0,42	20,55	5,40
Итого	6,86	20,82	89,27

таций в сужающихся желобах, предусматривающей получение в верхнем продукте желобов концентрата марки КМ 5. В основной флотации предусмотрена установка сужающихся желобов на первых четырех камерах, в первой перечистной флотации на шестнадцати первых камерах, во второй — на восьми первых камерах.

Установлено, что применение операций обогащения пенных продуктов в сужающихся желобах в основной, первой и второй перечистной операций флотации (табл. 2) позволит повысить извлечение меди в концентрат с 82,5 до 89,3% при получении такой же марки концентрата КМ 5.

Заключение

Экспериментальными исследованиями на медных рудах месторождений «Шатыркуль» и «Сафьяновское» показана высокая эффективность использования сужающихся желобов для обогащения пенных продуктов флотации. В верхнем продукте желоба получены кондиционные концентраты с массовой долей меди 17,8% и 18,6% при извлечении меди в них 50,2% и 35,5% соответственно.

Промышленными испытаниями доказана высокая эффективность работы сужающегося желоба в операциях основной и перечистной флотации, поэтому целесообразно внедрять разработанную технологию на флотационных обогатительных фабриках, перерабатывающих медные руды.

На основе прогнозного расчета частично разомкнутой схемы флотации медной руды месторождения «Шатыркуль» с обогащением пенных продуктов основной, первой и второй перечистной флотаций в сужающихся желобах, показана возможность получения концентрата с массовой долей меди 20% при повышении извлечения меди в него с 82,5 до 89,3%.

Проведенные исследования свидетельствует о целесообразности внедрения частично и полностью разомкнутых схем флотации с использованием обогащения пенных продуктов в сужающихся желобах на флотационных обогатительных фабриках, перерабатывающих медные руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Самыгин В. Д.* Влияние времени пребывания пульпы в камере флотомашины на константу скорости флотации / *Самыгин В. Д.*, *Филиппов Л. О.*, *Матинин А. С.* /

Материалы Международного совещания «Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья» (Плаксинские чтения 2010). Казань, 13 — 18 сентября 2010 г. — Москва: 2010. — С. 207 — 211.

2. *Тихонов О. Н.* Циркулирующие нагрузки и объемы флотомашин в симметричных схемах флотомашин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 1979, № 5. — С. 152 — 157.

3. *Чантурия В. А.*, *Шадрунова И. В.*, *Горлова О. Е.* Инновационные процессы глубокой и комплексной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов // Материалы международной научно-производственной конференции. Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов. Алматы. Издание Каз. научно-исследовательского технического университета. 2018. — С. 7 — 13.

4. *Hassanzaden A.*, *Cagiziki S.*, *Ozturd Z.* A novel stat istical insight to selection of the best flotation kinetic model // XXIX International mineral processing congress, Moscow, 17 — 21 Sept. 2018. — P. 67.

5. *Asghar Azizi , Mojtaba Masdarian, Ahmad Hassanzadeh, Zahra Bahri, Tomasz Niedoba and Agnieszka Surowiak* Parametric Optimization in Rougher Flotation Performance of a Sulfidized Mixed Copper Ore. July 2020. Minerals. 10(8):1 — 19

6. *Барский Л. А.*, *Козин В. З.* Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. — 486 с.

7. *Динь Нгок Данг.* Моделирование и оптимизация процесса флотационного разделения на основе вероятностных представлений: Автореферат диссертации докт. тех. наук — 1982. — 43 с.

8. *Козин В. З.*, *Морозов Ю. П.* Моделирование и оптимизация флотационных каскадов. В кн. «Системный анализ и обогащение полезных ископаемых» // Тезисы докладов научн.- техн. конф. (4 — 6 июля 1989 г.). — Свердловск: изд-во СГИ, 1989. — С. 18 — 19.

9. *Морозов Ю. П.* Флотометрический анализ и оптимизация схемы флотации руды Сибайского месторождения / Ю. П. Морозов, Е. А. Медведев, Б. И. Коркин, Н. Г. Коркина. В кн. «Системный анализ и обогащение полезных ископаемых» / Тезисы докладов научн. — техн. конф. (4 — 6 июля 1989 г.). — Свердловск: изд-во СГИ, 1989. — С. 21.

10. *Морозов Ю. П.*, *Морозов В. В.* Оптимизация технологии флотации с разомкнутыми схемами // Материалы международного совещания. Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья «Плаксинские чтения — 2011» г. Екатеринбург. Издательство Форт Диалог — Исеть. 2011. С. 217 — 221.

11. *Морозов Ю. П.*, *Козин В. З.* Схемные решения флотации со структурным разделением пенных продуктов // III конгресс обогатителей стран СНГ. Тезисы докладов. — М.: Альтекс. — 2001. — С.216.

12. *Классен В. И.*, Пиккат — *Ордынский Г. А.* Улучшение флотации угля применением орошения пены / Кокс и химия. — № 1. — 1957. — С. 15 — 16.

13. *Шумилова Л. В.*, *Костикова О. С.* Влияние режимных параметров на эффективность работы флотомашины Jameson Cell // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014, № 6. — С. 207 — 212.

14. *Kaya M.*, *Laplante A. R.* Froth washing technology in mechanical flotation machines // 17th International mineral processing congress, Dresden, 23 — 28 Sept. 1991. — S.I, 1991. — Vol. 2. — P. 203 — 214.

15. *Ireland P.* The behavior of wash water injected into a froth [Text] / P. Ireland, R. Cunningham, G. J. Jameson // International Journal of Mineral Processing. Volume 84, Issues 1 — 4. — 2007. — Pp. 99 — 107.

16. А. С. № 1456229 (СССР). Способ флотационного обогащения полезных ископаемых / *Оглоблин Н. Д.*, *Самойлов А. И.*, *Гавриленко Т. А.* — Опубл. 07.02.1989. — Бюлл. № 5.

17. А. С. № 1266742 (СССР). Способ обогащения пенных продуктов / Морозов Ю. П., Колтунов А. В., Есюнина Л. А. // Заявл. 02.07.85. — № 3919638/22 — 03. — Опубл. 30.10.1986. — Бюлл. № 40.

18. *Morozov Y. P.*, *Bekchurina E. A.* The laws of froth products beneficiation in tapered chutes // XXIX International mineral processing congress, Moscow, 17 — 21 Sept. 2018. — P. 35.

19. *Морозов Ю. П.*, *Бекчурина Е. А.*, *Валиева О. С.* Прогноз показателей флотационного обогащения сульфидных медных руд с использованием сужающихся желобов// Материалы международной научно-технической конференции. Научная основа и практика переработки руд и техногенного сырья. г. Екатеринбург. Издательство Форт Диалог — Исеть. 2018. С. 378 — 381. ГИАБ

REFERENCES

1. Samygin V. D., Filippov L. O., Matinin A. S. Influence of pulp residence time in flotation machine chamber on flotation speed constant. Materials of the International meeting “Scientific foundations and modern processes of complex processing of hard-to-rich mineral raw materials” (Plaksinsky readings 2010). Kazan, September 13 — 18, 2010 Moscow: 2010. P. 207 — 211. [In Russ]

2. Tikhonov O. N. Circulating loads and volumes of flotation machines in symmetrical schemes of flotation machines. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*, 1979, no. 5. pp. 152 — 157. [In Russ]

3. Chanturiia V. A., Shadrunova 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]

4. Hassanzaden A., Cagiziki S., Ozturd Z. A novel stat istical insight to selection of the best flotation kinetic model. XXIX International mineral processing congress, Moscow, 17 — 21 Sept. 2018. P. 67.

5. Asghar Azizi , Mojtaba Masdarian, Ahmad Hassanzadeh, Zahra Bahri, Tomasz Niedoba and Agnieszka Surowiak Parametric Optimization in Rougher Flotation Performance of a Sulfidized Mixed Copper Ore. July 2020. Minerals. 10(8):1 — 19.

6. Barsky L. A., Kozin V. Z. *Sistemnyj analiz v obogashchenii poleznyh iskopaemyh* [System analysis in mineral processing]. Moscow: Nedra, 1978. 486 p. [In Russ]

7. Dinh Ngok Dang. Modeling and optimization of the flotation separation process on the basis of probabilistic representations: Autoreconferat dissertation doct. those. Sciences 1982. 43p.

8. Kozin V. Z., Morozov Yu.P. Modeling and optimization of flotation cascades. In the book. “Systemic Analysis and Enrichment of Minerals “Abstracts of Reports Scientific-Technical. conf. (July 4 — 6, 1989). Sverdlovsk: publishing house of SGI, 1989. P. 18 — 19. [In Russ]

9. Morozov Yu. P., Medvedev E. A., Korkin B. I., Korkina N. G. Flotometric analysis and optimization of the ore flotation scheme of the Sibayskoye deposit. In the book. “Systemic analysis and enrichment of minerals “Abstracts of reports of scientists. technician. conf. (July 4 — 6, 1989). Sverdlovsk: publishing house of SGI, 1989. 21 p. [In Russ]

10. Morozov Yu.P., Morozov V. V. Optimization of flotation technology with open schemes. Materials of the international meeting. New technologies for enrichment and complex processing of hard-to-rich natural and man-made mineral raw materials “Plaksinsky Readings 2011” Yekaterinburg. Fort Dialogue Publishing House Iset. 2011. pp. 217 — 221. [In Russ]

11. Morozov Yu.P., Kozin V. Z. Schematic solutions of flotation with structural separation of froth products. III Congress of enrichers of the CIS countries. Abstracts of reports. Moscow: Altex. 2001. 216 p. [In Russ]

12. Klassen V. I., Pikkat-Ordynsky G. A. Improvement of coal flotation using foam irrigation. *Koks i himiya*. no. 1. 1957. pp. 15 — 16. [In Russ]
13. Shumilova L. V., Kostikova O. S. Influence of operating parameters on the efficiency of the Jameson Cell. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 6. pp. 207 — 212. [In Russ]
14. Kaya M., Laplante A. R. Froth washing technology in mechanical flotation machines. 17th International mineral processing congress, Dresden, 23 — 28 Sept. 1991. S.I, 1991. Vol. 2. pp. 203 — 214.
15. Ireland P., Cunningham R., Jameson G. J. The behavior of wash water injected into a froth [Text]. *International Journal of Mineral Processing*. Volume 84, Issues 1 — 4. 2007. pp. 99 — 107.
16. *A. S. NO. 1456229 (USSR)* Method for flotation beneficiation of minerals. Oglobin N. D., Samoilov A. I., Gavrilenko T. A. "Publ. 07.02.1989. Bull. no. 5. [In Russ]
17. *A. S. NO. 1266742 (USSR)*. Method for enrichment of froth products/Morozov Yu.P., Koltunov A. V., Yesyunina L. A. Application. 02.07.85. no. 3919638/22 — 03. "Publ. 30.10.1986. Bull. no. 40. [In Russ]
18. Morozov Yu.P., Bekchurina E. A. *he laws of froth products beneficiation in tapered chutes* [The laws of froth products beneficiation in tapered chutes]. XXIX International mineral processing congress, Moscow, 17 — 21 Sept. 2018. p. 35. [In Russ]
19. Morozov Y. P., Bekchurina E. A., Valieva O. S. Forecast of indicators of flotation concentration of sulfide copper ores using tapered chutes. In: Scientific basis and practice of ore and technogenic raw material processing: proc. of sci-to-pract conf. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publishing; 2018. pp. 378 — 381. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колтунов Александр Васильевич[1] — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых, e-mail: tails2002@inbox.ru;
Валиева Ольга Сергеевна[2] — старший преподаватель кафедры горного дела, e-mail: olga.valieva.80@mail.ru;
Интогарова Татьяна Ивановна[2] — старший преподаватель кафедры горного дела, e-mail: tatyana.intogarova@mail.ru;
Хамидулин Иршат Халилович[1] — канд. техн. наук, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых, e-mail: tails2002@inbox.ru;
[1] Уральский Государственный Горный Университет, Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30;
[2] Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Амосова, Мирный, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Koltunov A. V.[1], Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor at Mineral Processing Department, e-mail: tails2002@inbox.ru;
Valieva O. S.[2], Senior Lecturer at the Department of Mining;
Intogarova T. I.[2], Senior Lecturer at the Department of Mining;
Khamidulin I. Kh.[1], Cand. Sci. (Geol.), Associate Professor at Mineral Processing Department, e-mail: tails2002@inbox.ru;
[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia;
[2] Mirny Polytechnic Institute, Branch of the Ammosov North-Eastern Federal University, Mirny, Russia.

Получена редакцией 25.05.2021; получена после рецензии 24.06.2021; принята к печати 10.10.2021.
Received by the editors 25.05.2021; received after the review 24.06.2021; accepted for printing 10.10.2021.