

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ КАРБОНАТНО-ФЛЮОРИТОВЫХ РУД МОНГОЛО-ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ РУДОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

А.В. Фатьянов¹, Л.Г. Никитина¹, С.А. Щеглова¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: nikitina-lg@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена проблема, связанная с вовлечением в переработку комплексных и труднообогащаемых, тонковкрапленных карбонатно-флюоритовых руд с низким содержанием флюорита, приуроченных к известнякам и карбонатам. Трудность селекции в этом случае кальцийсодержащих минералов, обладающих близкими кристаллохимическими и практически одинаковыми флотационными свойствами, возрастает с уменьшением карбонатного модуля и определяется применением новых подходов к поиску и разработке сочетаний селективно-действующих депрессоров для подавления не подлежащих флотации минералов. Представлено решение задачи получения высокосортных концентратов при исследовании и разработке технологических схем. Предложено проявить новый подход к решению проблем интенсификации флотации карбонатно-флюоритовых руд, связанных с применением новых собирателей, не требующих подогрева пульпы, и с использованием новых селективно-действующих депрессоров карбонатных минералов для получения флюоритовых концентратов высшего качества. Рассмотрен вариант технологии на примере подготовленных для промышленных испытаний и последующего внедрения схем обогащения карбонатно-флюоритовых руд в условиях обогатительной фабрики Бор-Ундур (Республика Монголия). Рекомендован сравнительно простой вариант флотационной схемы. Схема предусматривает селекцию кальциевых минералов с флотацией флюорита и подавлением флотиремости карбонатов с получением флюоритового концентрата марки ФФ-97А.

Ключевые слова: Обогащение, флотация, флюорит, карбонаты, реагенты, собиратели, концентраты, интенсификация.

Для цитирования: Фатьянов А.В., Никитина Л.Г., Щеглова С.А. Повышение эффективности переработки карбонатно-флюоритовых руд Монголо-Забайкальской рудоносной провинции. – 2020. – № 10. – С. 115–122. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-115-122.

Improvement of processing efficiency for carbonate–fluorite ore of the Transbaikal–Mongolia province

A.V. Fat'yanov¹, L.G. Nikitina¹, S.A. Shcheglova¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: nikitina-lg@mail.ru

Abstract: Processing of complex and rebellious finely disseminated carbonate–fluorite ore with low content of fluorite, adjoining limestone and carbonate is a challenging problem. Selection of calcium-bearing minerals, with similar crystal chemistry and flotation properties becomes

more difficult with decreasing calcium-to-carbonate ratio and needs new approaches to combinations of selective depressors for minerals of no interest. The problem of production of high-quality concentrates can be solved by developing and studying process flow charts. It is proposed to apply the new approach to intensification of flotation of carbonate–fluorite ore by means of using new collecting agents, without pulp heating, and with new selective depressors for carbonate minerals toward production of high-quality fluorite concentrates. The article presents a case study of carbonate–fluorite ore processing flow charts prepared for testing and further introduction at Bor-Öndör Fluorspar Concentrator Plant (Republic of Mongolia). A simple flotation circuit is recommended for application. This circuit provides selection of calcium minerals, flotation of fluorite, depression of carbonates and production of FF-97A grade fluorite concentrate.

Key words: processing, flotation, fluorite, carbonate, reagents, collecting agents, concentrates, intensification.

For citation: Fat'yanov A. V., Nikitina L. G., Shcheglova S. A. Improvement of processing efficiency for carbonate–fluorite ore of the Transbaikal–Mongolia province. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(10):115-122. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-115-122.

Введение

С геологической точки зрения все Забайкальские месторождения определяются одной рудоносной провинцией, представленной тремя частями: Северо-Восточной, Забайкальской и Монголо-Забайкальской. Первая проходит в северной части Забайкальского края, вторая пересекает Бурятию, Забайкальский край и Монголию, а третья — юго-восточную часть Забайкальского края. Общая геологическая основа отразилась во многом на общности вещественного состава руд месторождений и их технологических особенностях.

При анализе опыта промышленного освоения флюоритовых месторождений как в Российской Федерации, так и в Монголии следует отметить, что легкообогащаемые руды с достаточно простым составом в большинстве своем переработаны по несложным технологиям, в результате чего получается низкосортная флюоритовая продукция. В ближайшем будущем произойдет истощение запасов мономинеральных руд и соответственно возникнет необходимость в переработке сложных по минеральному составу и труднообогащаемых тонковкрапленных флюоритовых руд для получения высоко-

косортных флюоритовых концентратов марок ФФ-97А и ФФ-97-Б [1–3].

При исследовании и разработке технологических схем необходимо решить, как эффективно перерабатывать сложные по составу руды, содержащие минералы вмещающих пород, очень близкие по своим флотационным свойствам к флюориту — различного рода карбонаты. Для флотации неметаллических руд обычно используются жирнокислотные реагенты [15]. Такие схемы сложные, разветвленные, требуют подогрев пульпы, что является экономически не выгодным.

Следует отметить, что разработаны теоретические основы по исследованию технологических возможностей селективной флотации многокарбонатных флюоритовых руд с получением высокосортных флюоритовых концентратов [1, 4–6]. Исследователями применяются оптимизированные сочетания депрессоров и собирателей. Определено, что флотируемость кальциевых минералов и селективность может быть напрямую связана с организацией адсорбционного слоя на их поверхности [14]. Появились конкретные предложения по технологическому решению этих воп-

росов, однако все они связаны с необходимостью дополнительных расходов на подогрев пульпы, существенным усложнением схем и реагентного режима при доводке полученных продуктов [5, 6, 8 – 10].

Направление технологического решения

В исследовании предложен новый подход к решению проблем интенсификации флотации карбонатно-флюоритовых руд, связанных с применением новых собирателей, не требующих подогрева пульпы, и с использованием новых селективно-действующих депрессоров карбонатных минералов для получения флюоритовых концентратов высшего качества [7, 13].

Один из вариантов решения рассмотрен на примере подготовленных для промышленных испытаний и последующего внедрения схем обогащения карбонатно-флюоритовых руд в условиях обогатительной фабрики Бор-Ундур (Республика Монголия) [11, 3, 6].

Исследования были выполнены на пробах руд с карбонатным модулем от 10,3 до 2,22, составленным для переработки на обогатительной фабрике ГОКа Бор-Ундур из кварц-флюоритовых руд

шахты Бор-Ундур и кварц-карбонатно-флюоритовых руд месторождений Урген и Хух-Дэль. Пробы по своей характеристике мономинеральные. К основным минералам относятся флюорит, кварц, карбонаты. Структура руд мелко- и среднезернистая; текстура — брекчиевая, прожилковая, вкрапленная и редко массивная [3, 6].

Задача решается при помощи внедрения систем новых селективно-действующих собирателей для карбонатно-флюоритовых руд.

В исследовательских работах [3, 6, 11], проведенных на кварц-флюоритовых рудах шахты Бор-Ундур и кварц-карбонатно-флюоритовых рудах месторождений Урген, были определены параметры флотационного режима, позволяющие создать схему флотации данной пробы с полным исключением подогрева пульпы.

Результаты исследований

В работах [11] получены наиболее эффективные результаты при использовании реагентов собирателей из класса олеил-саркозиновых кислот — ОСУ, ON-60 [12]. В предложенной технологии применение современных реагентов собирателей снижает температурный режим флотации. Результаты исследо-

Таблица 1

Влияние температуры пульпы на селективность минералов основной флотации высококальцитно-флюоритовых руд ГОКа Бор-Ундур

Effect of pulp temperature on selectivity of highly calcitic fluorite ore roughing at Bor-Öndör Fluorspar Concentrator Plant

Технологические показатели	Температура пульпы, град.				
	3,5—4	8	16	22—24	30—31
Содержание CaF_2 в концентрате	61,09	57,19	60,31	58,75	61,09
Извлечение CaF_2 в концентрат	90,02	95,04	92,53	92,75	92,63
Содержание CaCO_3 в концентрате	25,0	23,5	23,5	24,5	23,5
Извлечение CaCO_3 в концентрат	79,29	80,44	80,25	83,71	80,29
Содержание CaF_2 в хвостах	4,19	2,2	3,37	3,37	3,37
Извлечение CaF_2 в хвостах	9,98	4,96	7,47	7,25	7,37
Содержание CaCO_3 в хвостах	4,0	4,0	4,0	3,5	4,0
Извлечение CaCO_3 в хвостах	20,71	19,56	19,75	16,29	19,71

ваний по влиянию температуры на процесс флотации представлены в табл. 1.

Наиболее высокие показатели по содержанию флюорита и его извлечению в концентрат достигнуты при температуре пульпы +8°. Температура пульпы от +3,5 до +8° в лабораторных условиях поддерживалась при подаче в камеру флотационной машины кускового льда для структурирования жидкой фазы, а также оптимизации условий селекции минералов — флюорита и карбонатов. Выявлено, что, несмотря на существующие представления о необходимости подогрева пульпы или даже ее пропарки в перечистных операциях, схема флотации может быть существенно упрощена. Исключение подогрева и пропарки из числа обязательных операций значительно снижает затраты на производство флюоритовых концентратов.

Для достижения необходимой селекции минералов (флюорита и карбонатов) рекомендуется применять новый депрессор — модифицированное жидкое стекло, приготовленное на основе обычного щелочного жидкого стекла и сульфата цинка в определенном соотношении. Оработана специальная методика приготовления этого реагента [3]. По данной технологии были полу-

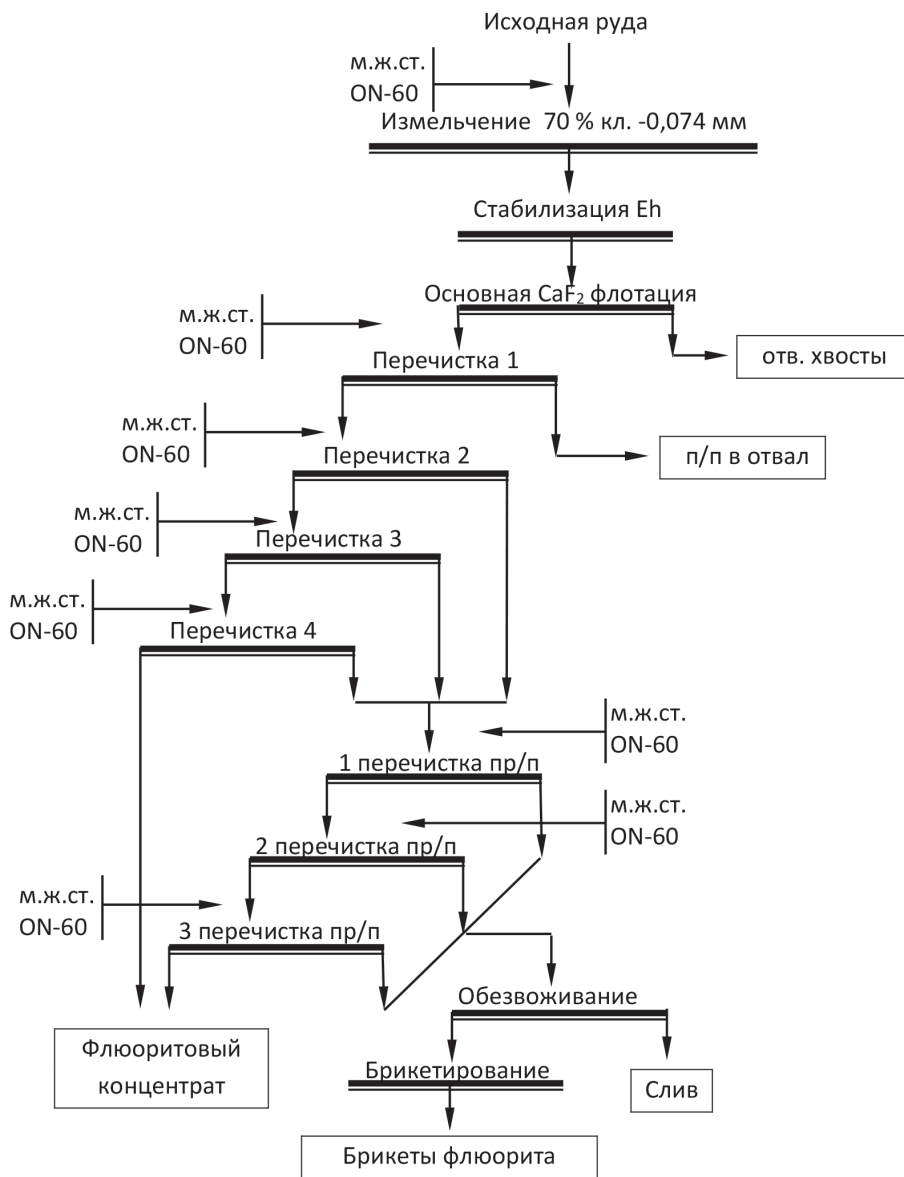
чены два концентрата: флюоритовый с содержанием флюорита 97,3% при извлечении 71,16%; карбонатный с содержанием флюорита 43,53% и 42,02% карбоната при извлечении флюорита в карбонатный концентрат 20,46%.

Поиск и обоснование технологических особенностей флотации данных руд продолжается. В настоящее время ученым Забайкальского государственного университета (ЗабГУ) удалось создать технологический режим флотации сложных по составу карбонатно-флюоритовых руд Монголии, Забайкальского края и Приморья. На высококальцитно-флюоритовых рудах ГОКа Бор-Ундур были проведены и уточнены технологические схемы с использованием современных реагентов собирателей и подавителей. Значительно снижены расходы дорогостоящего собирателя из класса олеил-саркозиновых кислот, что, в свою очередь, позволяет уменьшить затраты, а также проводить флотацию в любом температурном режиме от низких до естественных температур технологического процесса. Применение подавителя вмещающей породы — модифицированного жидкого стекла — сыграло большую роль в скорости флотации флюорита, которая сократилась практи-

Таблица 2

Технологические показатели обогащения по рекомендуемой технологической схеме
Production data of processing using the recommended processing circuit

Продукт	Выход, %	Карбонаты		Флюорит	
		содержание, %	извлечение, %	содержание, %	извлечение, %
Флотационный концентрат	21,97	0,99	6,15	97,05	72,45
Промпродукт 1 перечистки (отвальный продукт)	4,68	6,12	8,1	37,15	5,91
Брикеты из промпродуктов перечистных операции	3,58	4,4	4,46	81,13	9,86
Отвальные хвосты	69,77	4,12	81,29	4,97	11,78
Исходная руда	100	3,54	100	29,43	100



Рекомендуемая технологическая схема обогащения кварц-карбонатно-флюоритовых руд: М.ж.ст. – модифицированное жидкое стекло; ON-60 – собиратель

Recommended processing circuit for flotation of carbonate-fluorite ore (MLG – modified liquid glass; ON-60 – collecting agent)

чески в 2 раза. Это позволяет значительно снизить себестоимость концентрата и получить высокие технико-экономические показатели.

Рекомендуемая технологическая схема, предложенная исследователями

ЗабГУ, на сегодняшний день является прогрессивной, современной для получения высокосортной флюоритовой продукции.

Технологическая схема представлена на рисунке.

По результатам исследований технологическая схема позволяет получить флюоритовый концентрат марки ФФ-97А, содержащий флюорит — 97,05%, карбонат — 0,99%, при извлечении флюорита в концентрат — 72,45%, а так же кусковой флюоритовый концентрат в виде брикетов марки ФК-75, содержащий флюорит — 81,132 при его извлечении 9,86%. Общее извлечение флюорита по рекомендуемой технологии составляет 82,31% (табл. 2).

Выводы

1. Эффективная селекция кальцийсодержащих минералов при обогащении

сложных по составу карбонатно-флюоритовых руд возможна без каких-либо форм подогрева пульпы при использовании в качестве собирателя соединений из класса олеил-саркозиновых кислот.

2. Получение флюоритовых флотоконцентратов высшей марки ФФ-97А возможно за счет использования селективно-действующего депрессора — модифицированного жидкого стекла.

3. Экономическая эффективность рекомендуемой схемы резко возрастает в связи с ликвидацией подогрева пульпы, а также за счет выпуска высокосортного концентрата и кусковой флюоритовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фатьянов А. В., Никитина Л. Г., Глотова Е. В.* Технология обогащения флюоритовых руд. — Новосибирск: Наука, 2006. — 196 с.

2. *Фатьянов А. В., Никитина Л. Г., Щеглова С. А., Долгих О. Л.* Разработка эффективной флотационной технологии получения высокосортных флюоритовых концентратов при освоении новых Забайкальских месторождений // Горный журнал. — 2011. — № 3. — С. 82—84.

3. *Фатьянов А. В., Никитина Л. Г., Щеглова С. А.* Переработка карбонатно-флюоритовых руд месторождений Монголии и Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2017. — № 4 (23). — С. 33—37.

4. *Астахов Р. Я., Никифоров К. А., Мохосоев М. В.* Селективная флотация флюорит-карбонатных руд. — Новосибирск: Наука, 1983. — 137 с.

5. *Гамова О. Л., Никитина Л. Г., Фатьянов А. В., Щеглова С. А.* Патент 2360742. Способ флотации руд и поточная линия для его осуществления. МПК ВОЗД 1/02.(2006.01), ВОЗД 1/004(2006.01), ВОЗВ 7/00(2006.01). Заявитель и патентообладатель ЗабГУ. 2009.

6. *Долгих О. Л.* Совершенствование реагентного режима флотации карбонатно-флюоритовых руд Монголо-Забайкальской провинции. Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. — Чита: ЗабГУ, 2013. — 120 с.

7. *Долгих О. Л.* Использование реагента перластана как альтернативы олеиновой кислоте при флотации флюорита // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2012. — № 9 (88). — С. 20—26.

8. *Шалюгина М. Ф., Бобракова А. Н.* Разработка технологии обогащения высококарбонатной флюоритовой руды месторождения Урген (Монголия) // Горный журнал. — 2012. — № 11. — С. 67—69.

9. *Киенко Л. А., Саматова Л. Р., Воронова О. В.* К проблеме повышения селективности флотации при обогащении карбонатно-флюоритовых руд месторождений Приморского края // Горный журнал. — 2013. — № 12. — С. 63—67.

10. *Киенко Л. А., Воронова О. В.* Использование высокоселективных модификаторов при флотации карбонатно-флюоритовых руд Приморья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 30. — С. 213—219.

11. *Фатьянов А. В., Никитина Л. Г., Щеглова С. А., Долгих О. Л., Авдеев П. Б., Земский Е. В., Щёкотов Н. Д., Хурлээ Ганпурэв* Патент 2564550. Способ флотации флюорито-

вых руд. МПК ВОЗД 1/02.(2006.01), ВОЗД 1/004(2006.01). Заявитель и патентообладатель ООО «Забтехноком». 2015.

12. Хатькова А. Н., Никитина Л. Г., Патеюк С. А. Исследование флотируемости борогипса перластаном // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 160–171. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-160-171.

13. Pople J. A. Molecular association in liquids: II. A theory of the structure of water // Proceedings of the Royal Society A. 1951. Vol. 205. No 1081. Pp. 163–178.

14. Mielczarski J. A., Mielczarski E., Cases J. M. Dynamics of fluorite-oleate interactions // Langmuir, 1998. Vol. 15. No 2. Pp. 500–508.

15. Matsuno T., Kadota M., Ishiguro Y. Separation of gypsum by the flotation process // Bulletin of the Society of Salt Science. 1958. Vol. 12. No 2. Pp. 73–78. **MIAB**

REFERENCES

1. Fat'yanov A. V., Nikitina L. G., Glotova E. V. *Tekhnologiya obogashcheniya flyuoritovykh rud* [Fluorite ore processing technology], Novosibirsk, Nauka, 2006, 196 p.

2. Fat'yanov A. V., Nikitina L. G., Shcheglova S. A., Dolgikh O. L. Efficient flotation technology for high-grade fluorite concentrate production in development of new deposits in Transbaikal Area. *Gornyi Zhurnal*. 2011, no 3, pp. 82–84. [In Russ].

3. Fat'yanov A. V., Nikitina L. G., Shcheglova S. A. Processing of carbonate–fluorite ore of Mongolia and Transbaikal deposits. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017, no 4 (23), pp. 33–37. [In Russ].

4. Astakhov R. YA., Nikiforov K. A., Mokhosoev M. V. *Selektivnaya flotatsiya flyuorit-karbonatnykh rud* [Selective carbonate–fluorite ore concentration], Novosibirsk, Nauka, 1983, 137 p.

5. Gamova O. L., Nikitina L. G., Fat'yanov A. V., Shcheglova S. A. *Patent RU 2360742*. 2009.

6. Dolgikh O. L. *Sovershenstvovanie reagentnogo rezhima flotatsii karbonatno-flyuoritovykh rud Mongolo-Zabaykal'skoy provintsii* [Reagent regime improvement for flotation of carbonate–fluorite ore from the Transbaikal–Mongolia Province], Candidate's thesis, Chita, ZabGU, 2013, 120 p.

7. Dolgikh O. L. Perlstan agent as an alternative to oleinic acid in flotation of fluorite. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no 9 (88), pp. 20–26. [In Russ].

8. Shalyugina M. F., Bobrakova A. N. Processing technology for highly calcitic fluorite ore of the Örgön deposit, Mongolia. *Gornyi Zhurnal*. 2012, no 11, pp. 67–69. [In Russ].

9. Kienko L. A., Samatova L. R., Voronova O. V. Improvement of flotation selectivity in carbonate–fluorite ore processing in the Perm Krai. *Gornyi Zhurnal*. 2013, no 12, pp. 63–67. [In Russ].

10. Kienko L. A., Voronova O. V. Use of highly selective modifiers in flotation of carbonate–fluorite ore in Primorye. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. CB 30, pp. 213–219. [In Russ].

11. Fat'yanov A. V., Nikitina L. G., Shcheglova S. A., Dolgikh O. L., Avdeev P. B., Zems-kiy E. V., Shchekotov N. D., Khurlee Ganpurev *Patent RU 2564550*. 2015.

12. Khat'kova A. N., Nikitina L. G., Pateyuk S. A. Floatability of borogypsum with perlstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no 11, pp. 160–171. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-160-171. [In Russ].

13. Pople J. A. Molecular association in liquids: II. A theory of the structure of water. Proceedings of the Royal Society A. 1951. Vol. 205. No 1081. Pp. 163–178.

14. Mielczarski J. A., Mielczarski E., Cases J. M. Dynamics of fluorite-oleate interactions. Langmuir, 1998. Vol. 15. No 2. Pp. 500–508.

15. Matsuno T., Kadota M., Ishiguro Y. Separation of gypsum by the flotation process. Bulletin of the Society of Salt Science. 1958. Vol. 12. No 2. Pp. 73–78.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Фатьянов Альберт Васильевич*¹ — д-р техн. наук, профессор,
e-mail: fatyanov.albert@yandex.ru,

*Никитина Людмила Георгиевна*¹ — канд. техн. наук, доцент,
Зам. декана по УР горного факультета, e-mail: nikitina-lg@mail.ru,

*Щеглова Светлана Александровна*¹ — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: ssheglova@mail.ru,

¹ Забайкальский государственный университет.

Для контактов: Никитина Л.Г., e-mail: nikitina-lg@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A. V. Fat'yanov*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: fatyanov.albert@yandex.ru,

*L. G. Nikitina*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

Deputy Dean for Academic Affairs of the Mining Faculty, e-mail: nikitina-lg@mail.ru,

*S. A. Shcheglova*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: ssheglova@mail.ru,

¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

Corresponding author: L.G. Nikitina, e-mail: nikitina-lg@mail.ru.

Получена редакцией 25.10.2019; получена после рецензии 03.03.2020; принята к печати 20.09.2020.

Received by the editors 25.10.2019; received after the review 03.03.2020; accepted for printing 20.09.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

(2020, № 5, СВ 15, 8 с. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-15-3-8)

*Ушанова Светлана Евгеньевна*¹ — аспирантка, *Зиборова Екатерина Юрьевна*¹ — аспирантка,
¹ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

На основе анализа статистических данных по причинам потери работоспособности оборудования горных предприятий и обзора современной научно-технической литературы обозначены основные пути решения проблемы повышения долговечности быстроизнашиваемых узлов трения горных машин и конвейерного транспорта. Показано, что одним из важнейших направлений развития работ данной тематики является изыскание и разработка современных конструкционных материалов, обладающих высокой способностью сопротивляться интенсивному механическому и усталостно-механическому изнашиванию. Рассмотрена возможность повышения долговечности оборудования на основе применения эффективных футеровочных материалов.

Ключевые слова: горные машины, конусные дробилки, ресурс, усталостные трещины, износ, футеровочные материалы, ленточные конвейеры, приводной барабан, керамическая футеровка.

INCREASING THE DURABILITY OF FRICTION UNITS FOR MINING EQUIPMENT AND CONVEYOR TRANSPORT

*S. E. Ushanova*¹, Graduate Student, *E. Yu. Ziborova*¹, Graduate Student,

¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia e-mail: ud@msmu.ru.

Based on the analysis of statistical data on the causes of loss of performance of mining equipment, as well as a review of modern scientific and technical literature, the article identifies the main ways to solve the problem of increasing the durability of wear-out friction units of mining machines and conveyor transport. It is shown that one of the most important directions of development of works on this subject is the research and development of modern structural materials that have a high ability to resist intense mechanical and fatigue-mechanical wear. In particular, the possibility of increasing the durability of equipment based on the use of effective lining materials is considered.

Key words: mining machines, cone crushers, resource, fatigue cracks, wear, lining materials, belt conveyors, drive drum, ceramic lining.