

Хазин Марк Леонтьевич, доктор техн. наук, профессор

Уральский государственный горный университет,  
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

E-mail: Khasin@ursmu.ru

## ТОКОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

**Аннотация:** Наиболее сложным, трудоемким и затратным звеном процесса разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом является транспортирование горной массы, что составляет 60-75 % себестоимости добычи. Основным видом технологического транспорта, используемого для перевозки горной массы, являются карьерные самосвалы с дизельными двигателями. При этом мировой горнодобывающей промышленностью ежегодно потребляется миллиарды литров дизельного топлива. Существенным недостатком дизельного автотранспорта является загазованность атмосферы, особенно на глубоких горизонтах. Выхлопные газы дизельного автотранспорта оказывают вредное влияние на здоровье человека и окружающую среду. Для обеспечения устойчивого функционирования горные предприятия все большее внимание уделяют энергетическому фактору. Компании стремятся сократить эксплуатационные расходы за счет снижения затрат на транспортировку горной массы, вследствие чего возобновился интерес к троллейному транспорту. Использование питания от воздушной контактной сети

позволяет уменьшить массу самосвала на 10-15 % за счет исключения дизельного двигателя, топливного и масляного баков, масляного и водяного радиаторов, систем отвода отработавших газов и ряда других при сохранении той же грузоподъемности. Для питания автотранспортных средств от воздушной контактной сети используются устройства различной конструкции. К токоприемникам карьерных троллейбусов предъявляются специфические требования, обусловленные условиями эксплуатации. Токоприемник карьерного самосвала также должен обладать широкими возможностями автоматизации процессов установки токосъемных элементов на линию и схода с неё. Это необходимо для уменьшения времени, затрачиваемого на установку и снятие токосъемных элементов с линии, и избавления водителя самосвала от ручного труда в этих процессах.

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, троллейвоз, открытые горные работы, токоприемник.

**Информация о статье:** принята 12 октября 2020 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-45-50

Основным способом добычи полезных ископаемых являются открытые горные работы. Наиболее сложное, трудоемкое и затратное звено процесса разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом - транспорт, доля которого в себестоимости добычи составляет 60-75 % [1-3]. До 80 % горной массы, получаемой при этом, перевозится карьерными самосвалами с дизельными двигателями. При этом мировой горнодобывающей промышленностью ежегодно потребляется миллиарды литров дизельного топлива. Существенным недостатком дизельного автотранспорта является загазованность атмосферы, особенно на глубоких горизонтах. Выхлопные газы дизельного автотранспорта оказывают вредное влияние на здоровье человека и окружающую среду [4, 5].

В настоящее время при обеспечении устойчивого функционирования промышленных предприятий все большее внимание уделяется энергетическому фактору. Эффективное использование энергетического потенциала является необходимой основой для модернизации промышленной сферы и всей

экономики. Компании стремятся сократить эксплуатационные расходы за счет снижения затрат на дизельное топливо, вследствие чего возобновился интерес к троллейной транспортировке [5, 6]. Интерес к электроприводу связан, в первую очередь, с возможностью уменьшения потребления дизельного топлива карьерными самосвалами и, соответственно, снижения затрат на энергоноситель (рис. 1), а также использования большей мощности на двигателе. Эти особенности делают электроприводы привлекательной альтернативой дизельным двигателям [7].

Самосвалы с электроприводом, оснащенные токоприемниками (троллейбусы), могут получать энергию от воздушной контактной сети. Использование питания от воздушной контактной сети позволяет уменьшить массу самосвала на 10-15 % за счет исключения дизельного двигателя, топливного и масляного баков, масляного и водяного радиаторов, систем отвода отработавших газов и ряда других при сохранении той же грузоподъемности [8, 9].

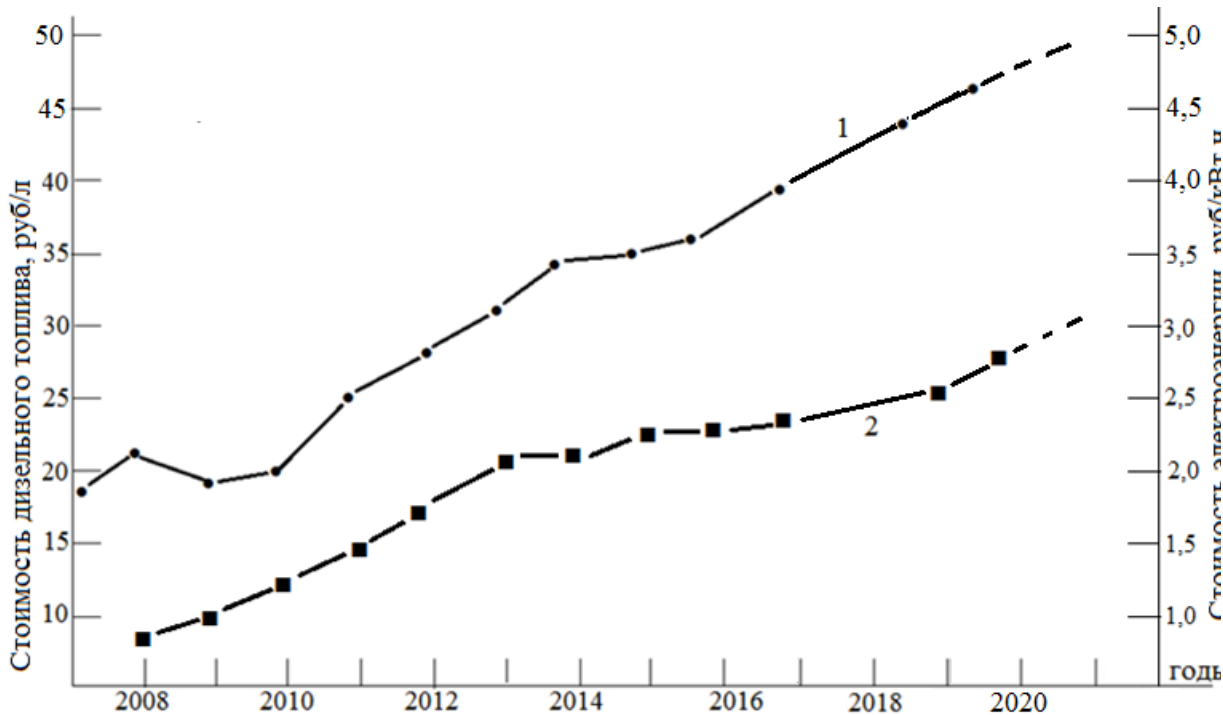


Рис. 1. Динамика стоимости дизельного топлива (1) и электроэнергии (2) в России (по данным Росстата)

Применение троллейзоров позволяет не только исключить затраты на закупку, хранение и транспортировку дизельного топлива, но и повысить скорость движения самосвала и уменьшить расходы на вентиляцию выработок. Обычно скорость самосвала на уклоне ограничена мощностью дизельного двигателя. Возможность использования большей мощности позволяет самосвалу с электроприводом двигаться с большей скоростью и преодолевать более крутые уклоны, что обеспечивает сокращение времени транспортного цикла, а способность этих машин перемещаться по выработкам с уклоном  $12^\circ$  со скоростью до 24 км/ч существенно расширяет область использования электротранспорта [10, 11]. Например, если время рабочего цикла уменьшается на 20 % в результате увеличения скорости на подъемах, то парк из 32 самосвалов-троллейзоров способен обеспечить те же результаты, что и 40 самосвалов, работающих на дизельном топливе [8, 9].

Для работы таким машинам необходима электроэнергия, а, следовательно, и устройства, соединяющие их с источником питания. Применимо к карьерным самосвалам, условия карьера стоит рассматривать как особо тяжёлые. Затяжные уклоны, частые удары, вибрации и высокая запылённость воздуха в совокупности ощутимо сокращают ресурс практически всех узлов машины. Условия работы токосъёмного устройства карьерного самосвала несколько сложнее тех, в которых эксплуатируются остальные узлы машины: к негативным факторам добавляется постоянный контакт шарнирных и других подвижных соединений с пылью и открытым воздухом, а также часто проскакивающая электрическая дуга между токосъёмным элементом и контактным проводом. Кабина карьерного самосвала, независимо от размера последнего, выполняется

максимально компактной, потому для размещения на ней токосъёмного устройства оно должно иметь как можно более меньшие габаритные размеры как в рабочем так и в сложенном положении. Токосъёмник карьерного самосвала также должен обладать широкими возможностями автоматизации процессов установки токосъёмных элементов на линию и схода с неё. Это необходимо для уменьшения времени, затрачиваемого на установку и снятие токосъёмных элементов с линии, и избавления водителя самосвала от ручного труда в этих процессах.

Исходя из условий эксплуатации, можно сформулировать следующие требования для токосъёмных устройств карьерных самосвалов:

1. устойчивость к ударам и вибрации;
2. надёжность;
3. невосприимчивость к пыли;
4. компактность;
5. удобство и безопасность эксплуатации;
6. возможность автоматизации процессов

установки токосъёмных элементов на линию и схода с неё;

7. невысокие требования к качеству дорожного покрытия.

Рассмотрим основные виды токоприёмников, применяемых для автотранспорта.

**Пантограф.** Наиболее часто применяемым устройством для соединения электротранспорта с контактной линией является пантограф. Малые габаритные размеры, широкие возможности автоматизации, как установки на линию, так и регулировки усилия прижима, устойчивость к ветровой нагрузке и вибрации, отсутствие устройства стрелок на контактном проводе позволяют использовать его в различных условиях движения. В результате контактная сеть получается конструктивно относительно



Рис. 2. Карьерный самосвал с двумя пантографами

простой и, как следствие, более надежной и дешевой. Пантограф симметричен относительно направления движения - допускает движение в обоих направлениях с одинаковой скоростью.

Однако, как токосъёмное устройство, пантограф обладает следующими недостатками:

- один пантограф может быть подключен только к одному из двух проводов контактной линии, это вызывает необходимость установки двух устройств на одну машину (рис. 2);
- пантограф чувствителен к неровностям трассы, потому нуждается в более тщательной её подготовке.
- удельная стоимость трассы для машин, оборудованных пантографом выше, чем для машин оборудованных штанговыми токоприёмниками.

**Полупантограф** или асимметричный токоприёмник - внешне выглядит, как половина обычного пантографа и, по сравнению с ним, имеет следующие преимущества:

- меньшая материалоемкость и масса;
- меньшие габариты, что облегчает размещение оборудования на крыше кабины;
- меньшая мощность привода для подъёма и опускания полупантографа;
- поскольку колебания полупантографа при движении меньше раскачивают элементы контактной сети, то обеспечивается лучший токосъём, вследствие более надежного прижима полоза токоприёмника к контактному проводу.

Недостаток полупантографа – более низкая прочность конструкции.

**Бугель.** Бугельный токоприёмник представляет собой пологую дугу, скользящую по поверхности контактного провода. На сегодняшний день это

самая редко используемая конструкция токоприёмника. В процессе развития электродвижущегося транспорта бугельный токоприёмник был вытеснен по нескольким причинам: он не позволял машине двигаться с высокой скоростью как пантограф, и не предоставлял транспортному средству высокой манёвренности как штанговый токоприёмник. Для снижения неравномерного износа, провод контактной сети следовало подвешивать не строго по осевой линии пути, а с небольшим зигзагом, для более эффективного использования всей поверхности контактной планки дуги. В качестве достоинства можно отметить, что в отличие от пантографа, дуговой токоприёмник менее требователен к качеству подвеса контактной сети, а при авариях из-за её дефектов - практически не повреждается.

Недостаток дугового токоприёмника в сравнении с пантографом - его сравнительная громоздкость и направленность. Для того чтобы начать движение задним ходом, необходимо перебросить дуговой токоприёмник вперёд, однако далеко не все конструкции позволяют сделать это. Поэтому машины, предназначенные для двусторонней работы, оснащались двумя дуговыми токоприёмниками, что сопряжено с эксплуатационными неудобствами. Системы дистанционного управления пантографом получают менее энергоёмкими и более надёжными. Все это стало причиной массового отказа от дугового токоприёмника в пользу пантографа.

**Штанга** - тип токоприёмника, представляющий собой подпружиненный вверх металлический стержень. На конце штанги крепится «башмак» со вставкой из композиционных материалов (графит - медь) которая подставляется под провод контактной сети. Башмак, как и сама штанга, закреплен шарнирно.

В ранних конструкциях вместо башмака использовался ролик, однако позже от него отказались из-за быстрого износа и плохого качества токосъема. Как правило, у машины имеется две штанги на два провода контактной сети (левая штанга - положительный полюс, правая - отрицательный).

В отличие от пантографа и бугеля штанга направляется контактным проводом, потому положение штанги на разветвлении проводов должно управляться расположенной на них стрелкой, которая переключается водителем.

Преимущества штангового токоприёмника:

- меньшая масса, чем у пантографа или бугеля;
- более простая конструкция;
- дает возможность отклоняться от контактной сети на определенное расстояние, тем большее, чем длиннее штанги. Обычно это до 5 м в каждую сторону;
- простота подключения к двух- и многопроводной сети,
- низкая чувствительность к неровностям трассы, вследствие чего не требуется её тщательная подготовка.

Существуют конструкции многопроводного токосъема с использованием пантографа, но такая система требует значительного разнесения контактных проводов, и кроме того занимает значительно больше места.

Недостатки штангового токоприёмника:

- штанга может срываться с контактного провода при неправильных манёврах транспорта или неисправностях в контактной сети;
- штанга устанавливается на контактный провод водителем вручную; для этого на штангу обычно надето скользящее кольцо с диэлектрической верёвкой для перемещения. Однако известны патенты и конструктивные решения, позволяющие автоматизировать этот процесс аналогично пантографу (например, [12]);
- при слабом подпружинивании штанги она может срываться на повороте, а при слишком сильном - может повредить контактную сеть;
- движение задним ходом возможно на низкой скорости, при этом возрастает риск схода штанги или поднятия вверх до замыкания контактного провода.

В отличие от других типов токосъёмников, пантограф доказал свою работоспособность в условиях открытых горных работ. Самосвалы различных фирм грузоподъёмностью от 120 до 250 т, оборудованные пантографом в качестве токоприёмника успешно эксплуатируются в Европе, Африке, Южной и Северной Америке на протяжении более чем 10 лет.

Питание автотранспортных средств от воздушной контактной сети представляет собой привлекательную альтернативу для подземных и карьерных самосвалов, особенно при работе на длинных пандусах. Наилучшие результаты могут быть достигнуты в случае перемещения горной массы на расстояния, превышающие 1500 м, особенно когда дорога для перевозки должна использоваться в течение

нескольких лет и объём транспортируемой горной массы составляет более 500 000 т в год [13, 14].

Недавно были успешно запущены троллейные самосвалы Hitachi (EH3500AC-3, EH3500ACII и EH4500) на рудниках Lumwana и Kansanshi в Замбии, Komatsu 860E и 960E на руднике Sishen в ЮАР, сами компании-производители начали предлагать подобные системы, в том числе Caterpillar и Liebherr. Приступили к расчетам дизель-троллейвоза грузоподъёмностью 240 т на БЕЛАЗе [15]. Основываясь на производственном опыте, можно сказать, что троллейвозы могут быть интересной альтернативой для существующих шахт и карьеров. Кроме значительной экономии дизельного топлива, применение троллейного транспорта позволяет значительно улучшить рабочую атмосферу карьера и экологическую ситуацию на предприятии [5, 13].

### Выводы.

Из всех типов токосъёмников, пантограф доказал свою работоспособность в условиях открытых горных работ. Однако пантограф чувствителен к неровностям трассы и качеству дорожного покрытия, что повышает удельная стоимость трассы, исключает возможность отклонения машины от прямой, например, при объезде препятствия или в случае разезда машин. При соответствующей конструктивной доработке у машин, оборудованных штанговыми токоприёмниками большое будущее, поскольку они лишены указанных недостатков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Проблемы совершенствования транспортных систем в горной промышленности России // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 1. С. 485-507.
2. Icarte G., Berrios P., Castillo R., Herzog, O. A Multiagent System for Truck Dispatching in Open-pit Mines //International Conference on Dynamics in Logistics. – Springer, Cham, 2020. С. 363-373. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44783-0\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44783-0_35)
3. da Cunha Rodovalho E., Lima H. M., de Tomi G. New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations //Journal of environmental management. 2016. Т. 172. С. 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.048>
4. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value //Toxicological Sciences. 2017. V. 158. №. 2. P. 243-251.
5. Patterson S. R., Kozan E., Hyland P. Energy efficient scheduling of open-pit coal mine trucks // European Journal of Operational Research. 2017. Т. 262. – №. 2. – С. 759-770. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.081>
6. Хазин М. Л., Тарасов, А. П. Эколого-экономическая оценка карьерных троллейвозов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т.17, №2. С.66–80. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6

7. Koptev V. Y., Kopteva A. V. Structure of energy consumption and improving open-pit dump truck efficiency // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2017. - Vol. 87, №. - 2. - 022010.

8. Хазин М. Л. Электрифицированный автотранспорт для подземных и открытых горных работ // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. Вып. 1(53). С. 132-138. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-128-135>.

9. Mazumdar J. All electric operation of ultraclass mining haul trucks // Industry Applications Society 8. Annual Meeting, 2013 IEEE. – IEEE, - 2013. - P. 1-5. <http://dx.doi.org/10.1109/IAS.2013.6682568>

10. Jacobs W., Hodkiewicz M. R., Braunl T. A Cost-Benefit Analysis of Electric Loaders to Reduce Diesel Emissions in Underground Hard Rock Mines // IEEE Transactions on industry applications. 2015. Vol. 51, № 3. P. 2565-2573. DOI: 10.1109/TIA.2014.2372046

11. Славиковский О. В., Митрошин Г. Н. Подземный транспорт при комбинированной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 5. С. 88-93.

12. Varaschin J., De Souza E. Economics of diesel fleet replacement by electric mining equipment // 15th North American Mine Ventilation Symposium. Blacksburg, Virginia, June 21-25, - 2015.

13. Система автоматического подсоединения и отсоединения во время движения транспортного средства с питанием от воздушной контактной сети: пат. №216.013.7574 Федеративная Респ. Германии. №0002561643; заявл. 27.08. 2015. [Электронный ресурс].-URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.7574.html> (дата обращения: 09.10.2020).

14. Шешко О. Е. Эколого-экономическое обоснование возможности снижения нагрузки на природную среду от карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 2. С. 241-252.

15. Cruzat J. V., Valenzuela M. A. Modeling and evaluation of benefits of trolley assist system for mining trucks // Industry Applications Society Annual Meeting, 2017 IEEE. – IEEE. 2017. P. 1-10. DOI: 10.1109/TIA.2018.2823261

16. Степук О. Г., Зуёнок А. С. Дизель-троллейвозный транспорт БелАЗ: перспективы использования в горном производстве // Горный журнал. 2013. № 1. С. - 52-55.

**Mark L. Khazin**, Dr. Sc. In Engineering, Professor

Ural State Mining University, 620144, Russia, Yekaterinburg, ul. Kuybysheva, 30

## MINING DUMP TRUCK'S CURRENT COLLECTORS

**Abstract:** *The most difficult, labor-intensive and costly part of the process of developing mineral deposits in an open-cut way is the transportation of rock mass, which is 60-75% of the production cost. The main type of technological transport used for the transportation of rock mass is mining dump trucks with diesel engines. At the same time, the world mining industry consumes billions of liters of diesel fuel annually. A significant disadvantage of diesel vehicles is the gas content of the atmosphere, especially in deep horizons. The exhaust gases from diesel vehicles have a harmful effect on human health and the environment.*

*To ensure sustainable operation, mining enterprises pay more and more attention to the energy factor. Companies are seeking to reduce operating costs by reducing the transporting rock mass cost, which has resulted in renewed interest in trolley transport.*

*The use of power from an air contact network allows to reduce the weight of the dump truck by 10-15% by eliminating the diesel engine, fuel and oil tanks, oil and water radiators, exhaust systems and a number of others while maintaining the same load capacity.*

*Various designs devices are used to power vehicles from an overhead contact network. The current collectors of open-pit trolleys have specific requirements due to the operating conditions.*

*The current collector of a mining dump truck should also have broad capabilities for automating the processes of installing current collectors on the line and leaving it. This is necessary to reduce the time spent on the installation and removal of current collectors from the line, and to save the dump truck driver from manual labor in these processes.*

**Keywords:** *mining dump truck, trolley truck, open pit mining, current collector.*

**Article info:** *received October 12, 2020*

**DOI:** *10.26730/1816-4528-2020-5-45-50*

### REFERENCES

1. Galkin V. I., Sheshko Ye. Ye. Problemy sovershenstvovaniya transportnykh sistem v gornoy promyshlennosti Rossii // Gornyy informatsionno-

analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). 2011. № 1. S. 485-507.

2. Icarte G., Berrios P., Castillo R., Herzog, O. A Multiagent System for Truck Dispatching in Open-pit Mines //International Conference on Dynamics in

Logistics. – Springer, Cham, 2020. C. 363-373. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44783-0\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44783-0_35).

3. da Cunha Rodovalho E., Lima H. M., de Tomi G. New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations // *Journal of environmental management*. – 2016. – Т. 172. – С. 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.048>.

4. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // *Toxicological Sciences*. 2017. V. 158. №. 2. – P. 243-251.

5. Patterson S. R., Kozan E., Hyland P. Energy efficient scheduling of open-pit coal mine trucks // *European Journal of Operational Research*. 2017. Т. 262. – №. 2. – С. 759-770. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.081>.

6. Khazin M. L., Tarasov, A. P. Ekologo-ekonomicheskaya otsenka kar'yernykh trolleyvozov // *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo*. 2018. Т.17, №2. S.66–80. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6.

7. Koptev V. Y., Kopteva A. V. Structure of energy consumption and improving open-pit dump truck efficiency // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. - 2017. - Vol. 87, №. - 2. - 022010.

8. Khazin M. L. Elektrifitsirovanny avtotransport dlya podzemnykh i otkrytykh gornykh rabot // *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2019. Vyp. 1(53). S. 132-138. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-128-135>.

9. Mazumdar J. All electric operation of ultraclass mining haul trucks // *Industry Applications Society 8. Annual Meeting, 2013 IEEE*. – IEEE, - 2013. - P. 1-5. <http://dx.doi.org/10.1109/IAS.2013.6682568>

10. Jacobs W., Hodkiewicz M. R., Braunl T. A Cost-Benefit Analysis of Electric Loaders to Reduce Diesel Emissions in Underground Hard Rock Mines // *IEEE Transactions on industry applications*. 2015. Vol. 51, № 3. P. 2565-2573. DOI: 10.1109/TIA.2014.2372046

11. Slavikovskiy O. V., Mitroshin G N. Podzemnyy transport pri kombinirovannoy geotekhnologii // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2011. № 5. S. 88-93.

12. Varaschin J., De Souza E. Economics of diesel fleet replacement by electric mining equipment // *15th North American Mine Ventilation Symposium*. Blacksburg, Virginia, June 21-25, - 2015.

13. Sistema avtomaticheskogo podsoyedineniya i otsoyedineniya vo vremya dvizheniya transportnogo sredstva s pitaniyem ot vozduшной kontaktной seti: pat. №216.013.7574 Federativnaya Resp. Germanii. №0002561643; zayavl. 27.08. 2015. [Elektronnyy resurs].-URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.7574.html> (data obrashcheniya: 09.10.2020).

14. Sheshko O. Ye. Ekologo-ekonomicheskoye obosnovaniye vozmozhnosti snizheniya nagruzki na prirodnyu sredu ot kar'yernogo transporta // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2017. № 2. S. 241-252.

15. Cruzat J. V., Valenzuela M. A. Modeling and evaluation of benefits of trolley assist system for mining trucks // *Industry Applications Society Annual Meeting, 2017 IEEE*. – IEEE. 2017. P. 1-10. DOI: 10.1109/TIA.2018.2823261

16. Stepuk O. G., Zuyonok A. S. Dizel'-trolleyvoznnyy transport BelAZ: perspektivy ispol'zovaniya v gornom proizvodstve // *Gornyy zhurnal*. 2013. № 1. S. - 52-55.

#### **Библиографическое описание статьи**

Хазин М.Л. Токоприемные устройства карьерных самосвалов // *Горное оборудование и электромеханика* – 2020. – № 5 (151). – С. 45-50.

#### **Reference to article**

Khazin M.L. Mining dump truck's current collectors. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2020, no.5 (151), pp. 45-50.