

Исследование влияния ультразвукового воздействия на стадии шламовой флотации сильвинитовой руды

О.К. Косвинцев, С.А. Миронова, С.В. Лановецкий

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Аннотация: В статье представлены исследования по влиянию предварительной ультразвуковой обработки проб питания шламовой флотации сильвинитовой обогатительной фабрики на процесс дальнейшего обогащения сильвинитовой руды. Показано, что использование комбинированного способа очистки (ультразвуковая обработка с последующим гравитационным обесшламливанием руды) на стадии шламовой флотации повышает эффективность очистки минерального сырья от нерастворимых примесей и снижает потери хлорида калия со шламами. Повышение извлечения нерастворимого остатка в слив гидроциклонов при комбинированном способе обесшламливания без дополнительного расхода реагентов приведет к снижению нормы расхода реагентов на механическое обесшламливание, сокращению фронта шламовой флотации и увеличению производительности оборудования в технологии обогащения сильвинитовой руды флотационным способом.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, шламовая флотация, обогащение сильвинитовой руды, хлорид калия.

Введение

Одной из важных задач улучшения технико-экономических показателей флотационного обогащения калийных руд с повышенным содержанием нерастворимого остатка является уменьшение потерь полезного компонента со шламами и повышение эффективности и селективности сильвиновой флотации за счёт снижения содержания нерастворимых примесей в питании сильвиновой флотации [1-3].

Предварительное обесшламливание сильвинитовой руды Верхнекамского месторождения чрезвычайно важно, так как применяемый для флотации сильвина катионный реагент-собиратель чувствителен к присутствию глинистых шламов в исходной для флотации суспензии [4, 5].

Обладая большой удельной поверхностью и повышенной активностью, глинистые шламы адсорбируют на своей развитой поверхности значительную часть вводимого реагента-собирателя, снижают скорость флотации сильвина, налипают на крупные частицы и затрудняют их

флотацию, загрязняют концентрат [6, 7]. Процесс предварительного удаления глинисто-карбонатных шламов из калийной руды осуществляется в несколько стадий, в зависимости от количества и состава нерастворимых примесей руды.

В процессе механического обесшламливания (оттирки) происходит удаление нерастворимых частиц с поверхности минералов, препятствующих процессу обогащения сильвинитовой руды.

Оттирка нерастворимого остатка, как правило, осуществляется в процессе механического и газоструйного измельчением. Данные способы механического обесшламливания позволяют очищать только открытую поверхность минеральных зерен, однако удалить нерастворимые примеси из микротрещин при этом не представляется возможным.

Требуемого результата можно достичь, используя ультразвуковой способ обработки минерального сырья [8, 9]. В работах [10, 11] показана достаточно высокая эффективность данного способа воздействия на руду.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы явилось проведение исследований, направленных на повышение эффективности обогащения сильвинитовой руды путем ультразвуковой обработки питания шламовой флотации с последующим гравитационным обесшламливанием и шламовой флотацией сильвинитовой руды.

Экспериментальная часть

Исследования по повышению эффективности гидромеханического обесшламливания сильвинитовой руды выполнялись на пробах питания гидроциклонов первой стадии обесшламливания Третьего Березниковского калийного производственного рудоуправления ПАО «Уралкалий» (БКПРУ-3). Массовая доля КС1 и нерастворимого остатка в питании гидроциклонов составила 31,05 и 4,23 % соответственно.

Установка для проведения лабораторных исследований по влиянию ультразвукового воздействия на обрабатываемую среду представляла собой стеклянный реактор, с погружённым в него ультразвуковым волноводом и цифровой мешалкой WiseStir HT50DX с возможностью контроля частоты вращения. В качестве источника ультразвукового излучения использовали установку ИЛ100-6 с рабочей частотой $22 \pm 10\%$ кГц.

Для сравнения опытных данных использовали результаты контрольного режима, проводимого без ультразвукового воздействия на обрабатываемую среду по следующей схеме: гравитационное обесшламливание → шламовая флотация песков гидроциклонов.

Экспериментальные исследования с использованием ультразвуковой обработки осуществляли в следующей последовательности: ультразвуковая обработка суспензии → гравитационное обесшламливание обработанной суспензии → шламовая флотация песков гидроциклонов.

Для проведения экспериментов в стеклянный реактор заливали суспензию в количестве 1200 мл с заданным соотношением «жидкое : твердое» (Ж:Т=3). Частота вращения мешалки во всех опытах оставалась постоянной и составляла 350 мин^{-1} .

В исследованиях варьировались интенсивность ультразвукового излучения ($3,88 \div 5,82 \text{ Вт/см}^2$) и время ультразвукового воздействия на образец ($0,5 \div 1 \text{ мин}$).

В первой серии экспериментов интенсивность ультразвукового излучения составляла $3,88 \text{ Вт/см}^2$, время обработки – 0,5 мин. Во второй серии экспериментов интенсивность УЗ-обработки оставалась без изменения, а время воздействия увеличилось до 1 мин. В третьей серии экспериментов интенсивность ультразвукового излучения составила $5,82 \text{ Вт/см}^2$, а время УЗ воздействия – 0,5 мин. В четвертой серии экспериментов время увеличили до 1 мин при интенсивности ультразвука $5,82 \text{ Вт/см}^2$.

После ультразвуковой обработки суспензии продукт направлялся на стадию гравитационного обесшламливания. Данный процесс осуществлялся в стеклянном стакане при непрерывном перемешивании суспензии мешалкой с частотой 350 мин^{-1} в течение 3 минут. После окончания перемешивания суспензии, взмученную жидкую фазу сливали и подвергали фильтрации. Очищенный фильтрат в дальнейшем использовали в качестве маточного раствора на стадии шламовой флотации.

После гравитационного обесшламливания, твердую фазу направляли на стадию шламовой флотации, предварительно разбавив маточным раствором до соотношения Ж:Т = 3 и добавив в суспензию расчетное количество реагентов. В качестве реагентов использовали водные растворы алифатического амина марки «Ethomeen» (собиратель) и полиакриламида марки «Ассофлок» (флокулянт).

Флотацию шламов проводили в механической лабораторной машине кипящего слоя 237 ФЛ конструкции «Механобр» при постоянном расходе воздуха – 0,1л/с. Объем камеры флотационной машины составлял 1300 мл. Время флотации во всех опытах оставалось неизменным – 1,5 мин. Съём пенного продукта производился в автоматическом режиме пеносъемником.

Во время проведения опытов в камеру лабораторной машины равномерно из стакана добавляли небольшое количество маточного раствора для поддержания постоянного уровня пены.

По окончании опыта суспензию пенного и камерного продукта по отдельности фильтровали на лабораторной вакуумно-фильтровальной установке.

Химический анализ жидкой и твердой фаз на содержание КСl проводили при помощи пламенной фотометрии. Концентрацию нерастворимого остатка (н.о.) оценивали гравиметрическим методом. После

получения данных химического анализа проводился пересчет массовой доли компонента в сухом веществе на твердую фазу компонента в суспензии.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментов по гидромеханическому обесшламливанию сильвинитовой руды представлены в табл. 1.

Таблица №1

Результаты экспериментальных данных после стадии ультразвуковой обработки и гравитационного обесшламливания

Условия проведения эксперимента	Продукты	Массовая доля, %		Извлечение, %	
		КСІ	н.о.	КСІ	н.о.
Контрольный режим без УЗ-обработки	Слив гидроциклона	11,57	57,50	1,20	43,63
Интенсивность УЗ обработки – 3,88 Вт/см ² , τ – 0,5 мин	Слив гидроциклона	1,50	74,00	0,16	68,98
Интенсивность УЗ обработки – 3,88 Вт/см ² , τ – 1 мин	Слив гидроциклона	9,12	64,00	1,19	51,67
Интенсивность УЗ обработки – 5,82 Вт/см ² , τ – 0,5 мин	Слив гидроциклона	5,10	68,10	0,60	57,50
Интенсивность УЗ обработки – 5,82 Вт/см ² , τ – 1 мин	Слив гидроциклона	10,97	61,60	1,42	54,76

Из данных таблицы видно, что содержание нерастворимого остатка в сливе гидроциклонов увеличивается во всех режимах с ультразвуковой обработкой по сравнению с контрольным режимом и составляет 61,6÷74,0 % против 57,5 % (в контрольном режиме). При этом максимальное извлечение

нерастворимого остатка в слив осуществляется при интенсивности УЗ-обработке – $3,88 \text{ Вт/см}^2$ в течении 30 секунд. Данные условия проведения процесса позволяют очистить крупные кристаллические частицы сильвинитовой руды от мелкодисперсные частицы нерастворимого остатка, которые, в дальнейшем, удаляются со сливом.

Увеличение времени обработки пробы питания приводит к снижению концентрации и извлечения нерастворимого остатка в сливе и росту концентрации КСl. Данный эффект объясняется тем, что длительная УЗ-обработка способствует диспергации частиц сильвинитовой руды, увеличению доли мелкой фракции, которая, впоследствии, удаляется из процесса со сливом маточного раствора, что неизбежно ведет к росту потерь хлорида калия.

После стадии ультразвуковой обработки и гравитационного обесшламливания, твердую фазу (пески гидроциклонов) направляли на следующую стадию – шламовую флотацию.

Анализ данных, представленных в табл. 2, показал, что извлечение нерастворимого остатка в пену шламовой флотации снижается благодаря предварительному удалению нерастворимого остатка на стадиях ультразвуковой обработки и гравитационного обесшламливания.

Снижение извлечения нерастворимого остатка в пену шламовой флотации достаточно хорошо коррелирует с извлечением нерастворимого остатка в слив гидроциклона. Также, благодаря предварительной ультразвуковой обработке увеличивается извлечение хлорида калия в камерный продукт шламовой флотации. По сравнению с контрольным испытанием, при котором извлечение КСl в камерный продукт составило 95,99%, извлечение в остальных сериях экспериментов возросло на 0,5-2%, что в конечном итоге благоприятно отразится на следующей стадии обогащения – основной сильвиновой флотации.

Таблица №2

Результаты экспериментальных данных после стадии флотационного
обогащения исследуемых проб

Условия проведения эксперимента	Продукты	Извлечение, %	
		КС1	н.о.
Контрольный режим без УЗ-обработки	Пенный продукт шламовой флотации	2,82	13,62
	Камерный продукт шламовой флотации	95,99	42,60
Интенсивность УЗ обработки – 3,88 Вт/см ² , τ – 0,5 мин	Пенный продукт шламовой флотации	1,73	4,81
	Камерный продукт шламовой флотации	96,83	32,95
Интенсивность УЗ обработки – 3,88 Вт/см ² , τ – 1 мин	Пенный продукт шламовой флотации	2,33	6,09
	Камерный продукт шламовой флотации	96,48	42,25
Интенсивность УЗ обработки – 5,82 Вт/см ² , τ – 0,5 мин	Пенный продукт шламовой флотации	1,00	8,49
	Камерный продукт шламовой флотации	98,42	34,18
Интенсивность УЗ обработки – 5,82 Вт/см ² , τ – 1 мин	Пенный продукт шламовой флотации	1,90	10,20
	Камерный продукт шламовой флотации	96,69	35,10

Расчеты, выполненные по результатам проведенных экспериментов, показали, что максимальная селективность шламовой флотации в экспериментах с ультразвуковой обработкой (при интенсивности 3,88-5,82 Вт/см² и длительности процесса 30с) составила 95%, в то время, как по результатам контрольного испытания без ультразвукового воздействия данная характеристика составила всего 88,2 %.

Выводы

1. Исследовано влияние предварительной ультразвуковой обработки проб питания шламовой флотации сильвинитовой обогатительной фабрики на процесс дальнейшего обогащения сильвинитовой руды.

2. Показано, что использование комбинированного способа обесшламливания (ультразвуковая обработка с последующим гравитационным обесшламливанием руды) позволит снизить потери хлорида калия на стадии шламовой флотации.

3. Повышение извлечения нерастворимого остатка в слив гидроциклонов при комбинированном способе обесшламливания без дополнительного расхода реагентов приведет к снижению нормы расхода реагентов на механическое обесшламливание, сокращению фронта шламовой флотации и увеличению производительности оборудования в технологии обогащения сильвинитовой руды флотационным способом.

Литература

1. Пантелеева Н. Н., Титков С. Н., Бармин И. С., Кривольцевич В. М., Бучко В. Ф. Особенности обогащения калийных руд гремячинского месторождения // Обогащение руд. 2009. №2. С. 21-25.

2. Титков С. Н., Пантелеева Н. Н., Гуркова Т. М., Чумакова Т. Г., Коноплев Е. В. Совершенствование технологии флотационного обогащения калийных руд // Обогащение руд. 2003. №3. С. 42-47.

3. Любущенко А. Д., Пастухов А. В., Башкардина Е. А. Особенности производства калийных удобрений на РУП «ПО «Беларуськалий»// Горный журнал. 2010. № 8. С. 51-53.

4. Алиферова С. Н. Активация процессов флотации шламов и сильвина при обогащении калийных руд: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13.. Екатеринбург, 2007. 21 с.

5. Алексеева Е. И. Интенсификация флотационной переработки высокошламистых сильвинитовых руд: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13.. СПб, 2009. 20 с.

6 Богданова О. С., Ненарокомова Ю. Ф. Справочник по обогащению руд. Обогащительные фабрики. Л.: Недра, 1984. 360 с.

7. Печковский В. В. Технология калийных удобрений. Минск: Высшая школа, 1978. 303 с.

8. Zhao H. L., Wang D. X., Cai Y. X., Zhang F. C. Removal of iron from silica sand by surface cleaning using power ultrasound // Minerals Engineering. 2007. Vol. 20(8). P. 816-818.

9. Perevoshchikov V. A., Skupov V. D. Effect of ultrasonic cleaning of the surface on the selectively etched microscopic defect structure of silicon// Industrial Laboratory. 1999. Vol. 65(7). P. 439-441.

10. Вахрушев В. В., Рупчева В. А., Пойлов В. З., Косвинцев О. К. Обесшламливание сильвинитовой руды при ультразвуковой обработке // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4-2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1369.

11. Вахрушев В.В., Пойлов В.З., Косвинцев О.К., Федотова О.А. Кинетика обесшламливания сильвинитовой руды при ультразвуковой обработке // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1638.

References

1. Panteleeva N. N., Titkov S. N., Barmin I. S., Krivol'tsevich V. M., Buchko V. F. Obogashchenie rud (Rus). 2009. №2. pp. 21-25.

2. Titkov S. N., Panteleeva N. N., Gurkova T. M., Chumakova T. G., Konoplev E. V. Obogashchenie rud (Rus). 2003. №3. pp. 42-47.

3. Lyubushchenko A. D., Pastukhov A. V., Bashkardina E. A. Gornyy zhurnal (Rus). 2010. № 8. pp. 51-53.



4. Aliferova S. N. Aktivatsiya protsessov flotatsii shlamov i sil'vina pri obogashchenii kaliynykh rud [Activation of the flotation slimes and sylvite for potash ore-dressing treatment]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.13.. Ekaterinburg, 2007. 21 p.

5. Alekseeva E. I. Intensifikatsiya flotatsionnoy pererabotki vysokoshlamistykh sil'vinitovykh rud [Intensification of flotation processing sylvinite ore high slime]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.13.. SPb, 2009. 20 p.

6. Bogdanova O. S., Nenarokomova Yu. F. Spravochnik po obogashcheniyu rud. Obogatitel'nye fabriki [Directory of enrichment of ores. Concentrating factory]. L.: Nedra, 1984. 360 p.

7. Pechkovskiy V. V. Tekhnologiya kaliynykh udobreniy [Technology of potash fertilizers]. Minsk: Vysheyshaya shkola, 1978. 303 p.

8. Zhao H. L., Wang D. X., Cai Y. X., Zhang F. C. Minerals Engineering. 2007. Vol. 20(8). pp. 816-818.

9. . Perevoshchikov V. A., Skupov V. D. Industrial Laboratory. 1999. Vol. 65(7). pp. 439-441.

10. Vakhrushev V. V., Rupcheva V. A., Poylov V. Z., Kosvintsev O. K. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4-2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1369.

11. Vakhrushev V.V., Poylov V.Z., Kosvintsev O.K., Fedotova O.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1638.