

Код МРНТИ 52.45.19

*С.Р. Бейсенова, М.Б. Барменшинова
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ФЛОТОМАШИНЫ JAMESON CELL L500

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы и оборудование, применяемые для повышения эффективности процессов обогащения на горно-добывающих предприятиях. Особое внимание уделено внедрению технологий, которые способствуют улучшению производственных показателей, в частности, процесса флотации. Работа посвящена анализу факторов и условий проведения опытно-промышленных испытаний на флотомашине Jameson Cell L500 на металлургическом заводе. Основной задачей тестирования пилотной установки является повышение извлечения золота в концентрат при сохранении качества готового продукта на различных этапах флотационного цикла завода. Также рассматриваются перспективы дальнейших исследований в этой области, которые могут привести к оптимизации процессов и улучшению результатов обогащения.

Ключевые слова: руда, флотация, испытания, концентрат, пульпа, извлечение, золото.

Jameson Cell L500 флотомашинаның тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтарын жүргізу процесінде флотациялық байытудың технологиялық көрсеткіштерін анықтау

Аңдатпа. Мақалада тау-кен кәсіпорындарында байыту процестерінің тиімділігін арттыру үшін қолданылатын заманауи әдістер мен жабдықтар қарастырылады. Өндірістік көрсеткіштерді, атап айтқанда флотация процесін жақсартуға ықпал ететін технологияларды енгізуге ерекше назар аударылады. Тәжірибелер, металлургиялық зауытында, Jameson Cell флотомашинасында тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар жүргізудің факторлары мен шарттарын талдауға арналған. Пилоттық қондырғыны сынаудың негізгі міндеті, зауыттың флотациялық циклінің әртүрлі кезеңдерінде дайын өнімнің сапасын сақтай отырып, концентратта алтынның сапасын арттыру болып табылады.

Түйінді сөздер: кен, флотация, сынақтар, концентрат, пульпа, бағалы затты бөліп алу дәрежесі, алтын.

Determination of technological indicators of flotation enrichment, in the process of pilot tests of flotation machine Jameson Cell L500

Abstract. The article deals with modern methods and equipment used to improve the efficiency of beneficiation processes at mining enterprises. Special attention is paid to the introduction of technologies that contribute to the improvement of production performance, in particular the flotation process. The work is devoted to the analysis of factors and conditions of pilot testing on the Jameson Cell flotation machine at the metallurgical plant. The main task of testing the pilot plant is to increase the extraction of gold into concentrate while maintaining the quality of the finished product at various stages of the flotation cycle of the plant.

Key words: ore, flotation, testing, concentrate, slurry, recovery, gold.

Введение

Золоторудное месторождение, расположенное в 70 км от Семей в Восточно-Казахстанской области, содержит два типа руд: окисленные и первичные, перекрытые рыхлыми кайнозойскими отложениями. Флотационное извлечение золота зависит от содержания металла в руде: при снижении его на 1 г/т эффективность извлечения падает на 1-2% (для руды с содержанием золота 3-8 г/т). Важную роль также играет выход концентрата, который варьирует от 12 до 18%. Общий уровень извлечения золота на металлургическом заводе составляет 79-86%, в зависимости от содержания золота и состава рудных тел [1-3].

В условиях быстрого технологического прогресса горнодобывающая промышленность нуждается в инновационных решениях. Одним из ключевых направлений является внедрение современных методов обогащения золото-содержащих руд, что повышает эффективность добычи и снижает экологический ущерб. Для золотодобывающего рудника проведены опытно-промышленные испытания флотационной установки Jameson Cell L500.

Цель работы – оценка эффективности использования Jameson Cell L500 в различных этапах флотации золото-содержащей руды, включая продукты первой и второй основной флотации, а также первой перерывной флотации.

Флотомашинa Jameson Cell сочетает в себе новый метод взаимодействия между воздухом и пульпой, при котором падающая струя естественным образом вовлекает

воздух, обеспечивая его высокую концентрацию относительно объема пульпы, малый размер пузырьков и тесный контакт между пузырьками и частицами материала. Одно из главных преимуществ флотомашин, по сравнению с аналогами, заключается в том, что для конструирования камер Jameson Cell не требуются коэффициенты масштабирования, так как скорость струи, захват воздуха и гидродинамические условия для смешивания одинаковы для камер и размеров. Технологические показатели, получаемые при работе на пилотной установке, могут без поправочных коэффициентов приниматься за реально ожидаемые на фабрике.

Принятая на фабрике технологическая схема предусматривает первичное двухстадийное измельчение с конечным продуктом крупностью 55% кл. -0,074 мм и плотностью 36%, который направляется на 1 основную флотацию. Основными реагентами, применяемыми в процессе флотации, являются собиратели, депрессоры и пенообразователи, каждый из которых влияет на эффективность и избирательность обогащения. Собиратели придают поверхностям минеральных частиц гидрофобные свойства, депрессоры предотвращают флотацию нежелательных минералов, а пенообразователи обеспечивают устойчивость пены и облегчают выделение полезного компонента [4-5]. Хвосты основной флотации 1 и 2 линии доизмельчаются до крупности 84% кл. -0,074 мм и плотностью 28% и направляются на 2 основную флотацию. На фабрике принята классическая схема коллективной флотации с двумя

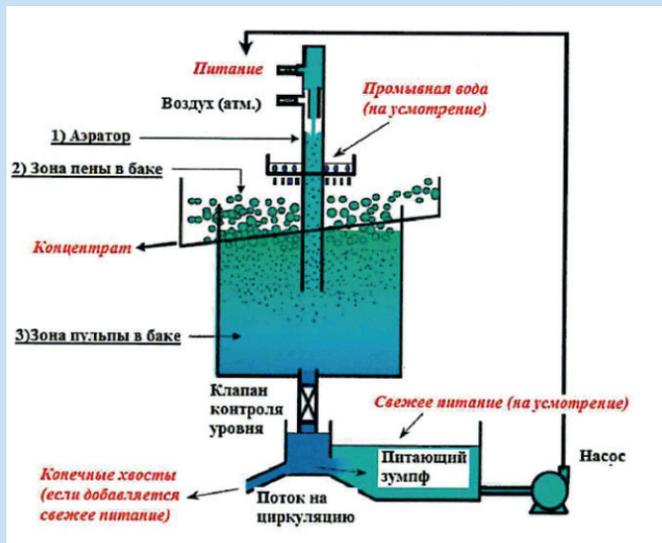


Рис. 1. Принципиальная схема работы пилотной установки Jameson Cell L500.

Сурет 1. Jameson cell L500 пилоттық қондырғысының жұмыс сұлбасы.

Figure 1. Schematic diagram of the Jameson Cell L500 pilot machine.

перечистными операциями. Основные применяемые реагенты в процессе флотации на период промышленных испытаний в качестве собирателя –бутиловый ксантогенат калия концентрацией рабочего раствора 5-7%, вспениватель – метилизобутилкарбинол (МИБК) – 100%, депрессор – полидекстроз, концентрация рабочего раствора – 10% [6-7].

Промышленные испытания пилотной установки проводились в одиннадцатичасовом рабочем режиме с учетом отбора 9 разовых проб, из них формировались 3 накопительные представительные пробы для химического анализа и набора статистических данных.

Подача исходного питания во флотационную машину Jameson Cell [8-10] осуществляется из трубы объединенного слива гидроциклонов на одной из линий флотации (Труд либо Усоль). Расход реагентов устанавливается согласно Технологическому регламенту и может быть скорректирован в процессе испытаний. Целью является снижение циркулирующих нагрузок, повышение качества концентрата, снижение итоговых хвостов.

Time example	Test No.	Washwater			Froth depth (mm)			Air/pulp ratio		
		Off	On-Low/Med	On - High	Shallow (~150mm)	Medium (150mm<L<300mm)	Deep (>300mm)	Low Air (Vac >20)	Medium Air (10-20)	High Air <10
8:00	1	0	0.4 m³/h	0.8 m³/h	60%	70%	80%	-22	-15	-8
8:30	2		x			x		x		
9:00	3	x				x			x	
9:30	4			x		x		x		
10:00	5		x			x				x
10:30	6	x				x				x
11:00	7	x			x					x
11:30	8			x	x					x
12:00	9			x	x				x	
13:00	10	x			x				x	
13:30	11	x			x			x		
14:00	12			x	x			x		
14:30	13		x					x		
15:00	14	x					x	x		
15:30	15	x					x		x	
16:00	16			x			x		x	
16:30	17			x			x			x
17:00	18	x					x			x

Рис. 2. Матрица выполнения исследований.

Сурет 2. Зерттеулерді орындау матрицасы.

Figure 2. Research execution matrix.

Основная поставленная задача тестирования пилотной установки Jameson Cell на металлургическом заводе заключалась в повышении извлечения золота в концентрат с сохранением показателей качества готового концентрата, на сколько это возможно в точках операций флотационного цикла.

Результаты

Результаты опробования на трех точках цикла флотации с распределением содержания указанных металлов, % тв и извлечение приведены в табл. 1.

Рекомендуемый диаметр диафрагмы для точки операции основной флотации – 18 мм.

Диафрагма 16 мм демонстрирует снижение извлечения и качества концентрата. При установке диафрагмы 20 мм наблюдалось снижение давления до 90 кПа при рабочем 145 кПа.

Тесты на точке 2 основной флотации проводились на диафрагме 18 мм на основании результатов опыта 1 основной флотации.



Рис. 3. Влияние выбора размера диафрагмы на технологические показатели извлечения.

Сурет 3. Диафрагма өлшемін таңдаудың технологиялық бөліп алу дәрежесіне әсері.

Figure 3. The influence of the choice of the diaphragm size on the technological parameters of extraction.

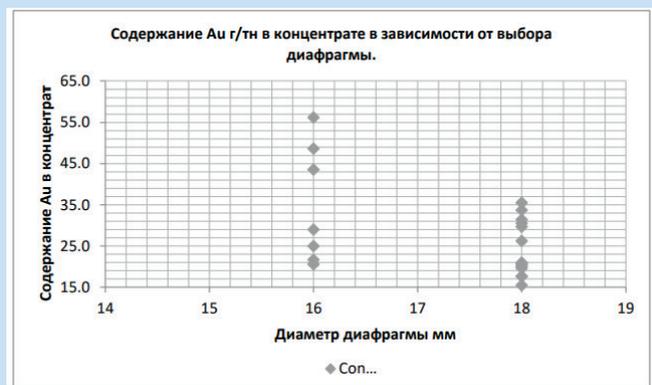


Рис. 4. Влияние выбора размера диафрагмы на технологические показатели содержания.

Сурет 4. Диафрагма өлшемін таңдаудың технологиялық бағалы зат үлесіне әсері.

Figure 4. The influence of the choice of the aperture size on the technological parameters of the content.

Таблица 1

Промежуточные результаты сводных испытаний

Кесте 1

Жиынтық сынақтардың аралық нәтижелері

Table 1

Interim results of summary tests 1

Дата	Наименование пробы	% тв.	Au, г/т	S сульф., %	CO ₃ , %	As, %	Fe, %	Изв-не, %
27.08.2023	Общее питание флотации	33	5,3	1,80	5,17			
	Питание флотации Jameson Cell L500	30	4,5	0,95	5,22	0,32	2,32	
	Концентрат 1 осн. 1 стадии Jameson Cell L500	15	111,9	22,92	1,23	9,39	29,37	
	Хвосты 1 осн. 1 стадии Jameson Cell L500	27	3,6	0,78	5,29	0,27	2,17	33,44
01.09.2023	Общее питание флотации	30	5,5	1,23	5,05			
	Питание флотации 2 осн. Jameson Cell L500	25	5,5	1,58	4,55	0,57	3,11	
	Концентрат 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	23	27,2	8,00	2,03	2,88	12,41	
	Хвосты 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	26	1,9	0,64	4,99	0,21	1,69	69,80
03.09.2023	Общее питание флотации	26	5,3	1,29	4,75			
	Питание флотации Jameson Cell L500	27	4,1	7,91	0,86	0,43	2,91	
	Концентрат 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	28	36,9	12,11	4,13	3,85	17,79	
	Хвосты 2 осн. 2 стадии Jameson Cell L500	25	2,2	1,24	1,57	0,21	1,99	49,82
06.11.2023	Питание 1 переч Jameson Cell L500	33	9,9	5,01	1,60	1,17	8,08	
	Концентрат 1 перерешетки Jameson Cell L500	45	19,6	7,20	1,31	2,10	10,72	
	Хвосты 1 перерешетки Jameson Cell L500	23	8,9	5,07	1,71	1,04	8,32	18,82
07.11.2023	Питание 1 перерешетки Jameson Cell L500	39	10,2	5,16	1,57	1,24	8,14	
	Концентрат 1 перерешетки Jameson Cell L500	47	20,6	8,00	1,14	2,71	13,53	
	Хвосты 1 перерешетки Jameson Cell L500	30	8,6	4,72	1,65	1,08	1,54	26,66

Закключение

Результаты тестов показали возможности работы пилотной установки Jameson Cell для трех точек флотации, протестированных с августа по ноябрь за 90 дней. Испытания прерывались из-за ППР и снижения производительности фабрики до 40 тонн в час. Работа установки была нестабильна, поэтому полученные результаты не представляют максимальные возможности оборудования. Сценарий предусматривает установку ячеек Jameson Cell на операциях первой основной и первой перерешеточной флотации. Извлечение **Au** составляет 90,7% при содержании 42,2 г/т, что дает прирост в 4% по сравнению с текущими показателями фабрики.

Ячейка первой перерешеточной флотации будет работать в режиме скальпирования, что поможет снизить цир-

куляцию золотосодержащих шламов на стадию второй основной флотации и минимизировать потери на этапе контрольной флотации. Минералогический анализ руды показывает, что арсенопиритовые сростки размером 38 мкм концентрируются в классах 5-20 мкм. Традиционные пневмомеханические флотомашины плохо справляются с классом 5-20 мкм, тогда как ячейки Jameson Cell эффективно работают с этими частицами благодаря своим конструктивным особенностям.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP19680182).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технологический регламент металлургического завода АО «ФИК «АЛЕЛ», ТР 01-2016, С. 115 (на русском языке)
2. Федотов К.В., Никольская Н.И. Обогащение полезных ископаемых. Проектирование обогатительных фабрик: Санкт-Петербург: Недра, 2016, С. 236 (на русском языке)
3. Технологический регламент «Производственного цеха инновационной технологии NiTeCC», 2019, С. 99 (на русском языке)
4. Андреев С.Н. Теория и практика флотации руд: М.: Недра, 2018, С. 438 (на русском языке)
5. Львов А.И. Флотация и реагентные режимы: Теория и практика: Санкт-Петербург: ГИОРД, 2017, С. 368 (на русском языке)

6. Сорокин М.М. Флотационные методы обогащения. Химические основы флотации: Учеб. пособие. М.: Изд. Дом МИСиС, 2010, С. 409 (на русском языке)
7. Liu Y. Влияние флотационных реагентов на эффективность флотации в флотомашине Джеймсона. / Liu Y., Xu H. // Инженерия минералов. 2016. Т. 99. С. 99-106 (на английском языке)
8. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: Учебник. – 4-е изд., переработ. и доп. М.: Издательство «Горная книга», 2016, С. 595 (на русском языке)
9. Харрис Р.Д. Совершенствование проектирования и эксплуатации флотомашин Джеймсона для флотации мелких частиц. / Харрис Р.Д., Кросс Р. // Международный журнал процессов обогащения. 2018. Т. 171. С. 36-43 (на английском языке)
10. Хан А. Последние достижения в технологии флотации. / Хан А., Тивари А. // Инженерия минералов. 2016. Т. 92. С. 99-108 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «АЛЕЛ» ФИК» АҚ металлургия зауытының технологиялық регламенті, ТР 01-2016, Б. 115 (орыс тілінде)
2. Федотов К.В., Никольская Н.И. Пайдалы қазбаларды байыту. Байыту фабрикаларын жобалау: Санкт-Петербург: Недра, 2016, Б. 236 (орыс тілінде)
3. «HiTeCC инновациялық технологиясының өндірістік цехы» технологиялық регламенті, 2019, Б. 99 (орыс тілінде)
4. Андреев С.Н. Кендерді флотациялау теориясы мен практикасы: М.: Недра, 2018, Б. 438 (орыс тілінде)
5. Львов А.И. Флотация және реагенттік режимдер: Теория және практика: Санкт-Петербург: ГИОРД, 2017, Б. 368 (орыс тілінде)
6. Сорокин М.М. Байытудың флотациялық әдістері. Флотацияның химиялық негіздері: Оқу. әдістемесі. М.: Басылым Миссис Юйі, 2010, Б. 409 (орыс тілінде)
7. Liu Y. Флотациялық реагенттердің Джеймсон флотациялық машинадағы флотация тиімділігіне әсері. / Liu Y., Xu H. // Минералды инженерия. 2016. Т. 99. Б. 99-106 (ағылшын тілінде)
8. Абрамов А.А. Флотациялық байыту әдістері: Оқулық. – 4-ші басылым, қайта қаралғ. және өңд. М.: Баспа «Тау кітабы», 2016, Б. 595 (орыс тілінде)
9. Харрис Р.Д. Ұсақ бөлшектерді флотациялау үшін джеймсон флотомашиналарын жобалау мен пайдалануды жетілдіру. / Харрис Р.Д., Кросс Р. // Халықаралық байыту процестері журналы. 2018. Т. 171. Б. 36-43 (ағылшын тілінде)
10. Хан А. Флотация технологиясының соңғы жетістіктері. / Хан А., Тварі А. // Минералды инженерия. 2016. Т. 92. Б. 99-108 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Tekhnologicheskii reglament metallurgicheskogo zavoda AO «FIK «ALEL», TR 01-2016, S. 115 [Technological regulations of the metallurgical plant of JSC «FIC «ALEL», TR 01-2016, P. 115] (in Russian)
2. Fedotov K.V., N.I. Nikolskaia. Obogashchenie poleznykh iskopaemykh. Proektirovanie obogatitelnykh fabrik: Sankt-Peterburg: Nedra, 2016, S. 236 [Fedotov K.V., Nikolskaya N.I. Mineral processing. Design of processing plants: Saint Petersburg: Nedra, 2016, P. 236] (in Russian)
3. Tekhnologicheskii reglament «Proizvodstvennogo tsekha innovatsionnoi tekhnologii HiTeCC», 2019, S. 99 [Technological regulations of the «HiTeCC innovative technology production workshop», 2019, P. 99] (in Russian)
4. Andreev S.N. Teoriya i praktika flotacii rud: M.: Nedra, 2018, S. 438 [Andreev S.N. Theory and practice of ore flotation: M.: Nedra, 2018, P. 438] (in Russian)
5. L'vov A.I. Flotaciya i reagentnye rezhimy: Teoriya i praktika: Sankt-Peterburg: GIORД, 2017, S. 368 [Lvov A.I. Flotation and reagent modes: Theory and practice: St. Petersburg: GIORД, 2017, P. 368] (in Russian)
6. Sorokin M.M. Flotatsionnye metody obogashcheniya. Khimicheskie osnovy flotatsii: Ucheb. posobie. M.: Izd. Dom MISiS, 2010, S. 409 [Sorokin M.M. Flotation methods of enrichment. Chemical bases of flotation: Textbook. M.: Ed. House of MISiS, 2010, p. 409] (in Russian)
7. Liu Y. The effect of flotation reagents on the flotation performance of Jameson Cell. / Liu Y., Xu H. // Minerals Engineering. 2016. Vol. 99. P. 99-106 (in English)
8. Abramov A.A. Flotatsionnye metody obogashcheniya: Ucheb. – 4-e izd., pererabot. i dop. M.: Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2016, S. 595 [Abramov A.A. Flotation methods of enrichment: Textbook. – 4th ed., revised. and additional. M.: Publishing House «Mountain book», 2016, P. 595] (in Russian)

9. Harris P.J. *Advancements in the design and operation of Jameson Cells for fine particle flotation.* / Harris P.J., Crouse P. // *International Journal of Mineral Processing.* 2018. Vol. 171. P. 36-43 (in English)
10. Khan A. *Recent Advances in Flotation Technology.* / Khan A., Tiwari A. // *Minerals Engineering.* 2016. Vol. 92. P. 99-108 (in English)

Информация об авторах:

Бейсенова С.Р., магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), saltanat.beisenova97@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-0786-974X>

Барменишинова М.Б., кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), m.barmenshinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бейсенова С.Р., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының магистранты Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

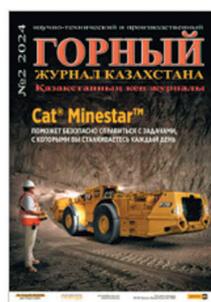
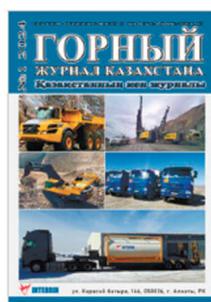
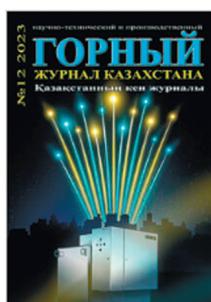
Барменишинова М.Б., техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Satbayev University «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Beisenova S.R., undergraduate student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Barmenshinova M.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2025 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

POST-DTS@YANDEX.KZ / +7 747 343 15 02 / MINMAG.KZ