

РЕЗУЛЬТАТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ МЕЛЬНИЦ ТИПА SAG, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ

Ибрагим Абульфас оглы Габибов¹,
h.ibo@mail.ru
Фамил Мейхош оглы Гамидов²,
Famil.hamidov@aimc.az
Парта Пратим Чакраборти³
Partha.chakraborty@tegaindustries.com

¹Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
Азербайджан, Баку
²Азербайджанская международная горнодобывающая компания
Азербайджан, Баку
³Tega Industries Limited
Индия, Западная Бенгалия, District Nadia, Кальяни

Актуальность работы обусловлена полной реконструкцией горнодобывающей промышленности Азербайджана. Введение в эксплуатацию в 2007 г. в западном регионе Азербайджана компании AIMC (Azerbaijan International Mining Company) стало серьезным шагом в деле реабилитации и переоборудования горнодобывающей промышленности страны. В настоящее время здесь установлены и работают 4 шаровые мельницы типа SAG и Ball, отличающиеся простотой эксплуатации и высокой эффективностью измельчения. В результате исследовательских работ было установлено, что основными причинами отказа оборудования являются износ и излом мелющих шаров, а также преждевременное разрушение рабочих поверхностей лифтеров. Следовательно, повышение износостойкости лифтеров и механических показателей мелющих шаров для мельниц является актуальной задачей.

Целью работы является обоснование выбора материала для футеровки рабочих поверхностей лифтеров и их толщины, определения эффективного значения угла подъема лифтеров, а также режимных параметров эксплуатации мельницы.

Методология исследования. Подробно изучена схема расположения подъемных лифтеров и геометрических параметров на эффективность работы мельницы, оценено влияние расстояния между подъемными площадками на эксплуатационные характеристики мельницы, так как большое расстояние приводит к быстрому истиранию футеровок при работе с твердой рудой.

Результаты. На основании многочисленных опытов и теоретических расчетов установлено, что угол размещения подъемных лифтеров, рекомендованных заводом-изготовителем, не всегда обеспечивает высокую производительность, поэтому было сделано предложение о его пересмотре. Установлено, что существующий материал для футеровки может быть применен при измельчении высокотвердых руд. Авторами для измельчения сульфидных руд с высокой твердостью предложено рабочие поверхности лифтеров футеровать специальным композиционным материалом на основе металлорезины.

Выводы. Для обеспечения высокой эффективности измельчения руды предлагается угол подъемного лифтера установить в пределах 18–20°. В качестве футерованного материала для покрытия рабочих поверхностей предложен новый металлорезиновый композитный материал.

Ключевые слова: мелющие шары; долговечность футеровки; лифтеры; угол подъема; интенсивность износа; скорость мельницы; руда; измельчение; шлифование; программа симуляции.

Введение Основанная в 2007 г., компания AIMC (Azerbaijan International Mining Company Limited – Азербайджанская международная горнодобывающая компания, – АМГДК) занимает первое место в стране по производству золота и медного концентрата, а также по их поставке. Компания функционирует в Гедебеке – западном регионе Азербайджана. Схема измельчения имеет тип SABC (SAG Mill/Ball Mill/Crusher). Обеспечение в основном состоит из щековой дробилки, мельницы типа SAG с диаметром 5 м, длиной 2,5 м и типа Ball с диаметром 4 м, длиной 5,82 м [1, 2].

Известно [3–5], что процессы дробления и измельчения отличаются высокими затратами электрической энергии. В некоторых случаях их доля составляет более половины (около 60–80 %) от общих затрат на обогащательных предприятиях. Следовательно, все работы, направленные на совершенствование техники и технологии процессов измельчения, снижение энергопотребления, являются актуальными.

Мельница SAG имеет переменный скоростной двигатель и открытую циркуляцию, а шаровая мельница имеет замкнутую циркуляцию и соединена с гидроциклоном. Производительность мельницы составляет 80–90 т/ч, а их рабочие поверхности покрыты резиновыми прокладками.

В 2013 г. на основе соглашения о взаимном сотрудничестве, подписанного с компанией Tega (Индия), АМГДК поставил вопрос о разработке путей улучшения производственного цикла в процессе измельчения. До этого времени индекс долговечности и продуктивности мельниц типа SAG был следующим (табл. 1).

Как видно из табл. 1, футерованные (резиновые) лифтеры функционировали соответственно 973 и 904 ч.

Анализ проблемы

В результате совместного анализа на мельнице SAG специалистами АМГДК и Tega определены следующие отказы.

1. Изнашивание лифтеров мельницы SAG интенсивное и неравномерное. В течение периода наблюдения (сроком 6

Таблица 1. Производительность мельницы SAG и долговечность футеровок.

Table 1. The performance of the SAG mill and the durability of the linings.

Производитель	Время работы, ч	Производительность, т	Твердость по шкале Мооса
Турция ФКК	973	80 855	3
Турция ФКК	904	79 092	3

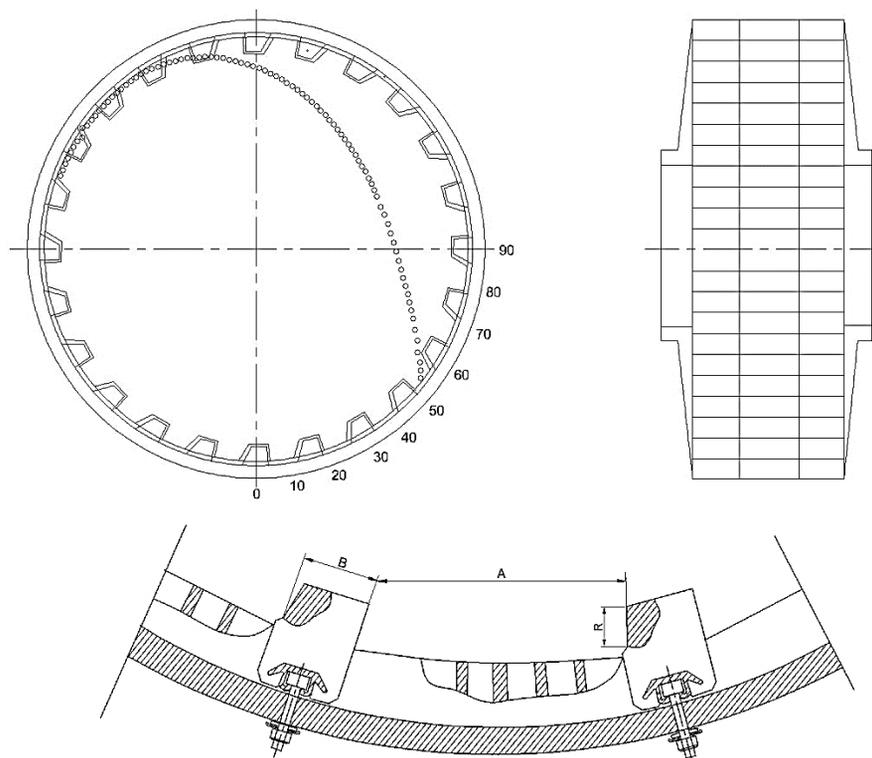


Рисунок 1. Принципиальная схема работы мельницы и укладка подкрепления МРКМ.

Figure 1. Schematic diagram of the operation of the mill and laying reinforcement metal rubber composite material (MRCM).

недель) было установлено, что износ первых рядов футерованных поверхностей составлял 55–60 %, второй ряд – 45–50 %, а третий – 75–80 %. Эти факторы приводят к частой замене лифтеров и, как следствие, к возникновению перерывов.

2. Очень важен правильный выбор посадочного угла подъемника мельницы SAG. Угол позиционирования на базе используемой мельницы конструктивно принимается 0° . Однако в результате непрерывных наблюдений, которые были определены в этом случае при перемещении траектории шаров, они не обеспечивают максимальной энергии удара в нужной точке.

3. Измельчение на мельницах SAG вообще не является удовлетворительным.

4. Отсутствие механизированных или автоматизированных средств для смены лифтеров затрудняет ручную обработку процесса. Это подтверждает важность ограничений веса при проектировании и подготовке лифтеров.

5. В соответствии с настоящей технологией мельницы типа SAG перерабатываемая руда после дробления отправляется в камеру хранения и смешивается с каменистыми и землистыми частицами. В Гедебеке руда подается непосредственно на мельницу SAG от щековой дробилки. Было определено, что золотосодержащие руды имеют большой Бонд-индекс (15–17 кВт/т), а основной запасов руды являются твердые сульфидные руды [6, 7].

6. Соотношение между расстоянием подъемных лифтеров и их высотой варьируется в интервале 1,85–2,01 в соответствии с действующими стандартами, и в зависимости от природы руды подкладка может быть В–В (высокой–высокой) и В–Н (высокой–низкой) вдоль конструкции. Было определено, что количество подъемных прокладок в мельнице SAG должно быть 28–30 шт. однако оно составляет 24 шт. С другой стороны, расчетное соотношение между соседними подъемниками и высотой $A/B = 3,16$, а то и выше.

7. Подъемные лифтеры на мельницах SAG также выполняют задачу по подъему шаров с орбиты, защищают и не позволяют им быстро изнашиваться. Расстояние между подъемной площадкой эксплуатационной SAG мельницы $A = 427$ мм. Это большое расстояние для мельницы SAG и оно приводит к быстрому истиранию футеровок при работе с твердой рудой.

Цель работы

Работа посвящена выбору материала для футеровки рабочих поверхностей лифтеров, определению оптимального значения угла их подъема.

Методы решения проблем

Обычно для защиты рабочих поверхностей мельниц применяются различные резины [8–10]. С целью решения этих проблем специалистами Teга и АМГДК была предложена новая технология производства металлорезинового композиционного материала (МРКМ) и ее применение для футеровки лифтеров мельницы SAG.

В настоящее время компания Teга Industries limited обслуживает более 500 промышленных мельниц по всему миру. С учетом применения нового композиционного материала были внесены изменения в конструкции лифтеров: на первом этапе была рассмотрена проблема регулирования толщины футеровок. Резиновые футеровки толщиной 75 мм были заменены композитным материалом МРКМ (металлорезиновый композиционный материал) с толщиной 90 мм.

Исследования проводились с учетом положительных результатов экспериментальной работы, вначале толщина покрытий МРКМ увеличена до 100 мм, а затем до 130 мм.

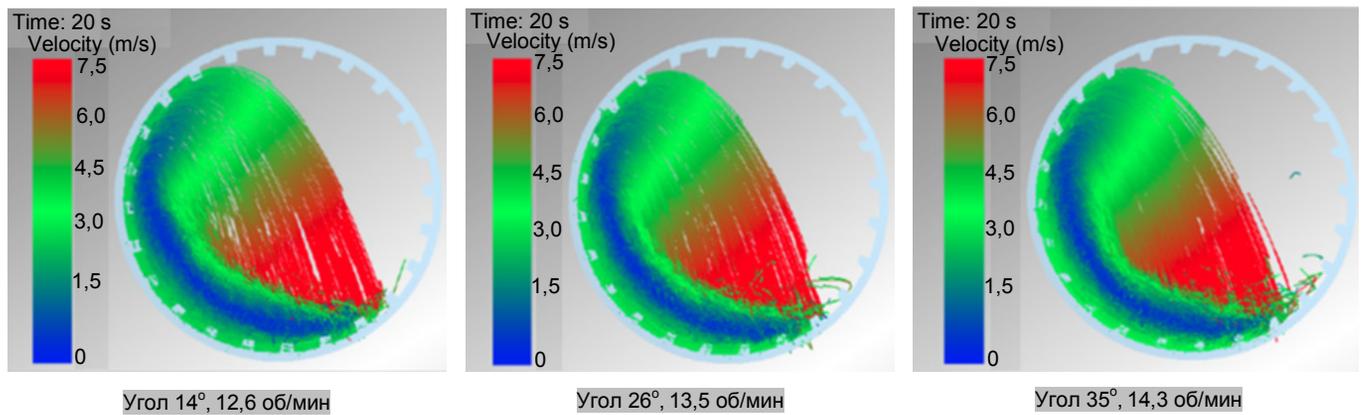


Рисунок 2. Моделирование процесса измельчения.
Figure 2. Modeling of grinding process.

В результате испытаний было установлено, что эффективность процесса измельчения в значительной степени зависит от правильного определения угла подъемных лифтеров.

Согласно рекомендациям завода-изготовителя, размеры подъемного лифтера были приняты 210 × 250 мм (толщина и высота), размер угла, создаваемого вдоль радиуса, – 26°. Далее с целью улучшения условия эксплуатации и увеличения выхода продукции нами были сделаны некоторые корректировки. В частности, на втором этапе ширина и степень подъема лифтеров были оставлены без изменения, а высота увеличена с 250 до 275 мм, чтобы повысить производительность и снизить затраты на энергию. На третьем этапе ширина была зафиксирована, высота поднята с 275 до 325 мм, степень была изменена с 26° до 14°. В этом случае наблюдалось увеличение производительности, продолжительности эксплуатации мельницы и снижение затрат на энергию. Наилучшие результаты были получены при значениях угла подъемного лифтера в пределах 18°–20°.

С целью уменьшения неравномерности износа лифтеров во время разгрузки площадь сетки во вставках была со временем изменена. Согласно долгосрочным результатам, было предложено использовать 210–325 YESP для подъемного лифтера и РМ 130 (толщина 130 мм) для самого лифтера. Когда угол, образованный вдоль радиуса подъемного лифтера, составляет 26°, соотношение между расстоянием А между лифтером и высотой подъемного лифтера В уменьшается до $A/B = 2,4$.

Принципиальная схема работы мельницы и укладка подкрепления МРКМ приведена на рис. 1.

В одном направлении улучшение работы было связано с определением угла позиционирования подъемного лифтера. Здесь был установлен градус размещения подъемного лифтера серии 210 YTSP до 14°, а их монтажная система идеально настроена. В результате исследований было установлено, что три ряда расположения на оболочке несут дифференциальный характер износа. По этой причине было предложено и реализовано разнообразие конструкций футеровки над оболочкой. В то же время были применены новые выходные решетки.

Известно, что в процессе эксплуатации степень размещения подъемных лифтеров играет важную роль в правильном определении траектории удара шаров. С этой точки зрения скорость мельницы определялась при 12,6 циклах в минуту для идеального хранения траектории удара на первой стадии подъемных лифтеров с угла 14°. В ходе работы 24 ряда подъемных лифтеров мельницы в каждом цикле интенсивно ударяют продукт, двигаясь по траектории и поднимая шары. Однако, поскольку производительность не была полностью реализована во время прокатки, количество периодов увеличилось на 13,1 раза/мин, когда размер подъемного лифтера был увеличен до 20°. В нормальных условиях эксплуатации, в результате продолжительных исследований для поддержания стабильной траектории удара, соответствующей износу, цикл вращения мельницы увеличивался до 14,3 об/мин. Оптимальность процесса была показана на программе симуляции (рис. 2). При этом использовали методику, приведенную в [11, 12].

На рис. 3 показаны эффективность производительности во время наблюдения (01.05.2015–31.05.2017) и изменение энергии [13], используемой для измельчения 1 т руды на установке типа SAG. Из-за снижения производительности за счет сульфидных руд в минеральных ресурсах предлагается, чтобы работа второй мельницы SAG осуществлялась в технологических мерах предосторожности [14]. Вначале SAG-1 был оснащен 100-миллиметровыми шарами, а в SAG-2 имеются шары 125 мм, изготовленные в соответствии с технологией [15].

Работая с этой же рудой, он предоставил возможность сравнения работы шаров 100 и 125 мм на SAG мельницах, а сравнительные результаты приведены в табл. 2.

Как показано в табл. 2, количество продукта тонкого измельчения в мельнице с размером шаров 100 мм выше, чем у другого. Если измельчительная способность мельницы (80 % конечного продукта меньше 75 мкм) после SAG является удовлетворительной, то для увеличения производительности рекомендуется использовать SAG мельницу с шарами 125 мм.

Таблица 2. Сравнение показателей эффективности работы шаров.
Table 2. A comparison of the performance of the balls.

Мельница	Производительность, т/ч	Твердость по шкале Мооса	Мощность, кВт · ч	Размеры шаров, мм	Размер выходного продукта SAG, мкм		
					$x > 500$	$150 < x < 500$	$x < 150$
SAG-1	80	4 и 5	554	100	19,08	28,82	52,1
SAG-2	87	4 и 5	550	125	31,17	24,67	44,16

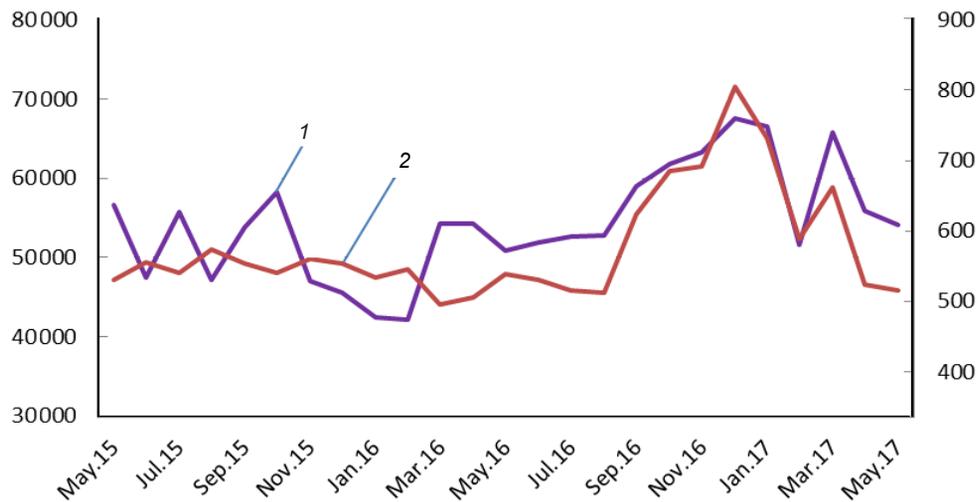


Рисунок 3. Плодовитость из-за изменения коэффициента жесткости руды во время наблюдения, график изменения энергии, используемый для измельчения 1 т руды на мельнице. 1 – количество сухой руды, т; 2 – количество энергии, потребляемой для измельчения, кВт/ч.

Figure 3. Fertility due to changes in ore hardness factor during observation, the energy change graph used for grinding 1 ton of ore at the mill.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований было определено следующее:

- целесообразно в качестве футеровки на мельницах использовать металлорезиновый композитный материал (МРКМ) для измельчения сульфидных руд с высокой твердостью;
- для обеспечения высокой эффективности измельчения руды предлагается угол подъемного лифтера установить в пределах 18–20°.
- использование шаров 100 и 125 мм на мельницах SAG одинакового размера и параметров определило, что производительность шаровой мельницы 125 мм на 9 % выше, чем шаровой мельницы 100 мм. Однако процентная ставка руды до 150 мкм была на 8 % меньше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамидов Ф. М., Габиров И. А. Анализ интенсивности износа частей мельниц, используемых в горнодобывающей промышленности Азербайджана. Баку: НИИ «Геологические проблемы нефти, газа и химия», 2015. Ч. XVI. С. 282–287.
2. Cho H., Kwon J., Kim K., Mun M. Optimum choice the make-up ball sizes for maximum throughput in tumbling ball mills // Powder technology. 2013. Vol. 246. P. 625–634.
3. Шевчук В. П. Обеспечение работоспособности электрических машин в горнодобывающей промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2005. 23 с.
4. Cleary P. W. Axial transport in dry ball mill // Applied Mathematical Modelling. 2006. Vol. 30. P. 1343–1355.
5. Katubilwa F. M., Moys M. H. 2009, Effect of ball size distribution on milling rate // Minerals Engineering. Vol. 22, issue 15. P. 1283–1288.
6. Абдуллаева Ш. Ф., Исмаилова А. М., Керимли У. И. Типы золоторудных и золотосодержащих месторождений и их основные особенности // Вестник Бакинского университета. 2010. № 2. С. 129–132.
7. Баба-заде В. М., Мусаев Ш. Д., Насибов Т. Н. и др. Золото Азербайджана. Баку: Азербайджан Милли Энциклопедия, 2003. 434 с.
8. Стихин А. Ю., Ялухин В. А. Резиновая футеровка – современный материал для защиты сырьевых мельниц от износа // Цемент и его применение. 2013. № 4. С. 85–86.
9. Масленников В. Г., Стихин А. Ю. Применение резиновой футеровки для сырьевых и цементных мельниц // Цемент и его применение. 2011. № 3. С. 126.
10. Хахалев П. А., Богданов В. С., Ельцов М. Ю. Влияние конструктивных параметров лифтеров футеровки ТШМ на процесс измельчения // Мир цемента. 2013. № 3. С. 60–63.
11. Mishra B. K. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part I. Contact mechanics // International Journal of Mineral Processing. 2003. Vol. 71. P. 73–93.
12. Mishra B. K. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part II. Practical applications // International Journal of Mineral Processing. 2003. Vol. 71. P. 95–112.
13. Weerasekara N. S., Powell M. S. The New Energy Logging from the Discrete Element Method // Proceedings CSRP'08 2nd annual conference. November. Brisbane, Queensland, Australia, 2008. P. 18–19.
14. Боярских Г. А., Боярских К. Г. Надежность горных машин и оборудования. Екатеринбург: УГГУ, 2009. 116 с.
15. Бабанлы М. Б., Гусейнов Б. Г., Гафаров Н. А., Габиров И. А., Гамидов Ф. М. Способ производства стальных мелющих шаров: пат. 0064 Азербайджанской Республики. № 1. 2017.

Статья поступила в редакцию 30 февраля 2018 г.

Results of improvements of the type SAG mills, used in the Azerbaijan International Mining Company

Ibragim Abul'fas ogly Gabibov¹,
h.ibo@mail.ru

Famil Meykhosh ogly Gamidov²,
Famil.hamidov@aimc.az

Partha Pratim Chakraborty³
Partha.chakraborty@tegaindustries.com

¹Azerbaijan State University of Oil and Industry
Baku, Azerbaijan

²Azerbaijan International Mining Company Limited
Baku, Azerbaijan

³Tega Industries Limited
Kalyani, District Nadia, West Bengal, India

The relevance of the work is conditioned by the complete reconstruction of the mining industry in Azerbaijan. The commissioning of the AIMC (Azerbaijan International Mining company) in the Western region of Azerbaijan in 2007 was a significant step in the rehabilitation and re-equipment of the country's mining industry. Nowadays the 4 ball mill type SAG and Ball have been installed and are in operation. They are easy to operate and possess a high grinding efficiency. As a result of research it was found that the main causes of equipment failure are wear and tear grinding balls, as well as premature destruction of the working surfaces of lifters. Therefore, improving the wear resistance of lifters and mechanical performance of grinding balls for mills is an urgent task.

The purpose of this work is to substantiate the material selection for lining of working surfaces of the lifters and their thickness. To determine the effective value of the angle of elevation of the lifters, as well as the operating parameters of the operation of the mill is also one of the goals of the present research.

Research methodology. The scheme of location of the lifting elevators and geometrical parameters on the efficiency of the mill has been studied in detail. The influence of the distance between the lifting pads on the performance of the mill has been evaluated. Large distances lead to rapid abrasion of the linings in hard ore.

Results. On the basis of numerous experiments and theoretical calculations it was found that the angle of placement of lifting elevators, recommended by the manufacturer, does not always provide a high performance. Therefore, a proposal was made to revise it. It is established that the existing lining material can be used in the grinding of high-hard ores. The authors for the grinding of sulphide ores with high hardness of the working surface of the lifters to line special composite material with refractory bricks on the basis of the metal rubber.

Summary. To ensure high efficiency of ore grinding, it is proposed to install the angle of the lifting elevator within 18–20°. A new metal-rubber composite material is proposed as a lined material for covering working surfaces.

Keywords: grinding balls; lining durability; lifters; lifting angle; wear intensity; mill speed; ore grinding; grinding; simulation program.

REFERENCES

- Gamidov F. M., Gabibov I. A. 2015, Analysis of wear rate of parts of mills used in mining industry of Azerbaijan. Part XVI. Baku, pp. 282–287.
- Cho H., Kwon J., Kim K., Mun M. 2013, Optimum choice the make-up ball sizes for maximum throughput in tumbling ball mills. *Powder technology*, vol. 246, pp. 625–634.
- Shevchuk V. P. 2005, *Obespecheniye rabotosposobnosti elektricheskikh mashin v gornodobyvayushchey promyshlennosti: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Ensuring the efficiency of electrical machines in the mining industry: a synopsis of the dissertation of a candidate of technical sciences]. Tomsk, 23 p.
- Cleary P. W. 2006, Axial transport in dry ball mill. *Applied Mathematical modeling*, vol. 30, pp. 1343–1355.
- Katubilwa F. M., Moys, M. H. 2009, Effect of ball size distribution on the milling rate. *Minerals Engineering*, vol. 22, issue 15, pp. 1283–1288.
- Abdullayeva Sh. F., Ismailova A. M., Kerimli U. I. 2010, *Tipy zolotorudnykh i zolotosoderzhashchikh mestorozhdeniy i ikh osnovnyye osobennosti* [Types of gold ore and gold deposits and their main features]. *Vestnik Bakinskogo universiteta* [Baku University bulletin], no. 2, pp. 129–132.
- Baba-Zadeh V. M., Musayev Sh. D., Nasibov T. N. and others. 2003, *Zoloto Azerbajjana* [Gold of Azerbaijan]. Baku, 434 p.
- Stikhin A. Yu., Yalukhin V. A. 2013, *Rezinovaya futerovka – sovremennyy material dlya zashchity syryevykh mel'nits ot iznosa* [Rubber lining is a modern material for the protection of raw mills against deterioration]. *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its applications], no. 4, pp. 85–86.
- Maslennikov V. G., Stikhin A. Yu. 2011, *Primeneniye rezinovoy futerovki dlya syryevykh i tsementnykh mel'nits* [Application of rubber lining for raw mills and cement]. *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its applications], no. 3, p. 126.
- Khakhalev P. A., Bogdanov V. S., El'tsov M. Yu. 2013, *Vliyaniye konstruktivnykh parametrov lifterov futerovki TShM na protsess izmel'cheniya* [The influence of structural parameters of the lifters of the lining of tee shaft couplings on grinding process]. *Mir tsementa* [The world of Cement], no. 3, pp. 60–63.
- Mishra B. K. 2003, A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part I. Contact mechanics. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 71, pp. 73–93.
- Mishra B. K. 2003, A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part II. Practical applications. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 71, pp. 95–112.
- Weerasekara N. S., Powell M. S. 2008, The New Energy Logging from the Discrete Element Method. *Proceedings CSRP'08 2nd annual conference*. November. Brisbane, Queensland, Australia, pp. 18–19.
- Boyarskikh G. A., Boyarskikh K. G. 2009, *Nadyozhnost' gornykh mashin i oborudovaniya* [Reliability of mining machinery and equipment]. Ekaterinburg, 116 p.
- Babanly M. B., Huseynov B. G., Gafarov N. A., Gabibov I. A., Gamidov F. M. 2017, *Sposob proizvodstva stal'nykh molyushchikh sharov* [Method of producing steel grinding balls]. Patent AZ no. 0064.

The article was received on February 30, 2018