

КАРЬЕРНЫЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЙ ТРАНСПОРТ

Хазин М.Л., Штыков С.О.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

В горной промышленности имеются определенные проблемы, которые тормозят ее развитие. Проведенные исследования позволили улучшить процессы сгорания и экономии топлива дизельных двигателей карьерных самосвалов. Тем не менее до 30% топлива расходуется на энергию, рассеиваемую в окружающем пространстве. Экологические требования существенно корректируют область рационального применения автомобильного транспорта и требуют применения более чистых и эффективных транспортных средств с меньшим объемом выбросов отработанных газов. К экологической проблеме карьеров прибавилась новая – непрекращающийся рост цен на моторное топливо. В связи с чем все острее встает проблема значительного сокращения топлива, потребляемого карьерной техникой. Одним из путей повышения энергоэффективности на открытых горных работах может быть перевод автотранспорта на потребление электроэнергии. Электрические приводы используются в горнодобывающей промышленности дольше, чем дизельные двигатели. Возобновление интереса к троллейвозам связано, в первую очередь, с уменьшением потребления дизельного топлива карьерными самосвалами. Помимо очевидного снижения затрат на топливо, на основе современной технологической базы были получены дополнительные преимущества. Основная причина того, что троллейвозы и дизель-троллейвозы не нашли практического применения на открытых горных работах, заключается в решении этой задачи путем простой механической замены карьерного автосамосвала с дизельным двигателем на дизель-троллейвоз. В совокупности все положительные качества троллейвоза понижают эксплуатационные расходы на транспортирование горной массы на 15–20%, а также исключают загазованность карьера и образование дыма. Самым серьезным недостатком троллейвоза является необходимость в питании от контактной сети. В настоящее время, благодаря современным технологиям, устранение большинства недостатков троллейвоза не представляет сложности. Троллейвозы выгодны для горных предприятий, географически расположенных в районах, где имеется большая разница между затратами на дизельное топливо и стоимостью электроэнергии. Карьерные троллейвозы лучше использовать только на долгосрочных разработках, поскольку содержание контактной сети троллейных линий требует ухода и обслуживания. Срок окупаемости затрат может составить 1–2 года.

Ключевые слова: троллейвоз, энергосбережение, карьер, самосвал, экология.

Введение

Горнодобывающая промышленность России специализируется на добыче различных полезных ископаемых и играет важную роль в развитии экономики страны. Поэтому данная отрасль находится в постоянном развитии, что требует применения специализированного оборудования и инновационных технологий. В горной промышленности имеются определенные проблемы, которые тормозят ее развитие. В первую очередь к ним относится загрязнение окружающей среды, которое происходит во время разработки различных шахт и карьеров.

До 80% горной массы, получаемой при добыче полезных ископаемых открытым способом, перевозится карьерными самосвалами с дизельными двигателями, которые имеют следующие достоинства:

- автономность, т. е. независимость от внешних источников питания энергией;
- быстрая и легкая заправка;
- высокая мобильность.

© Хазин М.Л., Штыков С.О., 2018

Состояние проблемы

Для современного этапа развития открытых горных работ характерно увеличение глубины карьеров до 300–500 м. С углублением карьеров начинают проявляться недостатки автотранспорта, ограничивающие его эффективное применение и являющиеся в ряде случаев причиной длительной остановки работы предприятий.

Загрязнение атмосферы в наибольшей степени связано с применением на транспорте двигателей внутреннего сгорания. Самосвал грузоподъемностью 120 т, работая в средних условиях, расходует 500–600 т топлива в год и выбрасывает в атмосферу около 2000 условных тонн вредных веществ в отработанных газах [1, 2].

Особенностью выбросов дизельных двигателей является содержание в них канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, среди которых наиболее вреден бензапирен. Последний, так же как и свинец, относится к первому классу опасности загрязняющих веществ [3–6]. На глубине карьеров более 200–250 м за-

грязнение воздуха вредными веществами на рабочих местах приводит к постепенному превышению предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных Ростехнадзором России, и не отвечает установленным нормативам по содержанию основных составных частей воздуха и вредных примесей согласно требованиям ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны». Кроме того, дизельные двигатели характеризуются повышенной дымностью.

В последние годы были проведены различные исследования для улучшения процесса сгорания и экономии топлива дизельных двигателей карьерных самосвалов. Усовершенствованная система управления температурным режимом работы двигателя может уменьшить расход топлива, выбросы загрязняющих веществ, время прогрева, а также повысить общую производительность двигателя. Тем не менее до 30% топлива расходуется на энергию, рассеиваемую в окружающем пространстве [7].

К недостаткам дизельных двигателей относятся:

- относительно низкая энергетическая эффективность (около 30–35%, применение турбонаддува и промежуточного охлаждения повышает это значение до 50%);
- относительно низкая скорость движения на подъеме, что снижает производительность самосвалов;
- техническое обслуживание и высокая квалификация механиков;
- значительные операционные расходы, которые, как правило, растут с ценами на нефть;
- высокий уровень шума и вибрации;
- выбросы отработанных газов и загазованность карьеров;
- значительный расход энергии на выработку тепла, теряющегося в пространстве;
- возможность образования тумана.

Экологические требования существенно корректируют область rationalного применения автомобильного транспорта, возникает необходимость использования более чистых и эффективных транспортных средств с меньшим объемом выбросов отработанных газов [5, 8]. К практически трудно устранимой экологической проблеме карьеров прибавилась новая – непрекращающийся рост цен на моторное топливо¹ (рис. 1). В связи с чем все острее встает проблема существенного сокращения потребления дизельного топлива.

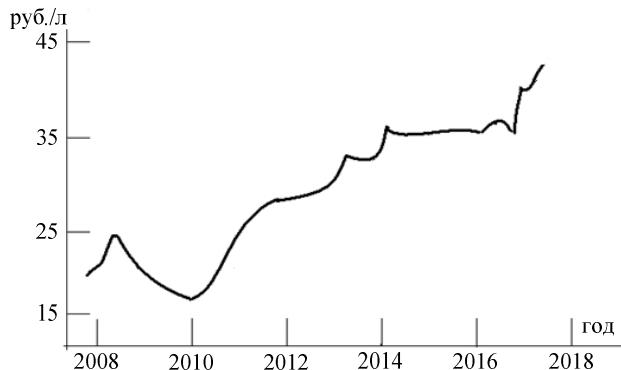


Рис. 1. Динамика розничных цен на дизельное топливо в рублях для России

Возможности применения электрифицированного транспорта

В современных условиях роста стоимости и даже дефицита топливно-энергетических ресурсов особую актуальность приобретает оценка энергетической эффективности промышленных технологий [9]. Энергопотребление автомобильного транспорта определяют продольный уклон автодорог, скорость движения самосвалов и мощность двигателя, которые, в свою очередь, влияют на загазованность карьеров, определяют развитие фронта работ, что в конечном счете влияет на разнос бортов и возможную глубину карьеров. Для сокращения энергопотребления могут быть использованы различные варианты:

- 1) совершенствование техники и технологии открытых горных работ, направленное на экономное расходование дизельного топлива;
- 2) замена нефтяного топлива другими видами экологически более чистого и дешевого топлива, например природного газа или водорода;
- 3) перевод автотранспорта на потребление восполняемых видов топлива, то есть на потребление электроэнергии.

Недостатки дизельного автотранспорта значительно уменьшаются при использовании в технологическом цикле карьеров электрифицированных самосвалов – дизель-троллейвозного и троллейвозного транспорта. Для электрифицированных видов транспорта загрязнение атмосферы производится только пылением транспортируемого материала при движении.

Электрические приводы используются в горнодобывающей промышленности более 100 лет, на самом деле дольше, чем дизельные двигатели. Возобновление интереса к троллейвозам связано, в первую очередь, с уменьшением потребления дизельного топлива карьерными самосвалами. Помимо очевидного снижения затрат на топливо, на основе современной технологиче-

¹ <https://news.yandex.ru/quotes/213/20010.html>

ской базы были получены дополнительные преимущества:

- увеличение производственной мощности горного предприятия и уменьшение количества машин за счет более высокой скорости самосвалов (более эффективное использование автопарка);
- значительно более высокая энергоэффективность (около 90%);
- постоянный крутящий момент (включая высокий крутящий момент на малых скоростях), быстрое реагирование на нагрузку и лучшую перегрузочную способность;
- почти двухкратное увеличение скорости движения на руководящем уклоне;
- увеличение длительности работы дизельного двигателя между моментами обслуживания;
- двух-трехкратное сокращение расхода топлива и, следовательно, снижение расходов на топливо на 70–80%;
- снижение затрат на техническое обслуживание самосвалов с дизельным двигателем;
- повышение доступности обслуживания и увеличение жизненного цикла дизельного двигателя (меньше рабочих часов);
- низкий уровень шума и вибрации;
- уменьшение объема выхлопа отработанных газов дизеля, загазованности карьера и образования тумана;
- возможность запуска на линии на любой скорости и полезной нагрузки.

Однако проблема создания дизель-троллейвозов, предложенных еще в 50-е годы прошлого века профессором А.С. Фиделевым, в нашей стране муссируется десятилетиями. Разные причины технического, организационного, финансового и даже политического характера не позволили реализовать эту достаточно прогрессивную идею. Это было связано с повышенными капитальными затратами на строительство инфраструктуры и приобретение оборудования, относительно малой «мобильностью» электрифицированного транспорта, относительно невысокой разницы в стоимости дизельного топлива и электроэнергии.

Учитывая возрастающую стоимость дизельного топлива, используемого самосвалами на карьерах, можно прогнозировать, что в обозримом будущем доля затрат на горючее в себестоимости транспортирования горной массы увеличится в среднем в 1,5–2 раза. При максимальной скорости двигателя расход дизельного топлива составляет 450 л/ч, но в режиме троллейвоза двигатель работает на холостом ходу и расход

топлива снижается до 40 л/ч [10]. Это сокращение приводит к значительной экономии топлива и является важным шагом на пути повышения энергоэффективности горного предприятия.

Общее количество внедренных проектов троллейзации карьерного транспорта относительно невелико и, к сожалению, большинство из них – за рубежом [11].

В странах Африки, в Бразилии, а теперь и США успешно эксплуатируется система транспорта с применением дизель-троллейвозов. Особенno показателен пример золоторудного карьера «Бетце» (США, шт. Невада), где для транспортирования 410 тыс. т горной массы в сутки используется парк из 73 дизель-троллейвозов грузоподъемностью 170 т.

В Африке грузовые троллейбусные предприятия начали работать с 1981 г., когда в карьерах Sishen (ЮАР) на участке 2 км начали работать 55 троллейвозов. С октября 1981 г. в ЮАР было открыто движение троллейвозов Unit Rig Lectra Haul M200eT в Phalaborwa (Phalaborwa), обслуживающих участок 8 км. С 1986 г. троллейвозы на шахтах и карьерах используют в Конго (карьер Lubumbashi), Намибии (бассейн Россинга – Rossing – в пустыне Намиб) на медных рудниках Гега вблизи Лубумбashi в Зaire.

В начале 2012 года компания NHL-North Haul Industries Group получила первый заказ на поставку на Намибийский горный урановый карьер Кояма тягача-троллейвоза с полуприцепом полной массой 330 т с донной загрузкой. Исследованные запасы разреза составляют 170 млн т, а срок разработки может превышать 20 лет. По масштабам это второй в мире урановый рудник.

Электроэнергию можно получать от электрогенератора дизельного двигателя на самосвале или получать из выделенной подстанции и передавать через подвесную контактную сеть непосредственно на двигатель карьерного самосвала.

При добыче полезных ископаемых к подвесной контактной сети предъявляются требования, аналогичные для тяговых приводов на легкой железнодорожной инфраструктуре: механическая стабильность, надежность в эксплуатации и низкие эксплуатационные расходы. Инфраструктура троллейвозного комплекса включает в себя систему контактных сетей, тяговые подстанции, мачты линий высокого напряжения, освещение системы провеса и токоприемник карьерного самосвала [6]. Техника безопасности при эксплуатации и обслуживании электрифицированного колесного картерного автотранспорта и железнодорожного карьерного автотранспорта аналогична.

Самосвалы работают как в рабочем, так и тормозном режимах. Основным энергетическим преимуществом троллейвоза по сравнению с самосвалом, имеющим традиционную электромеханическую трансмиссию, является возможность рекуперации в сеть кинетической энергии, выделяющейся при торможении и потенциальной энергии при движении под уклон. В этом случае используется одна троллейная линия в грузовом направлении, а для привода троллейвоза в порожнем направлении применяется накопитель-аккумулятор энергии, который накапливает энергию за счет рекуперации энергии торможения в порожнем направлении и дополнительно может подзаряжаться от троллейной линии.

Рекуперация энергии торможения является одним из наиболее перспективных источников экономии энергии. Принципиальным условием реализуемости рекуперации энергии является возможность изменения направления потока энергии между питающей сетью и тяговыми двигателями. Это может быть достигнуто только при определенных конструктивных особенностях преобразовательного агрегата, питающего тяговые двигатели. Основными преимуществами, ожидаемыми от обратимых подстанций, являются [10–14]:

- рекуперация энергии торможения в любое время, сохраняя при этом приоритет естественного обмена энергией между самосвалами;
- уменьшение (устранение) тормозных резисторов и, таким образом, снижение массы самосвала и выделения тепла;
- регулирование выходного напряжения постоянного тока;
- снижение уровня гармоник и повышение коэффициента мощности на стороне переменного тока.

На основе анализа, выполненного в Южной Африке, было отмечено [10], что нагруженный самосвал на пути в 1 км, спускаясь по уклону, восстанавливает около 7900 кВтч энергии в сутки (работа 20 ч, 5 мин загрузки). При стоимости электроэнергии \$0,077 за киловатт-час стоимость энергии рекуперации в день на грузовике составит \$608. При движении порожнего самосвала по аналогичному профилю стоимость рекуперации энергии в день на самосвал составит \$262. Экономия будет тем значительнее, чем длиннее уклон и больше размер автопарка.

В то же время троллейвозам присущи определенные недостатки. К основным недостаткам дизель-троллейвозов можно отнести:

- повышенные требования к конструкции и качеству дорожного покрытия;
- необходимость дополнительных затрат на

создание и поддержание разветвленной контактной сети;

- увеличение стоимости дизель-троллейвоза на 5–10% по сравнению с серийными самосвалами с электроприводом;

- увеличение массы дизель-троллейвоза в сравнении с дизель-электрическим самосвалом за счет установки троллейного оборудования

Первоначально задача создания электрифицированного транспорта решалась путем установки дополнительного электродвигателя на карьерный самосвал, т. е. экспериментальные образцы были построены на базе машин, спроектированных с расчётом использования в качестве силового агрегата дизельного двигателя, например БЕЛАЗ-75195 и другие, более поздние модели [15]. Поэтому электродвигатель не был способен продемонстрировать в полной мере все преимущества перед дизелем. Для того чтобы максимально использовать все преимущества электродвигателя, необходимо сразу проектировать машину из расчёта использования выбранного электрического силового агрегата.

Троллейвоз или троллейно-аккумуляторный самосвал имеет дополнительные преимущества:

- значительно более высокий КПД электродвигателя по сравнению с дизельным;
- тепловые потери энергии в 3 раза меньше, чем у дизельного двигателя такой же мощности;
- уменьшение массы самосвала на 10–15%, за счет отсутствия у троллейвозов второго силового агрегата (дизельного двигателя), а также топливного и масляного баков, масляного и водяного радиаторов, систем отвода отработавших газов и ряда других, при сохранении той же грузоподъёмности;
- исключение дизельного выхлопа и, следовательно, отсутствие загазованности карьера и образования тумана, т. е. значительное улучшение экологической ситуации;
- исключение затрат на закупку, хранение и транспортировку дизельного топлива;
- уменьшение стоимости самосвала за счет исключения дизельного двигателя;
- уменьшение затрат на шины из-за меньшей собственной массы троллейвоза, особенно в случаях, когда троллейвозы используются практически на горизонтальной дороге;
- лёгкость в обслуживании силового агрегата;
- невосприимчивость электродвигателя к морозам, что особенно выгодно отличает его в северных регионах от дизеля (сильные отрицательные температуры оказывают негативное влияние в основном на аккумуляторы).

У троллейвоза или троллейно-аккумуляторного самосвала имеются недостатки, как общие с дизель-троллейвозами, так и собственные:

- необходимость дополнительных затрат на создание и поддержание разветвленной контактной сети;
- повышенные требования к конструкции и качеству дорожного покрытия;
- малая маневренность;
- затрудненность процессов погрузки и разгрузки.

Уменьшение массы самосвала имеет важное значение, так как каждая тонна снижения массы самосвала является дополнительной тонной горной массы, которая может быть перевезена. Длинные перегоны и более крутые склоны дают возможность для проявления всех достоинств троллейвоза при перевозке грузов.

Эти особенности делают электроприводы привлекательной альтернативой дизельным самосвалам, но их фактические преимущества и недостатки в значительной степени зависят от того, как электроэнергия подается на двигатель самосвала. По этой причине отдельно рассматриваются различные категории оборудования для электропогрузчиков и транспортных средств.

Существует пять основных категорий электрических грузовиков в зависимости от того, как электроэнергия предоставляется двигателям:

- встроенный аккумулятор,
- через дополнительный силовой кабель,
- от воздушной контактной сети,
- использование гибридного электропривода,
- из топливных элементов.

За последние годы значительно улучшились конструкции и параметры карьерных самосвалов, повысилась их производительность. Карьерные самосвалы с электроприводом, оснащенные токоприемниками, могут получать энергию от воздушной контактной сети. Электропривод обеспечивает подачу питания и приводит к увеличению скорости самосвала, позволяет увеличить межремонтные интервалы двигателя и снижает затраты на потребляемую энергию за счет регенерации и возвращения ее в сеть. На сегодняшний день фирма Siemens является ведущим поставщиком троллейвозов (рис. 2) и их инфраструктуры [16].

Необходимость в питании от контактной сети является самым серьёзным недостатком троллейвоза. Для обеспечения его работы требуется проложить троллейную трассу, к тому же, ввиду «роста» карьера по мере выработки полезного ископаемого, трассу необходимо будет время от времени перемешать и дополнять новыми участками. Трасса должна быть обеспечена необходимым количеством тяговых подстанций и основным источником питания сети, а также быть удалена от места

производства взрывов на 300–600 м. Кроме того, высоковольтные провода во время загрузки и разгрузки троллейвоза находятся достаточно близко, и создается опасность их задеть.

Для повышения маневренности самосвала можно использовать дополнительный силовой агрегат. Установка дополнительного силового агрегата, например дизельного двигателя, чревато увеличением массы машины, стоимости обслуживания, выбросов продуктов горения топлива в атмосферу. Аккумуляторы незначительно, по сравнению с ДВС, увеличивают массу самосвала. К недостаткам аккумуляторов можно отнести непродолжительный срок эксплуатации, небольшой запас хода в сравнении с ДВС и высокую стоимость самих аккумуляторных блоков.

Однако следует учитывать возможность переработки аккумуляторов после окончания срока эксплуатации. Для повышения маневренности транспортного средства рационально использовать самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой. Это позволит избежать потерь и разубоживания полезного ископаемого, а также вести разработку с минимальным текущим коэффициентом вскрыши. Самосвалы с шарнирно-сочленённой рамой требуют гораздо меньше свободного пространства для маневрирования, чем эквивалентные по грузоподъёмности самосвалы на базе цельной несущей рамы.



Рис. 2. Карьерный самосвал
Siemens – проллейвоз

Преимуществом конструкций со вторым источником энергии является возможность отказаться от строительства контактной сети в направлении движения на спуск. Для глубинных карьеров это позволяет сократить капитальные затраты и эксплуатационные расходы на содержание сети. Для нагорных же карьеров строительство контактной сети в грузовом направлении движения сверху вниз вполне оправдано, поскольку рекуперируемая в

сеть электроэнергия может существенно компенсировать расход энергии [13, 14].

В настоящее время, благодаря современным технологиям, устранение большинства недостатков троллейвоза не представляет сложности. Например, преобразователи энергии, электродвигатели, проводники изготавливаются по технологии, выгодно отличающейся от применявшимися в годы проведения испытаний троллейвозов в СССР. Кроме того, стоимость подобных устройств со временем проведения последних испытаний троллейвозов отечественной разработки, в пересчёте на современную стоимость, значительно снизилась, особенно за последние годы. Таким образом, благодаря современным технологиям стоимость и масса троллейвоза могут быть еще уменьшены.

При оценке эффективности применения дизель-троллейвозов и троллейвозов решающую роль играет соотношение цен на дизельное топливо и электроэнергию. Существенное значение имеет сам факт экономии топлива, который по расчетам составляет 0,9–1,1 кг на 1 м³ транспортируемой горной массы, т. е. в среднем 1 тыс. т топлива на 1 млн м³ перевозок. Благоприятным следствием этого является соответствующее сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу [10, 14].

Вместе с тем возрастает расход электроэнергии, поскольку суммарные затраты энергии остаются примерно одинаковыми. Если учесть соотношение стоимости дизельного топлива и электроэнергии, то общая стоимость энергии на транспортирование сокращается на 10–20% (см. таблицу, рис. 3). В конечном счете экономия от применения троллейвозов возможна за счет перевозки такого же количества материала, используя меньшее число самосвалов, или перевозка большего количества горной массы с использованием такого же количества карьерных самосвалов.

Цены на бензин марки АИ 92 в регионах России
(данные Федеральной службы
государственной статистики)²

Регион	Март 2015, руб./л	Март 2016, руб./л	Рост	
			руб.	%
Ярославская область	30,45	31,66	1,21	3,97
Республика Саха (Якутия)	43,83	46,55	2,72	6,21
Псковская область	31,47	32,94	1,47	4,67
Приморский край	35,10	37,79	2,69	7,66
Ленинградская область	32,08	33,59	1,51	4,71

²<http://agro2b.ru/ru/news/27691-Rejting-regionov-Skolko-stoit-benzin.html>



Рис. 3. Динамика цен (тарифов) на электроэнергию для разных категорий потребителей в среднем за год

При этом можно отметить, что с 1 января 2017 года в Республике Саха (Якутия) произошло снижение тарифов на электроэнергию³ на 58%.

Кроме того, электростанция может иметь свою собственное горное предприятие или горное предприятие может иметь свою собственную электростанцию.

Согласно проведенным расчетам [15], с учетом повышения производительности карьерных самосвалов в троллейном режиме, срок окупаемости затрат на топливо и обслуживание двигателя может составить 1–2 года.

Заключение

Таким образом, условия обеспечения рационального и эффективного применения троллейвозов на открытых горных работах заключаются в следующем [14]:

Источник: Минэкономразвития; расчеты и графика: «Финмаркет»

- удаленность троллейных линий от места производства взрывов – на 300–600 м;
- расстояние транспортирования горной массы – 3–30 км;
- наличие устойчивого снабжения электроэнергией;
- значительная удаленность горнодобывающего предприятия от мест добычи нефти и нефтеперерабатывающих заводов, особенно в Якутии и районах Крайнего Севера;
- доля стационарного участка трассы с ровным покрытием, оборудованного контактной сетью, должна составлять не менее 40–50% общей протяженности транспортирования;
- срок эксплуатации контактной сети – не менее 5–8 лет;
- участки бестроллейного движения должны быть минимальны и определяться необходимостью свободного маневрирования и погрузки в забое и на отвале.

³<https://gkcp.sakha.gov.ru/news/front/view/id/2791423>

Карьерные троллейвозы лучше использовать на долгосрочных разработках, поскольку содержание контактной сети троллейных линий требует ухода и обслуживания. Троллейвозы также выгодны для горных предприятий, географически расположенных в районах, где имеется большая разница между затратами на дизельное топливо и стоимостью электроэнергии.

Список литературы

1. Потапов М. Г. Направления развития карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1996. №1.
2. Потапов М. Г. Направления развития карьерного транспорта // Горная промышленность. 2002. №6.
3. 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.
4. Шешко О. Е. Эколого-экономическая оценка карьерных транспортных машин нового поколения // Горные науки и технологии. 2013. №12. С. 281–288.
5. Pronk A., Coble J., Stewart P. A. Occupational exposure to diesel engine exhaust: a literature review // Journal of exposure science and environmental epidemiology. 2009. Vol. 19. No. 5. P. 443–457.
6. Attfield M. D. Schleif PL, Lubin JH, et al. The diesel exhaust in miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer // Journal of the National Cancer Institute. 2012. Vol. 104. No. 11. P. 869–883.
7. Nessim W., Zhang F. J., Zhao C. L. Optimizing operational performance of diesel mining truck using thermal management // Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, 2013. Vol. 813. P. 273–277.
8. Feng Y., Dong Z., Yang J. Performance modeling and cost-benefit analysis of hybrid electric mining trucks // Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2016 12th IEEE/ASME International Conference on. IEEE, 2016. P. 1–6.
9. Минакова Т.Е. Энергосбережение как системный процесс // Nauka-rastudent.ru. 2015. No. 08 (20) [Электронный ресурс]. URL: <http://nauka-rastudent.ru/20/2858/>.
10. Mazumdar J. All electric operation of ultraclass mining haul trucks // Industry Applications Society Annual Meeting, 2013 IEEE. IEEE, 2013. P. 1–5.
11. 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.
12. Varaschin J., De Souza E. Economics of diesel fleet replacement by electric mining equipment // 15th North American Mine Ventilation Symposium. 2015.
13. Nurić S., Nurić A., Brčaninović M. Haulage solutions with trolley assist diesel-electric ac trucks on the pit mine RMU Banovici // Journal of Mining and Metallurgy A: Mining. 2009. Vol. 45. No. 1. P. 78–87.
14. Тарасов П. И., Тарасов А. П. Технологические особенности и перспективы применения троллейвозов на горных предприятиях // Горная промышленность. 2008. №1. С. 54–62.
15. Степук О. Г., Зюенок А. С. Дизель-троллейвозный транспорт БЕЛАЗ: перспективы использования в горном производстве // Горный журнал. 2013. №1. С. 52–55.
16. Uno K., Imaie K., Maekawa K., Smith G., Suyama A., Hatori J. Development of mining machinery and future outlook for electrification // Hitachi Review. 2013. V. 62. №2. P. 99–106.

Поступила 02.11.17.
Принята в печать 28.12.17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-11-18>

ELECTRIC MINING TRUCKS

Mark L. Khazin – D.Sc. (Eng.), Professor
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.

Sergey O. Shtykov – Bachelor's Student
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.

Abstract

The mining industry is facing certain problems that hamper its development. Thanks to the research efforts taken, certain improvements were implemented to the fuel combustion processes and the fuel efficiency of diesel engines used in mine dump trucks. Nevertheless, up to 30% of the fuel is wasted because the resultant energy gets dissipated in the surrounding space. The environmental requirements substantially confine the scope of sustainable use of trucks and demand that cleaner and more efficient vehicles were adopted. Another issue evinced itself to add

to the environmental issues faced by mining companies, and that is continuously rising fuel prices. Therefore, achieving a significant reduction in fuel consumption by mine dump trucks appears to pose an increasingly pressing problem. One way to increase energy efficiency of open mining operations can be the adoption of electricity driven vehicles. Compared with diesel engines, electric drives have a longer record in the history of mining industry. The renewed interest to trolley trucks can be explained, first and foremost, by the reduced consumption of diesel fuel by mine dump trucks. Apart from the obvi-

ous reduction of fuel costs, additional advantages were obtained thanks to advanced technology. The main reason why trolley trucks and diesel-trolley trucks failed to find practical application in open pit mining is that it was basically an attempt to replace the regular diesel dump trucks with diesel-trolley trucks. All benefits delivered by trolley trucks combined help reduce the ore transportation costs by 15% to 20% and eliminate pollution and fumes. The biggest drawback of a trolley truck is its dependence on the power from the trolley line. Thanks to advanced technology of today, most of the disadvantages of a trolley truck can be eliminated without much effort. Trolley trucks could be a good option for the mining sites located in the areas with a considerable gap between the cost of diesel fuel and the cost of electricity. As the trolley lines require proper care and maintenance, it is recommended that trolley trucks are only used on mining site with an extended life. The payback period may be one to two years.

Keywords: Electric mining truck, energy saving, quarry, dump truck, ecology.

References

1. Potapov M.G. Areas of development for truck haulage. *Gornyi informatsionno-analitichesky byulleten (nauchno-tehnichesky zhurnal)* [Mining bulletin (scientific journal)]. 1996, no. 1. (In Russ.)
2. Potapov M.G. Areas of development for truck haulage. *Gornaya promyshlennost* [Mining industry]. 2002, no. 6. (In Russ.)
3. Sheshko O.E. Feasibility study looking at ecological and economic benefits of reduced environmental impact of haulage trucks. *Gornyi informatsionno-analitichesky byulleten (nauchno-tehnichesky zhurnal)* [Mining bulletin (scientific journal)]. 2017, no. 2, pp. 241-252. (In Russ.)
4. Sheshko O.E. Ecological and Economic Analysis of New Generation Haulage Trucks. *Gomye nauki i tekhnologii* [Mining sciences and technologies]. 2013, no. 12, pp. 281-288. (In Russ.)
5. Pronk A., Coble J., Stewart P.A. Occupational exposure to diesel engine exhaust: a literature review. *Journal of exposure science and environmental epidemiology*. 2009, vol. 19, no. 5, pp. 443-457.
6. Attfield M.D. Schleif P.L., Lubin J.H., et al. The diesel exhaust in miners study: a cohort mortality study with emphasis on lung cancer. *Journal of the National Cancer Institute*. 2012, vol. 104, no. 11, pp. 869-883.
7. Nessim W., Zhang F.J., Zhao C.L. Optimizing operational performance of diesel mining truck using thermal management. *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, 2013, vol. 813, pp. 273-277.
8. Feng Y., Dong Z., Yang J. Performance modeling and cost-benefit analysis of hybrid electric mining trucks. *Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 2016 12th IEEE/ASME International Conference on. IEEE, 2016, pp. 1-6.
9. Minakova T.E. Energy saving as a system process. *Nauka-rastudent.ru*. 2015, no. 08(20). Available at: <http://nauka-rastudent.ru/20/2858/>
10. Mazumdar J. All electric operation of ultraclass mining haul trucks. Industry Applications Society Annual Meeting, 2013 IEEE. IEEE, 2013, pp. 1-5.
11. Galkin V.I., Sheshko E.E. The problems of improving transport systems in the mining industry of Russia. *Gornyj informatsionno-analitichesky byulleten (nauchno-tehnichesky zhurnal)* [Mining bulletin (scientific journal)]. 2011, no. 1, pp. 485-507. (In Russ.)
12. Varaschin J., De Souza E. Economics of diesel fleet replacement by electric mining equipment. 15th North American Mine Ventilation Symposium, 2015.
13. Nurić S., Nurić A., Brčaninović M. Haulage solutions with trolley assist diesel-electric ac trucks on the pit mine RMU Banovici. *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*. 2009, vol. 45, no. 1, pp. 78-87
14. Tarasov P.I., Tarasov A.P. Technical features and prospects of using trolley trucks on mining sites. *Gomaya promyshlennost* [Mining industry]. 2008, no. 1, pp. 54-62. (In Russ.)
15. Stepuk O.G., Zuyenok A.S. BELAZ diesel-trolley transport: The prospects of use in mining. *Gorny zhurnal* [Journal of Mining]. 2013, no. 1, pp. 52-55. (In Russ.)
16. Uno K., Imaie K., Maekawa K., Smith G., Suyama A., Hatori J. Development of mining machinery and future outlook for electrification. *Hitachi Review*. 2013, vol. 62, no. 2, pp. 99-106.

Received 02/11/17

Accepted 28/12/17

Образец для цитирования

Хазин М. Л., Штыков С. О. Каньерный электрифицированный транспорт // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №1. С. 11–18. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-11-18>

For citation

Khazin M.L., Shtykov S.O. Electric mining trucks. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 11-18. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-11-18>
