

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА КНК-270 НАВОИЙСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Л.Н. Атакулов¹, О.Е. Шешко²

¹ Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан

² ИЭУП НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: osheshko@mail.ru

Аннотация: Развитие карьеров происходит за счет ведения горных работ на больших глубинах, что приводит к увеличению глубины карьеров и росту дальности транспортирования горной массы. На карьере «Мурунтау» Навоийского горно-металлургического комбината применили циклично-поточную технологию, установив подъемные ленточные конвейеры, что позволило снизить затраты на транспортирование и вредное воздействие автомобильного транспорта на экологию рабочей зоны карьера. С ростом глубины был установлен крутонаклонный ленточный конвейер (КНК-270). При этом за год карьер «Мурунтау» получил экономию 2,7 млн долл. Дальнейшее повышение эффективности транспортирования должно быть за счет снижения эксплуатационных затрат на конвейер, повышение качества обслуживания, снижения его простоев, сокращения технологических потерь, оптимизации расходов на материалы и др. Как показал анализ, у КНК-270 более 30% общих простоев обуславливают неполадки с конвейерной лентой. В Навоийском государственном горном институте разработан «дефектоскоп-разрывоискатель» для контроля состояния тросов конвейерной ленты и предотвращения ее порывов. Экспериментальным путем было определено разрывное усилие стыка, предлагаемого институтом, и существующего на карьере. Установлено, что предлагаемый метод стыка имеет разрывное усилие в 2 раза больше, чем существующий, срок его службы предполагается в 2 раза больше. Установлено, что за счет использования «дефектоскопа-разрывоискателя» в течение года можно снизить затраты на стыковочные материалы в размере 12 700 долл. и получить прибыль за счет дополнительно добытой руды более 3 млн долл.

Ключевые слова: обрыв ленты, метод стыковки, дефектоскоп, снижение себестоимости, затраты, время простоев, эффективность.

Для цитирования: Атакулов Л. Н., Шешко О. Е. Повышение экономической эффективности работы крутонаклонного конвейера КНК-270 Навоийского горно-металлургического комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 181–188. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-181-188.

Improvement of economic efficiency of the high-angle conveyor KNK-270 at Navoi Mining and Metallurgical Combinat

L.N. Atakulov¹, O.E. Sheshko²

¹ Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan

² Institute of Economics and Management of Industrial Enterprises, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia, e-mail: osheshko@mail.ru

Abstract: Open pit mining develops currently through extensive operations at greater depths, which results in an increase in depth of open pit mines and in haulage distance. As a consequence, economic problems aggravate and transportation cost rises. One of the ways out is transition to cyclical-and-continuous method in this case. Muruntau open pit mine of Navoi Mining and Metallurgical Combinat adhered to this solution by installing elevating belts, which enabled reduction in transportation cost and mitigation of ecological impact exerted by dump trucks on working area. Expenditures yet grew with an increase in the depth of mining though much slower. Later on, a high-angle conveyor (KNK-270) was installed in the open pit mine, which was the largest conveyor in the world. Muruntau mine has saved \$ 2.7 million. Further improvement of transportation efficiency should be reached through reduction in operating cost of the conveyor, enhancement of its maintenance quality, decrease in downtime, abridgement of in-process loss, optimization of expenses on materials, etc. From the analysis, with KNK-270, more than 30% of overall downtime is governed by belt faults. Basically, this time is spent for trouble shooting, belt mating and installation of a new belt instead of worn-out. For the belt monitoring, the Navoi State Mining Institute has designed a defect detector–rupture finder to control ropes and belt tears. The article shows that the Navoi State Mining Institute has examined the belt mating technique and proposed a new approach to this effect. The strength of the belt joint made by the Institute’s method and by the technique employed in the open pit mine is determined experimentally. It is found that the proposed method of belt mating allows twice as high strength as the current technique as well as twice as long life. Finally, it is determined that using the defect detector–rupture finder to prevent belt tears and the proposed method of rubber belt mating allows cutting down expenses on coupling materials in amount of \$ 12700 within a year and realizing profit in amount of more than USD 3 million owing to incremental production of ore.

Key words: belt tearing, mating method, defect detector, cost reduction, expenses, downtime, efficiency.

For citation: Atakulov L. N., Sheshko O. E. Improvement of economic efficiency of the high-angle conveyor KNK-270 at Navoi Mining and Metallurgical Combinat . *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2019;5:181-188. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-181-188.

Современный этап развития открытого способа разработки характеризуется ведением горных работ на больших глубинах. Увеличение глубины карьеров приводит к росту объемов и дальности транспортирования вскрышных пород и руд. При этом резко обостряются экономические проблемы разработки месторождений, которые на современном этапе развития приобретают особое значение, так как основной задачей предприятий является достижение максимальной прибыли при безопасной эксплуатации.

Снижение производственных затрат за счет экономии энергоресурсов, сокращение технологических потерь, оптимизация расходов на материалы и снижение себестоимости продукции стали определяющими факторами предприятий.

Наиболее эффективным способом повышения производительности с одновременным снижением затрат предприятия, при интенсивном наращивании глубины карьера, является частичная замена автомобильного транспорта ресурсосберегающей циклично-поточной технологией (ЦПТ), в том числе и с использованием крутонаклонных конвейеров (КНК) [1, 2]. Сегодня по этому пути идут многие карьеры мира, так как автомобильный транспорт имеет самую высокую энергоемкость (коэффициент полезного использования энергии (η) автомобильным транспортом не превышает 6,5–7,5%) и степень загрязнения окружающей среды.

Менее энергоемким и экологически безопасным является железнодорожный транспорт, соответственно, коэффициент

полезного использования энергии $\eta_3 = 8-10\%$, но ограничена величина подъема пути, значительные радиусы поворота и площади, занимаемые станциями, разъездами, ограничивают целесообразность его применения в глубоких карьерах. Железнодорожному транспорту не уступает конвейерный, который даже с учетом требований к размеру транспортируемого куска и необходимости дробления горной массы имеет $\eta_3 = 14,6-19,5\%$ [3].

Представляет интерес рост себестоимости добычи карьера «Мурунтау» Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК) с увеличением глубины разработки и изменением транспортной системы, рис. 1 [4].

Как видно на рис. 1, с ростом глубины карьера себестоимость руды при автомобильном транспорте возрастает,

и примерно на глубине 150–180 м рост становится резким. Примерно на этой же глубине концентрация вредных веществ в рабочей зоне карьера от выбросов автомобильного транспорта достигает предельных значений, считая долю загрязнений воздушной среды, приходящуюся на транспортирование руды, равной 30% (рис. 2). Для решения этой проблемы спроектирован и введен на карьере автомобильно-конвейерный транспорт (с традиционными конвейерами).

При автомобильно-конвейерном транспорте себестоимость сначала резко падает, а далее тоже растет по мере увеличения глубины, но более медленно. При этом загрязнения воздушной среды от конвейерного транспорта практически не происходит. Таким образом, решалась и экономическая проблема, и экологическая.

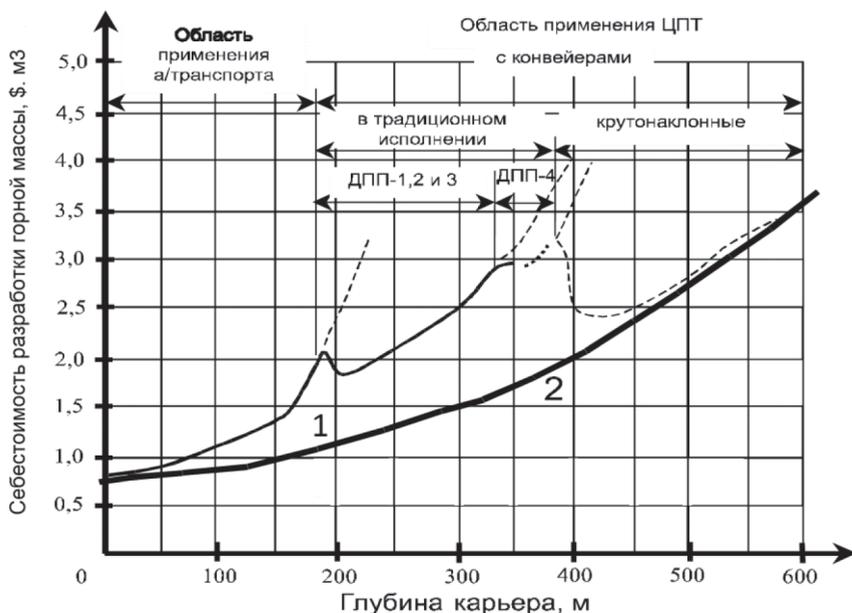


Рис. 1. Зависимость себестоимости транспортирования руды от увеличения глубины карьера: 1 — сплошная линия (фактическая себестоимость), пунктирная линия (прогнозируемая); 2 — прогнозируемая себестоимость при раннем переходе на крутонаклонный конвейер; ДПП-1, 2 и 3, ДПП-4 — дробильно-перегрузочные пункты соответственно 1, 2, 3, 4

Fig. 1. Dependence of cost of transportation of ore with increase in depth of an open pit: 1 — the continuous line (actual cost), the dashed line (predicted); 2 — the predicted cost upon early transition to the high angle conveyor; CRP-1.2 and 3, CRP-4 — crushing reloading points respectively 1, 2, 3, 4

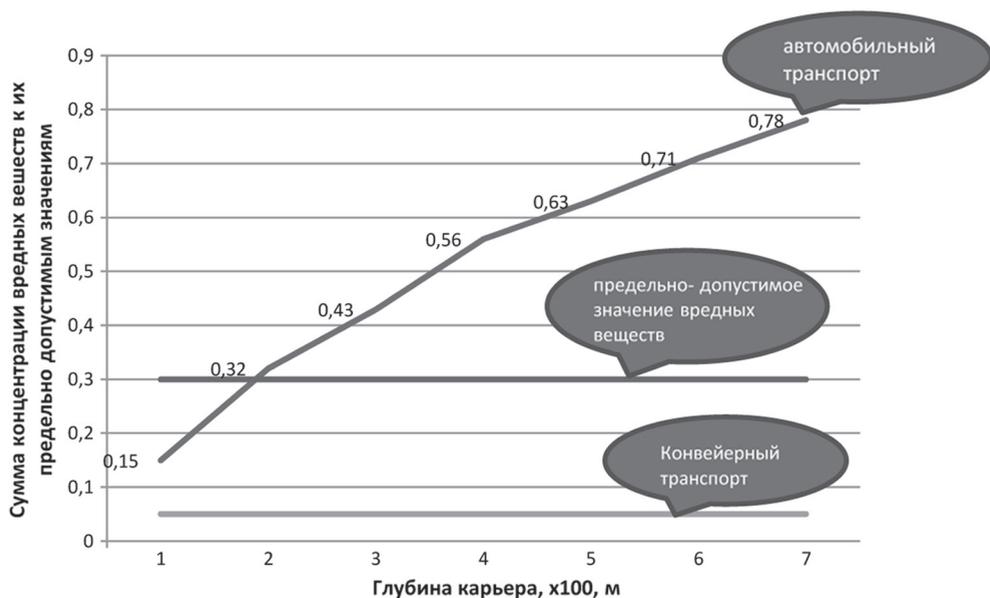


Рис. 2. Изменение суммы концентрации вредных веществ в рабочей зоне карьера к их предельно допустимым значениям для автомобильного и конвейерного транспорта

Fig. 2. Change of the sum of concentration of harmful substances in the working area of open pit to their maximum permissible values for automobile and conveyor transport

На глубине карьера 340–380 м наблюдается второй всплеск повышения себестоимости, и далее опять идет ее снижение при вводе в эксплуатацию крутонаклонного конвейера. Рост себестоимости с увеличением глубины в этом случае тоже происходит, но более медленнее, чем при традиционных конвейерах.

Введение в эксплуатацию крутонаклонного конвейера КНК-270 на карьере «Мурунтау» (самого крупного в мире крутонаклонного конвейера) позволило сэкономить в 2012 г. НГМК 2,7 млн долл. США за счет уменьшения затрат на со-

держание парка автосамосвалов (горюче-смазочные материалы, топливо, запасные части и т.п.) [4].

Вместе с тем конвейерная линия с КНК-270 представляет собой нерезервируемую систему, работа спланирована в непрерывном режиме, при котором сколько-нибудь длительные простои уникального высокопроизводительного транспортного средства обуславливают экономические потери. Анализ неисправностей при транспортировании руды на карьере «Мурунтау» и сбор информации о работе крутонаклонных конвейеров на

Соотношение причин возникновения простоев конвейерной линии КНК-270

Correlation of the causes of downtime of conveyor КНК-270 line

Причины простоев	%, отобщего числа простоев
Неисправности механической части	26,37
Повреждение ленты	33,02
Неисправности электрической части	5,39
Осмотр оборудования текущий и плановые ремонты	32,54
Случайные причины	2,68

глубоких карьерах за рубежом позволили установить причины возникновения простоев КНК-270 и их частоту (таблица), найти резервы снижения затрат на эксплуатацию комплекса.

Как видно из таблицы, одной из главных причин выхода из строя КНК-270 является повреждение резиновых лент, а сокращение времени на обнаружение ее неисправностей, предотвращение их и увеличение срока службы стыкового соединения являются одним из резервов повышения производительности и снижения затрат комплекса КНК-270.

На данном этапе на крутонаклонном конвейере КНК-270 применяются резиновые ленты японской фирмы «Yokohama» двух типов:

- 2000 St-5400 — грузонесущий контур;
- 2000 St-3500 — прижимной контур.

Проблемой неразрушающего контроля состояния конвейерных лент, в том числе и резиновых, занимаются многие известные зарубежные фирмы с конца прошлого столетия. Современные системы контроля конвейерной ленты обеспечивают непрерывное наблюдение за состоянием верхней и нижней обкладок конвейерной ленты, ее каркаса, тросов и стыков, а также некоторых других параметров конвейеров [5–8].

В целях снижения затрат на импортное оборудование в Навоийском государственном горном институте (Узбекистан) разработан «дефектоскоп-разрывоискатель» (рис. 3) для контроля состояния тросов [9]. В комплект собранного дефектоскопа входит две установки, первая — создающая электромагнитное поле, вторая — принимающая сигнал магнитной индукции взаимодействия тросов с катушкой. Дефектоскоп позволяет не только обнаруживать место разрыва ленты, но и предупреждать разрыв, контролируя состояние тросов.

Расходы на сборку «дефектоскопа-разрывоискателя», по данным разработчиков составляют ≈ 2500 долл., это позволяет сделать вывод о его быстрой окупаемости.

Для повышения долговечности стыка резиновой ленты в Навоийском государственном горном институте разработан новый метод стыковки, основанный на отделении тросов от резины; раскрутка их на пряжи и сплетение тросов по определенной схеме перед вулканизацией.

Перед имеющимися аналогами стыковки резиновых лент предлагаемый вариант имеет существенное преимущество — места стыковки тросов по диаметру идентичны с заводскими параметрами [10]. Эксперименты, прове-

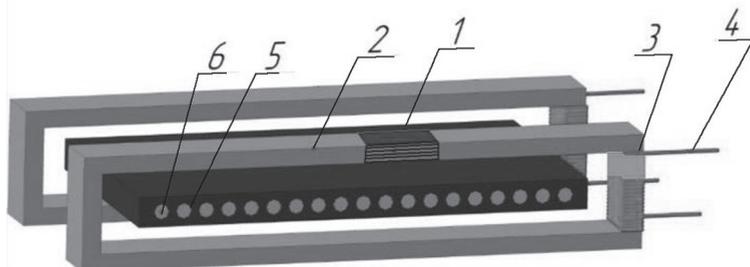


Рис. 3. Схема разработанного «дефектоскопа-разрывоискателя»: 1 — стальные пластины (внутренний корпус), 2 — корпус станда, 3 — изолирующий материал, 4 — медная обмотка, 5 — резиновая лента, 6 — тросы ленты

Fig. 3. Scheme of the worked out defectoscope-break up finder: 1 — steel plates (the internal case), 2 — the case of the stand, 3 — isolating material, 4 — copper winding, 5 — steel-cable belt, 6 — cables of a belt

денные на образцах ленты со стыковкой ее по существующему методу, показали, что при усилии в 240 кН на ленте образовались трещины, а при увеличении нагрузки до 270 кН произошел полный разрыв образца.

При испытаниях стыка по разработанному методу с достижением максимально возможной нагрузки машины Р-50 в 500 кН, трещин и других дефектов на образце ленты обнаружено не было. Поэтому можно предположить, что прочность стыка увеличивается более чем в 2 раза.

Сравнение разрывного усилия тросов, состыкованных по предлагаемой схеме, с целыми показало, что первое составляет 70% от второго. Значит, можно полагать, и срок службы предлагаемого варианта стыковки будет иметь соответственно 70% от срока службы ленты, а существующий вариант — 35%.

Рядом институтов на основе обработки большого числа данных о сроках службы лент предложены формулы, определяющие эти сроки в зависимости от размера среднего куска груза, его абразивности, насыпной плотности, высоты падения груза при погрузке. При этом для тяжелых абразивных грузов рекомендуют срок службы $T = 5-6$ лет [11, 12]. Это предполагает, что срок службы стыков при существующем варианте стыковки составит $T_{ст} = 0,35 \cdot T = 1,75 \div 2$ года, а предлагаемом — $T_{ст} = 0,7 \cdot T = 3,5 \div 4$ года, что обуславливает значительную экономию средств предприятия.

Во-первых, на КНК-270 имеется 12 стыков грузонесущей ленты и 6 стыков прижимной ленты. В течение срока службы (при существующем методе стыковки) необходимо, как минимум 2 раза переделывать стыки на ленте и еще 1 раз при замене на новую ленту. Учитывая, что стоимость стыковочных материалов равна ≈ 4400 долл., затраты на материал составят $3 \cdot (12 + 6) \cdot 4400 = 237\,600$ долл.

В случае применения предлагаемого метода стыковки за этот же срок нужно будет 1 раз переделать стыки и 1 раз при замене ленты, то есть затраты составят $2 \cdot (12 + 6) \cdot 4400 = 158\,400$ долл.

Таким образом, только на приобретение дополнительных стыковочных материалов (без учета трудозатрат) будет сэкономлено 76 200 долл. в течение 6 лет, что в год составит 12 700 долл.

Во-вторых, время, затрачиваемое на стыковку резинотросовых лент по существующему методу, составляет 36 ч, а по предлагаемому методу — 44 ч, что на 8 ч больше существующего. Но за 6 лет время на стыковку по предлагаемому методу составит $2 \cdot 44 \cdot 18 = 1584$ ч, а по существующему $3 \cdot 36 \cdot 18 = 1944$ ч, то есть меньше на 360 ч.

КНК-270 имеет техническую производительность 3500 т/ч, поэтому при уменьшении простоев количество дополнительно транспортируемой руды (при коэффициенте готовности линии, $k_r = 0,85$) составит $0,85 \cdot 3500 \cdot 360 = 1\,071\,000$ т. С учетом содержания полезного компонента 1–2 г в 1 т руды, получим как минимум 1 071 000 г дополнительно добытого металла.

При стоимости 1 г золота на сегодняшний день около 17 долл., дополнительная прибыль предприятия за 6 лет составит $1\,071\,000 \cdot 17 = 18\,207\,000$ долл., за год — 3 034 500 долл.

Дальнейшее совершенствование методов эксплуатации и ремонта уникального конвейерного комплекса позволит еще более существенно повысить его эффективность. Это применение энерго-сберегающих лент,

Современных, более эффективных систем мониторинга конвейерных лент, передающих информацию о состоянии таких элементов конвейерной ленты как обкладки, борта, тросы, стыки, повышение качества обслуживания и т.д. [13, 14].

Заключение

Использование разработанного в Навоийском государственном горном институте метода стыковки резиновых лент и дефектоскопа для предотвра-

щения порывов ленты в течение года позволит снизить затраты на стыковочные материалы в размере 12 700 долл. и получить прибыль за счет дополнительно добытой руды более 3 млн долл. США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sandwich Belt High Angle Conveyor for...Mining & In Pit Crushing Conveying*. 2017. URL: <http://bevconwayors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/> (дата обращения: 12.12.2018).
2. *Dos Santos J. A. Sandwich Belt High Angle Conveyors Coal Mine to Prep Plant and Beyond / Proceedings of the XVIII International Coal Preparation Congress*. Cham: Springer International Publishing, 2016. Pp. 111–118.
3. *Шешко О. Е.* Сравнительная оценка природоемкости карьерных автосамосвалов и дизель-троллейбусов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 6. — С. 119–125.
4. *Санакулов К. С., Умаров Ф. Я., Шеметов П. А.* Снижение затрат в глубоких карьерах на основе применения крутонаклонного конвейера в составе комплекса ЦПТ // Горный журнал. — 2013. — № 1. — С. 8–12.
5. *Эффективная система мониторинга для конвейерных лент компании Conti Tech*. Conti Tech Transportbandsystem GmbH D-37154 Norten, Germany, 2014, pp. 1–8. IJRD7843.pdf.
6. *Mumtaj S., Dhamodharan K., Hari Prasad K., Kamesh Gautham B.* Automatic control and protection of Coal Conveyor System using PIC, *Annals of Civil and Environmental Engineering*. 04 May 2018. p/1–10/ Hegtten Science, DOI: 10.29328/journal. acee. 1001009. ISSN 2574-0350.
7. *Keerthika R., Jagadeeswari M.* Coal Conveyor Belt Fault Detection and Control in Thermal power plant using PLC and SCADA. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* Vol. 4 Issue 4, April 2015.
8. *Галкин В. И.* Оценка систем мониторинга состояния конвейерных лент для горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 3. — С. 166–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-166-174.
9. *Атакулов Л. Н., Тошов Ж. Б., Кахаров С. К., Хайдаров Ш. Б.* Метод обнаружения обрыва резиновых лент в местах их стыковки // Горный вестник Узбекистана. — 2018. — № 3. — С. 61–64.
10. *Атакулов Л. Н., Кахаров С. К., Хайдаров Ш. Б.* Выбор оптимального метода стыковки резиновых конвейерных лент // Горный журнал. — 2018. — № 9. — С. 97–99.
11. *Конвейерные ленты для наклонных подъемников* <http://ctcmetar.ru/transport-glubokih-karerov/8961-konveyernye-lenty-dlya-naklonnyh-podemnikov.html>, 2017
12. *Полунин В. Т., Гуленко Г. Н.* Эксплуатация мощных конвейеров. — М.: Недра, 1986. — 344 с.
13. *Галкин В. И., Сазанкова Е. С.* Конструктивные особенности резиновых лент для ленточных конвейеров в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 5. — С. 172–179.
14. www.qbelts.ru/catalog/.../steel_cord_conveyor_belts_stahlcord/ резиновые конвейерные ленты STAHLCORD®. 

REFERENCES

1. *Sandwich Belt High Angle Conveyor for...Mining & In Pit Crushing Conveying*. 2017. URL: <http://bevconwayors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/> (accessed: 12.12.2018).
2. *Dos Santos J. A. Sandwich Belt High Angle Conveyors Coal Mine to Prep Plant and Beyond. Proceedings of the XVIII International Coal Preparation Congress*. Cham: Springer International Publishing, 2016. Pp. 111–118.

3. Sheshko O.E. Comparative assessment of environmental capacity of dump trucks and diesel electric trucks. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 6, pp. 119–125. [In Russ].
4. Sanakulov K. S., Umarov F. YA., Shemetov P. A. Cost reduction in deep open pits on the basis of use of the high angle conveyor as a part of the in-pit crushing and conveying system (PCCS). *Gornyy zhurnal*. 2013, no 1, pp. 8–12. [In Russ].
5. The effective system of monitoring for conveyer belts of the company Conti Tech. *Conti Tech Transportbandsystem GmbH D-37154 Norten, Germany*, 2014, pp. 1–8. IJRD7843.pdf.
6. Mumtaj S., Dhamodharan K., Hari Prasad K., Kamesh Gautham B. Automatic control and protection of Coal Conveyor System using PIC, *Annals of Civil and Environmental Engineering*. 04 May 2018. p/1–10/ Heghten Science, DOI: 10.29328/journal. acee. 1001009. ISSN 2574-0350.
7. Keerthika R., Jagadeeswari M. Coal Conveyor Belt Fault Detection and Control in Thermal power plant using PLC and SCADA. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* Vol. 4 Issue 4, April 2015.
8. Galkin V.I. Evaluation of monitoring systems of state of conveyor belts for the mining industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019, no 3, pp. 166–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-166-174.
9. Atakulov L. N., Toshov Zh. B., Kakharov S. K., Khaydarov Sh. B. A break detection method of the steel-cable belts in places of their joining. *Gornyy vestnik Uzbekistana*. 2018, no 3, pp. 61–64. [In Russ].
10. Atakulov L. N., Kakharov S. K., Khaydarov Sh. B. Choice of an optimum method of joining steel-cable conveyor belts. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 9, pp. 97–99. [In Russ].
11. *Conveyor belts for inclined lifts* <http://ctcmetar.ru/transport-glubokih-kararov/8961-konveyernye-lenty-dlya-naklonnyh-podemnikov.html>, 2017
12. Polunin V. T., Gulenko G. N. *Ekspluatatsiya moshchnykh konveyerov* [Exploitation of powerful conveyors], Moscow, Nedra, 1986, 344 p.
13. Galkin V.I., Sazankova E. S. Design features of the steel-cable belts for belt conveyors in mining industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 5, pp. 172–179. [In Russ].
14. www.qbelts.ru/catalog/.../steel_cord_conveyor_belts_stahlcord/ резинотросовые конвейерные ленты STAHLCORD®.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Атакулов Лазизжон Нематович — кандидат технических наук, доцент, Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан, e-mail: laziz218@mail.ru,
Шешко Ольга Евгеньевна — кандидат экономических наук, доцент, ИЭУПП НИТУ «МИСиС», e-mail: osheshko@mail.ru.
Для контактов: Шешко О.Е., e-mail: osheshko@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

L.N. Atakulov, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Navoi State Mining Institute, 210100, Navoi, Uzbekistan, e-mail: laziz218@mail.ru,
O.E. Sheshko, Candidate of Economical Sciences, Assistant Professor, Institute of Economics and Management of Industrial Enterprises, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: osheshko@mail.ru.
Corresponding author: O.E. Sheshko, e-mail: osheshko@mail.ru.

