

УДК 622.765

ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛОННОЙ ФЛОТАЦИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ФЛОТАЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ РУД



Е. И. АФОНИНА¹,
ведущий научный сотрудник,
Elena.Afonina@uralkali.com



С. Н. ТИТКОВ¹,
директор технологической научной
части, канд. техн. наук



С. Н. АЛИФЕРОВА²,
заместитель технического
директора, канд. техн. наук



И. Ю. ТУПИЦИН²,
главный инженер Третьего
Березниковского рудоуправления

¹ Филиал АО «ВНИИ Галургии» в Санкт-Петербурге, Россия

² ПАО «Уралкалий», Березники, Россия

Введение

Наличие в калийных рудах легкошламуемых водонерастворимых силикатно-карбонатных примесей, активно сорбируемых для флотации сильвина катионный собиратель (первичные алкиламины), обуславливает применение в технологических процессах обогащения калийных руд многостадийных схем обесшламливания, включающих основную и перечистную флотации шламов [1]. В настоящее время на флотационных фабриках ПАО «Уралкалий» обогащение руды крупностью менее 1,5–1,6 мм с содержанием 1,4–5 % и более силикатно-карбонатных и сульфатных водонерастворимых примесей (нерастворимый остаток — н.о.) осуществляют путем обесшламливания и флотации сильвина из полидисперсной суспензии в механических флотационных машинах [2–4]. Недостатками применяемой технологии обогащения калийных руд являются:

- многостадийность схем обесшламливания при содержании н.о. в руде более 2,5–3 % с применением большого числа оборудования на значительных производственных площадях для его размещения;
- повышенный расход реагентов для флотации шламов в механических флотомашин из-за значительного гидродинамического воздействия на комплекс флокула шламов — пузырек воздуха;

Проведены исследования по флотации шламов в колонной машине при переработке калийных руд Верхнекамского месторождения солей.

Приведены сравнительные результаты эффективности и селективности флотации во флотомашин механического и колонного типа.

Показана возможность осуществления в колонных машинах флотационного обесшламливания калийных руд с различным содержанием водонерастворимых примесей со значительным улучшением селективности флотации при меньшем расходе реагентов.

Ключевые слова: калийная руда, флотация, водонерастворимые примеси, извлечение, колонная машина, шламы, сильвин.

DOI: 10.17580/gzh.2021.04.11

- необходимость проведения перечистных операций флотации шламов для уменьшения потерь хлористого калия со шламовым продуктом.

В колонных машинах флотацию осуществляют в ламинарно-восходящем потоке тонкодисперсных пузырьков воздуха, эжектируемого в суспензию в нижней части колонны. Процесс характеризуется минимальным гидромеханическим воздействием на комплекс минеральная частица — пузырек воздуха [5–16]. Важной особенностью проведения флотации в колонных машинах является возможность регулирования высоты пенного слоя в широком интервале значений (до 0,5 м и более) и его промывки, позволяющей повысить селективность извлечения в пенный продукт флотированного материала.

Конструкция колонных машин для обогащения калийных руд, относящихся к водорастворимым и флотированным в насыщенных растворах солей, должна обеспечивать отсутствие закристаллизации азрационной системы подачи воздуха в колонную машину. В настоящее время колонные машины применяют для флотации сильвина, причем в основном фирмы Eriez Flotation Division (табл. 1).

Авторами были проведены исследования возможности осуществления в колонных машинах флотационного обесшламливания калийных руд.

Объекты и методы проведения исследований

Объекты исследований — сильвинитовая руда с содержанием нерастворимого остатка 1,5 и 3,5 %, предварительно расклассифицированная по крупности 0,4 мм с направлением на флотацию шламов фракции размером –0,4+0 мм.

Проба 1: фракция руды крупностью –0,4+0 мм, содержание KCl 28,8 %; н.о. 1,97 %.

Проба 2: фракция руды крупностью –0,4+0 мм, содержание KCl 29,7 %; н.о. 4,97 %.

Таблица 1. Применение колонных машин для флотации сильвина на калийных предприятиях

Предприятие	Расположение	Операция применения для флотации сильвина	Диаметр колонны, м	Число
<i>Фирма Eriez Flotation Division</i>				
PCS, Lanigan	Канада	Контрольная флотация	1,5	2
		Основная мелкозернистая флотация	2,7	5
PCS, Rocanville	То же	Контрольная флотация	2,7	1
		Перечистная флотация	3	1
PCS, Cory	– >> –	Основная флотация	3,6	1
		Основная мелкозернистая флотация	3,6	4
		Контрольная флотация	3,6	1
Brunswick's Picadilly potash mine	– >> –	Перечистная флотация	4,3	4
		Основная флотация	4,3	4
		Перечистная флотация	4,3	4
		Контрольная флотация	3,6	1
		Контрольная флотация	3,6	1
Penobsquis, New Brunswick	– >> –	Перечистная флотация	3	1
Intrepid Potash	США	Перечистная флотация	3	1
BHP	Канада	Основная флотация	3,6	8
		Перечистная флотация	4,3	4
<i>Фирма Metso</i>				
Agrium	Канада	Контрольная флотация	4,6	3
		Перечистная флотация	3,6	1
PCS, Alan	То же	Контрольная флотация	2,7	1
		Перечистная флотация	3	1
Muga	Испания	Основная флотация	3,6	1
		Перечистная флотация	4,3	2
		Контрольная флотация	4,5	1

Опыты по флотации шламов проводили в механической флотомашине Денвер и на опытной установке фирмы ERIEZ Flotation Division (рис. 1).

Реагенты: флокулянт – полиакриламид (ПАА); собиратели шламов – оксиэтилированный амин (ОА) [2] и оксиэтилированный фенол (ОФ) [3].



Рис. 1. Установка колонной флотации

Результаты исследований

Наибольшей сорбционной активностью по отношению к алкиламинам, применяемым в качестве катионного собирателя для флотации сильвина, характеризуются находящиеся в диспергированном шламовом виде тонкодисперсные частицы водонерастворимых примесей. При измельчении руды до крупности менее 1,5–1,6 мм диспергированные водонерастворимые примеси, так называемые свободные шламы, преимущественно концентрируются во фракциях руды крупностью менее 0,4 мм. Во фракциях руды крупностью более 0,4 мм водонерастворимые примеси представлены в форме внутренних включений в частицы соляных минералов и в виде поверхностных образований на соляных частицах. Эффективное и селективное удаление диспергированных частиц нерастворимого остатка из мелких фракций руды создает условия для интенсификации процесса обесшламливания руды с уменьшением потерь хлористого калия с отходами производства (шламовым

Таблица 2. Флотация шламов из руды крупностью –0,4+0 мм в механической и колонной флотомашинах

Реагент	Расход, г/т	Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
				КСІ	н.о.	КСІ	н.о.
Проба руды 1							
<i>Механическая флотомашина</i>							
Флокулянт Собиратель ОФ	10 15	Питание флотации	100,00	28,36	1,75	100,00	100,00
		Пенный продукт	9,80	28,97	10,74	10,02	60,36
		Камерный продукт	90,20	28,27	0,77	89,98	39,64
Флокулянт Собиратель ОА	10 15	Питание флотации	100,00	28,49	1,89	100,00	100,00
		Пенный продукт	11,60	29,08	10,80	11,80	66,03
		Камерный продукт	88,40	28,46	0,73	88,20	33,97
<i>Колонная флотомашина</i>							
Флокулянт Собиратель ОФ	5 15	Питание флотации	100,00	29,36	2,19	100,00	100,00
		Пенный продукт	2,23	3,16	68,00	0,21	69,78
		Камерный продукт	97,77	29,96	0,69	99,79	30,22
Флокулянт Собиратель ОА	5 15	Питание флотации	100,00	29,64	2,18	100,00	100,00
		Пенный продукт	2,43	3,86	66,37	0,73	73,64
		Камерный продукт	97,57	30,28	0,59	99,27	26,36
Проба руды 2							
<i>Колонная флотомашина</i>							
Флокулянт Собиратель ОА	10 60	Питание флотации	100,00	29,98	4,82	100,00	100,00
		Пенный продукт	4,68	9,58	64,07	1,49	62,14
		Камерный продукт	95,32	30,99	1,91	98,51	37,86

продуктом) и упрощением аппаратно-технологического оформления процесса.

В связи с этим были проведены исследования по флотационному выделению шламов методом колонной флотации из фракции руды крупностью менее 0,4 мм, полученной из двух проб калийных руд с содержанием нерастворимого остатка 1,5 и 3,5 %. Для сравнения была осуществлена аналогичная флотация шламов во флотомашине механического типа (табл. 2).

Результаты исследований показали, что флотация шламов в колонной машине осуществляется с четким разделением пенного слоя и обесшламленной суспензии с образованием более толстого пенного слоя (на лабораторной установке ~20–25 см, в промышленных условиях – до 0,5 м), что обеспечивает меньший вынос соляных частиц в пенный слой, уменьшение содержания КСІ в пенном продукте флотации шламов и, соответственно, снижение извлечения КСІ в пенный продукт. Это создает условия



Рис. 2. Флотация шламов в колонной машине

для снижения потерь КСІ со шламовым продуктом, направляемым на складирование в шламохранилище или на совместное обезвоживание с галитовыми хвостами сильвиновой флотации. Значительно меньшее извлечение КСІ в пенный шламовый продукт в колонной машине по сравнению с флотацией шламов в механической флотомашине создает условия для упрощения схемы флотационного обесшламливания руды: отсутствует необходимость проводить перечистную флотацию шламов.

Обязательным условием эффективного флотационного выделения шламов из калийных руд в насыщенных растворах солей является предварительная их флокуляции [1]. Отсутствие во флотационной колонне гидромеханического воздействия на флокулы шламов, а также механического ударного воздействия крупных частиц солей на комплекс пузырьков воздуха – флокула шламов повышает эффективность флотации шламов при меньшем расходе флокулянта.

В связи с образованием в колонне достаточно высокого пенного слоя на установке колонной флотации (рис. 2) были проведены исследования по флотации шламов из содержащей ~5 % нерастворимого остатка пробы 2 мелкой фракции руды

Таблица 3. Флотация шламов в колонной флотомашине из фракции руды –0,4+0 мм с промывкой и без промывки пенного слоя

Реагент	Расход, г/т	Промывка пенного слоя	Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
					КСІ	н.о.	КСІ	н.о.
<i>Проба руды 2</i>								
Флокулянт Собиратель ОА	10 60	Нет	Питание флотации	100	29,98	4,82	100	100
			Пенный продукт	4,68	9,58	64,07	1,49	62,14
			Камерный продукт	95,32	30,99	1,91	98,51	37,86
Флокулянт Собиратель ОА	10 60	Да	Питание флотации	100	29,40	5,12	100	100
			Пенный продукт	5,41	1,94	61,47	0,36	64,94
			Камерный продукт	94,59	30,97	1,90	99,64	35,06

с промывкой и без промывки пенного слоя насыщенным раствором хлоридов калия и натрия (см. табл. 2). Время флотации в колонной машине составило 5–10 мин в зависимости от содержания н.о. в питании.

Результаты исследований показали, что промывка пенного слоя значительно уменьшает содержание КСІ в пенном продукте и, соответственно, извлечение КСІ в пенный продукт флотации шламов без уменьшения извлечения в последний нерастворимого остатка (табл. 3). Показана возможность проведения флотационного обесшламливания калийных руд без перечистой флотации пенного продукта основной флотации шламов в колонной машине.

На основании результатов исследований, проведенных в лаборатории флотации и реагентов АО «ВНИИ Галургии», и по данным укрупненных испытаний на установке фирмы Eriez Flotation Division разработана технология обогащения калийных руд с применением колонной флотации. Ведется подготовка к опытно-промышленным испытаниям на одной из флотационных фабрик ПАО «Уралкалий».

Заключение

1. Проведены исследования возможности применения колонной флотации для обесшламливания калийных руд. Показано, что флотационное извлечение водонерастворимых легкошламуемых примесей в колонной машине современной конструкции позволяет:

- осуществить эффективное обесшламливание руды с высокоселективным флотационным выделением в одну стадию нерастворимых примесей из фракции руды крупностью менее 0,4 мм с получением шламового продукта с отвальным содержанием хлористого калия в твердой фазе не более 5 %;
- уменьшить расход флокулянта в 2 раза вследствие проведения флотации шламов в колонной флотомашине без интенсивного гидромеханического воздействия на комплекс флокула шламов – пузырек воздуха.

2. Для подтверждения результатов укрупненных лабораторных испытаний, представленных в статье, ведется подготовка к опытно-промышленным испытаниям колонной машины на одной из флотационных фабрик ПАО «Уралкалий».

Библиографический список

1. Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Скворский Л. Я., Кириченко Л. Н. Технология флотационного обогащения калийных руд. – Пермь – Соликамск – Березники, 2002. – 484 с.
2. Titkov S. N., Panteleva N. N., Gurkova T. M. Use of polymer reagents for processing of potash ores containing clay slimes // *Polymers in Mineral Processing: Proceedings of the Third UBC-McGill Bi-annual International Symposium on Fundamentals of Mineral Processing*. – Quebec, 1999. P. 375–392.
3. Пат. 2278739 РФ. Способ флотационного обогащения руд / С. Н. Титков, Н. Н. Пanteleva, Е. В. Коноплев и др.; заявл. 07.07.2004; опубл. 27.06.2006. Бюл. № 18.
4. Пат. 2237521 РФ. Способ флотационного обогащения калийных руд / В. М. Бусыгин, Р. Х. Сабиров, В. А. Новоселов и др.; заявл. 23.05.2003; опубл. 10.10.2004.
5. Vazirizadeh A., Bouchard J., Del Villar R. On the relationship between hydrodynamic characteristics and the kinetics of column flotation. Part I: Modeling the gas dispersion // *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 74. P. 207–215.
6. Wang L., Peng Y., Runge K., Bradshaw D. A review of entrainment: Mechanisms, contributing factors and modelling in flotation // *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 70. P. 77–91.
7. Patwardhan A., Honaker R. Q. Development of a carrying-capacity model for column froth flotation // *International Journal of Mineral Processing*. 2000. Vol. 59. Iss. 4. P. 275–293.
8. Rahman Soltanpour, Mehdi Irannajad, Fardis Nakhaei. Investigation of effective operating parameters on carrying capacity in column flotation of copper sulfide minerals // *Particulate Science and Technology*. 2019. Vol. 37. Iss. 6. P. 677–684.
9. Иванова Т. А., Зимбовский И. Г., Гетман В. В., Каркешкина А. Ю. Исследование возможности использования дитиопирилметана при флотации сульфидных минералов // *Обогащение руд*. 2018. № 6. С. 38–44. DOI: 10.17580/or.2018.06.07
10. Чантурия В. А., Матвеева Т. Н., Гетман В. В. Исследование флокуляции касситерита при флотации оловосодержащих руд на основе использования термоморфного полимера // *Цветные металлы*. 2018. № 8. С. 13–22. DOI: 10.17580/tsm.2018.08.03
11. Арсентьев В. А., Герасимов А. М., Котова Е. Л. Термомеханическое модифицирование сильвинитовой руды с использованием СВЧ-нагрева // *Обогащение руд*. 2017. № 6. С. 3–8. DOI: 10.17580/or.2017.06.01
12. Лавриненко А. А. Состояние и тенденции развития флотационных машин для обогащения твердых полезных ископаемых в России // *Цветные металлы*. 2016. № 11. С. 19–26. DOI: 10.17580/tsm.2016.11.02
13. Бектурганов Н. С., Арыстанова Г. А., Койжанова А. К., Ерденова М. Б. Сравнительное изучение эффективности способов извлечения золота из техногенных хвостов флотации // *Цветные металлы*. 2016. № 10. С. 69–72. DOI: 10.17580/tsm.2016.10.10
14. Jia N., Wang H. G., Zhang M., Guo M. Selective and efficient extraction of zinc from mixed sulfide-oxide zinc and lead ore // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016. Vol. 37. Iss. 6. P. 418–426.
15. Navia D., Villegas D., Cornejo I., De Prada C. Real-time optimization for a laboratory-scale flotation column // *Computers & Chemical Engineering*. 2016. Vol. 86. Iss. 4. P. 62–74.
16. Harbort G., Clarke D. Fluctuations in the popularity and usage of flotation columns // *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 100. P. 17–30. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 4, pp. 77–81
DOI: 10.17580/gzh.2021.04.11

The study of the column flotation capacities for stimulation of potash ore flotation

Information about authors

E. I. Afonina¹, Leading Researcher, Elena.Afonina@uralkali.com
S. N. Titkov¹, Director of Technology, Candidate of Engineering Sciences
S. N. Aliferova², Deputy Director of Engineering, Candidate of Engineering Sciences
I. Yu. Tupitsin², Chief Engineer, Berezniki 3 Mine Management

¹Branch of "VNII Galurgii" JSC in Saint Petersburg

²Uralkali, Berezniki, Russia

Abstract

Potassium ore contains readily sludgable water-insoluble silicate-carbonate impurities which actively adsorb cation collectors (primary alkylamines) used in sylvine flotation. This fact determines inclusion of multistage de-sludging flowsheets, with rougher and cleaning flotation of sludge in the processing technology. A prerequisite for flotation de-sludging of ore is pre-flocculation of sludge. Flotation of sludge in mechanical flotation machines is carried out with intensive mechanical stirring of the suspension, which impairs the selective separation of sludge into the flotation froth and leads to the partial destruction of sludge flocules, which causes an increased consumption of the flocculant.

In column machines, flotation is carried out in a laminar-upward flow of finely dispersed air bubbles ejected into the suspension in the lower part of the column, and is characterized by the minimal hydromechanical effect on the mineral particle-air bubble attachment. An important feature of flotation in column machines is the adjustability of the foam layer height in a wide range of values (up to 0.5 m and more) and its washability, which makes it possible to increase the recovery selectivity of the floated material into the foam product.

The design of column machines for enrichment of potash ores, which are water-soluble and floatable in rich salt solutions, should ensure elimination of crystallization of the aeration system for supplying air to the column machine. The tests of column flotation of sludge produced from potash ores of the Upper Kama deposit with different contents of water-insoluble impurities were carried out on the experimental installation of ERIEZ Flotation Division. The results of the comparison of flotation efficiency and selectivity in mechanical and column flotation machines are presented. The possibility of de-sludge flotation of potash ores with different contents of water-insoluble impurities (1.5–4%) with the significant improvement of flotation selectivity at the lower consumption of reagents is shown.

The use of column flotation creates conditions for simplifying the instrumental and technological flowsheet of flotation.

Keywords: potash ore, flotation, water insoluble admixtures, extraction, column machine, sludge, sylvine.

References

1. Teterina N. N., Sabirov R. Kh., Skvirskiy L. Ya., Kirichenko L. N. Potash flotation process. Perm – Solikamsk – Berezniki, 2002. 484 p.
2. Titkov S. N., Panteleva N. N., Gurkova T. M. Use of polymer reagents for processing of potash ores containing clay slimes. *Polymers in Mineral Processing: Proceedings of the Third UBC-McGill Bi-annual International Symposium on Fundamentals of Mineral Processing*. Quebec, 1999. pp. 375–392.
3. Titkov S. N., Panteleva N. N., Konoplev E. V. et al. Method of floating enrichment of ores. Patent RF, No. 2278739. Applied: 07.07.2004. Published: 27.06.2006. Bulletin No. 18.
4. Busygin V. M., Sabirov R. Kh., Novoselov V. A. et al. Method of floatation concentration of potassium ores. Patent RF, No. 2237521. Applied: 23.05.2003. Published: 10.10.2004.
5. Vazirizadeh A., Bouchard J., Del Villar R. On the relationship between hydrodynamic characteristics and the kinetics of column flotation. Part I: Modeling the gas dispersion. *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 74. pp. 207–215.
6. Wang L., Peng Y., Runge K., Bradshaw D. A review of entrainment: Mechanisms, contributing factors and modelling in flotation. *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 70. pp. 77–91.
7. Patwardhan A., Honaker R. Q. Development of a carrying-capacity model for column froth flotation. *International Journal of Mineral Processing*. 2000. Vol. 59, Iss. 4. pp. 275–293.
8. Rahman Soltanpour, Mehdi Irannajad, Fardis Nakhaei. Investigation of effective operating parameters on carrying capacity in column flotation of copper sulfide minerals. *Particulate Science and Technology*. 2019. Vol. 37, Iss. 6. P. 677–684.
9. Ivanova T. A., Zimboskiy I. G., Getman V. V., Karkeshkina A. Yu. Study on the possibility of using diithiopyrilmethane in flotation of sulfide minerals. *Obogashchenie Rud*. 2018. No. 6. pp. 38–44. DOI: 10.17580/or.2018.06.07
10. Chanturia V. A., Matveeva T. N., Getman V. V. Investigation of flocculation of cassiterite during flotation of tin ore on the basis of a thermomorphic polymer usage. *Tsvetnye Metally*. 2018. No. 8. pp. 13–22. DOI: 10.17580/tsm.2018.08.03
11. Arsenyev V. A., Gerasimov A. M., Kotova E. L. Sylvinit ore thermochemical modification by means of super high frequency thermal treatment. *Obogashchenie Rud*. 2017. No. 6. pp. 3–8. DOI: 10.17580/or.2017.06.01
12. Lavrinenko A. A. State and trends of development of flotation machines for solid mineral concentration in Russia. *Tsvetnye Metally*. 2016. No. 11. pp. 19–26. DOI: 10.17580/tsm.2016.11.02
13. Bekturganov N. S., Arystanova G. A., Koyzhanova A. K., Erdenova M. B. Comparative study of efficiency of methods of gold extraction from anthropogenic flotation tails. *Tsvetnye Metally*. 2016. No. 10. pp. 69–72. DOI: 10.17580/tsm.2016.10.10
14. Jia N., Wang H. G., Zhang M., Guo M. Selective and efficient extraction of zinc from mixed sulfide-zinc and lead ore. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016. Vol. 37, Iss. 6. pp. 418–426.
15. Navia D., Villegas D., Cornejo I., De Prada C. Real-time optimization for a laboratory-scale flotation column. *Computers & Chemical Engineering*. 2016. Vol. 86, Iss. 4. pp. 62–74.
16. Harbort G., Clarke D. Fluctuations in the popularity and usage of flotation columns. *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 100. pp. 17–30.

