

Дубов Георгий Михайлович^{*}, кандидат технических наук, доцент, Трухманов Дмитрий Сергеевич¹, старший преподаватель, Чегошев Алексей Александрович¹, старший преподаватель, Нохрин Сергей Алексеевич², заместитель генерального директора по газификации автотранспорта, Ельцов Иван Евгеньевич³, инженер-конструктор.

¹Кузбасский государственный технический университет им Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²ООО «ТехноЭжо», 653046, Россия, г. Прокопьевск, ул. Азовская, 11

³ООО «Торгинвест», 650991, Россия, г. Кемерово, пр-т Советский, 25

*E-mail: nikokem@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ



Информация о статье

Поступила:

11 сентября 2021 г.

Рецензирование:

30 сентября 2021 г.

Принята к печати:

03 октября 2021 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал, электрическая энергия, сжиженный углеводородный газ, компримированный природный газ, сжиженный природный газ.

Аннотация.

Рассматривается состояние вопроса актуальности и перспективности использования альтернативных видов энергоносителей на тяжелых карьерных самосвалах как наиболее эффективного способа снижения техногенного воздействия на окружающую среду. Проводится анализ совокупности факторов (экономических, технологических, технических, факторов безопасности), определяющих возможность и перспективность использования альтернативных видов энергоносителей при эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов в горнодобывающей отрасли. Приводятся данные об имеющемся на сегодняшний день опыте применения на тяжелых карьерных самосвалах экологически более чистых (альтернативных) видов энергоносителей: электрической энергии, сжиженного углеводородного газа (СУГ), компримированного природного газа (КПГ), сжиженного природного газа (СПГ). По ряду показателей проводится их сравнительный анализ с выявлением преимуществ и недостатков. Проведенные исследования говорят о том, что в сегменте тяжелого карьерного транспорта из всех возможных альтернативных видов энергоносителей сжиженный природный газ (СПГ) по ряду объективных причин, представляется наиболее перспективной альтернативой дизельному топливу. Говорится о том, что в России, в Кемеровской области впервые в рамках одной группы компаний успешно реализован интегрированный проект по производству сжиженного природного газа и его потреблению применительно к тяжелым карьерным самосвалам БелАЗ.

Для цитирования: Дубов Г.М., Трухманов Д.С., Чегошев А.А., Нохрин С.А., Ельцов И.Е. Снижение техногенного воздействия на окружающую среду посредством использования альтернативных видов энергоносителей при эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 5 (157). – С. 19-28 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-19-28

Введение

Добыча полезных ископаемых открытым способом занимает лидирующее место в горнодобывающей промышленности благодаря высокой производительности, низким затратам и уровню безопасности. При этом в ближайшее десятилетие первенство будет занимать именно этот метод ведения горных работ. Мировая потребность в твердых полезных ис-

копаемых ежегодно возрастает. В частности, программа развития угольной промышленности России предполагает увеличение добычи угля до 500 млн т. в год к 2030 г. В свою очередь, эколого-экономическая эффективность добычи полезных ископаемых открытым способом напрямую зависит от вида используемого технологического транспорта. Это все больше приводит к значительной потребности у горнорудных компаний в карьерной технике высокого



Рис. 1. Дизель-троллейвоз Caterpillar 795F
Fig. 1. Caterpillar 795F diesel-trolley truck



Рис. 2. Самосвал-электромобиль BYD V60
Fig. 2. BYD V60 electric dump truck



Рис. 3. Карьерный самосвал GE с гибридной
дизель-аккумуляторной электромеханической
энергосиловой установкой
Fig. 3. GE dump truck with a hybrid diesel-battery
electromechanical power plant

качества, обеспечивающей наиболее эффективные экологические требования [1-5].

При транспортировке горной массы используются тяжелые карьерные самосвалы с дизельными двигателями внутреннего сгорания. При этом ежегодно потребляются миллиарды литров дизельного топлива, причем 70-80% общего объема топлива потребляют нагруженные самосвалы на подъемах при

относительно малой скорости движения. Это приводит к значительному выбросу в атмосферу вредных (токсичных) веществ: диоксидов углерода, азота, углеводорода, альдегидов, свинца, сажи, оксидов серы. Согласно данным компании Parker Bay, количество эксплуатируемых в мире карьерных самосвалов значительно увеличилось за последние годы. Только Белорусский автомобильный завод (ОАО «БЕЛАЗ») ежегодно производит в среднем около 800 карьерных самосвалов. Сегодня в Кузбасс Белорусский автомобильный завод поставляет большое количество тяжелых карьерных самосвалов. На разрезах области работают около трех тысяч самосвалов БелАЗ, что составляет большую часть всего парка тяжелых карьерных самосвалов в регионе [6-9, 26].

При эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов одним из перспективных путей снижения объемов вредных выбросов в атмосферу и, как результат снижения техногенного воздействия на окружающую среду является использование альтернативных (более экологичных) видов энергоносителей. Исходя из имеющегося мирового опыта использования альтернативных видов топлива на транспорте, наиболее рациональным можно считать применение следующих энергоносителей [10-21]:

- электрическая энергия (электропитание);
- сжиженный углеводородный газ (СУГ);
- компримированный природный газ (КПГ);
- сжиженный природный газ (СПГ).

Целью данного исследования является анализ перспектив использования альтернативных видов энергоносителей при эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов как способа снижения техногенного воздействия на окружающую среду.

Результаты и обсуждения

Как было отмечено ранее, по отношению к дизельному топливу альтернативные энергоносители обладают значительным преимуществом – более высоким уровнем экологической безопасности. Также к числу факторов, определяющих возможность и целесообразность использования на карьерном транспорте того или иного альтернативного вида энергоносителя, необходимо отнести следующие: экономический, технологический, технический, а также безопасность применения [22].

Энергоносителем, оказывающим минимальное техногенное воздействие на окружающую среду и нашедшим свое некоторое применение на тяжелой карьерной технике, можно считать электрическую энергию (электропитание). В настоящее время в мировой практике имеется опыт применения троллейвозных и дизель-троллейвозных (в большей степени) карьерных самосвалов (рис. 1), карьерных электромобилей (с питанием от аккумуляторов) (рис. 2), а также опытно-промышленных образцов карьерных самосвалов с комбинированными энергосиловыми установками (рис. 3). Однако сово-

купное рассмотрение факторов использования альтернативных видов энергоносителей применительно к карьерным самосвалам не позволяет принимать электрическую энергию как единственное и наиболее эффективное решение [23].

Несмотря на все достоинства, электрифицированные карьерные самосвалы не нашли широкого применения в горной промышленности. Основными причинами, сдерживающими, например, широкое внедрение дизель-троллейбусов, являются технические и технологические трудности, связанные с необходимостью создания и поддержания разветвленной контактной сети, требующей капитальных вложений; с обеспечением надежной связи между самосвалом и питающей контактной сетью; с ограниченной маневренностью карьерных самосвалов; с удаленностью проводов контактной сети от места загрузки и разгрузки троллейвоза; с удаленностью контактной сети от места производства взрывов на 300-600 метров; с обеспечением наличия стационарного перегрузочного пункта в технологическом цикле транспортирования горной массы и т. д. [24-25]

На сегодняшний день при эксплуатации карьерного автотранспорта газ получает наиболее широкое распространение в качестве энергоносителя. Одним из видов газового моторного топлива на транспорте являются сжиженные углеводородные газы (СУГ). Высокие антидетонационные свойства СУГ по сравнению с дизельным топливом снижают удельный расход топлива, что уменьшает количество вредных выбросов в окружающую среду. Преимуществами при использовании СУГ являются его невысокая стоимость по отношению к дизельному топливу, а также максимально полное сгорание, что положительно сказывается на снижении количества вредных выбросов. Основными компонентами СУГ являются пропан, бутан либо их смесь. Эти компоненты являются взрывоопасными и пожароопасными. Они тяжелее воздуха, имеют свойство скапливаться в естественных и искусственных углублениях и создавать опасность взрыва. По этой причине использование СУГ в качестве моторного топлива (энергоносителя) на тяжелых карьерных самосвалах проблематично и опасно.

Более широкое распространение при использовании в качестве моторного топлива по отношению к СУГ получил компримированный (сжатый) природный газ (КПГ). Основную часть КПГ составляет метан (CH_4) – от 70 до 98%. Метан легче воздуха, поэтому использование КПГ на карьерах и разрезах безопасно, так как в случае аварийного выброса он быстро испаряется. Метан – самый безопасный из всех видов моторного топлива, температура самовозгорания дизельного топлива и бензина составляет 250-300°C, пропан-бутана – 450 С, а метана – 550°C. Вызываемый продуктами его сгорания парниковый эффект меньше по сравнению с нефтяными видами топлив. КПГ не содержит вредных примесей (свинец, сера), не токсичен в малых



Рис. 4. Карьерный самосвал БелАЗ 7555, работающий по газодизельному циклу на КПГ
Fig. 4. CNG gas-diesel fuelled BelAZ 7555 dump truck



Рис. 5. Газовые баллоны, размещенные на кузове карьерного самосвала БелАЗ 7555
Fig. 5. Gas cylinders placed on the body of BelAZ 7555 dump truck

концентрациях и не оставляет копоти, ухудшающей экологию [26].

Несмотря на все преимущества КПГ, существует ряд зачастую непреодолимых технических трудностей при его использовании. Эти трудности связаны со сложностью, а порой и невозможностью размещения достаточного количества газовых баллонов для обеспечения необходимым запасом топлива карьерных самосвалов для их эксплуатации в течение одной рабочей смены. Кроме этого, при низких температурах окружающей среды, возможно образование гидратов на узлах газораздаточных колонн заправочных станций, вызывающее снижение давления КПГ [27].

На сегодняшний день известны попытки по оснащению карьерных самосвалов газобаллонным оборудованием и их эксплуатации на КПГ. Так, в 2013 году на одном из автотранспортных предприятий Кемеровской области пять малотоннажных карьерных самосвалов БелАЗ 7555 (рис. 4, 5) были переоборудованы на газодизельный режим работы с использованием КПГ. Однако проработали они



Рис. 6. Завод по сжижению природного газа
Fig. 6. Natural gas liquefaction plant



Рис. 7. Криогенные передвижные автозаправщики
Fig. 7. Mobile cryogenic refueling trucks



Рис. 8. Заправочные площадки
Fig. 8. Refueling areas



Рис. 9. Карьерный самосвал БелАЗ 75131, оснащенный криогенной бортовой топливной системой
Fig. 9. BelAZ 75131 dump truck equipped with an onboard cryogenic fuel system

около года и положительного результата реализация этого проекта не принесла.

В последние годы в связи с развитием технологий все большую популярность в качестве моторного топлива приобретает сжиженный природный газ (СПГ). СПГ представляет собой нетоксичную жидкость без запаха и цвета. СПГ, использующийся

в качестве моторного топлива, состоит на 90-92% из метана, а в остальные 8-10% входят этан, пропан, бутан, азот. В процессе производства СПГ его очищают от диоксида серы и диоксида углерода. На открытом пространстве при нормальной температуре СПГ переходит в газообразное состояние и быстро смешивается с воздухом, что положительно сказывается на безопасности при его использовании на открытых горных работах.

Одним из основных преимуществ использования СПГ в качестве моторного топлива для тяжелых карьерных самосвалов является его низкая стоимость. СПГ не горит, сам по себе не воспламеняется и не взрывается. При его сжижении он уменьшается в объеме до 600 раз, что позволяет наиболее эффективно по отношению к другим видам газового топлива использовать его в качестве моторного топлива на тяжелых карьерных самосвалах (обеспечивается необходимый запас топлива на борту, позволяющий без дополнительной дозаправки осуществлять работу в течение одной рабочей смены).

При эксплуатации, например, в газодизельном режиме на СПГ карьерных самосвалов БелАЗ 75131, оснащенных дизельными двигателями КТА 50, наблюдается снижение вредных выбросов диоксида углерода – углекислого газа (CO_2) в среднем на 5-6%. Данный показатель получен при замещении дизельного топлива сжиженным природным газом всего до 30%. Снижение выбросов диоксида углерода – углекислого газа (CO_2) объясняется сравнительно низким относительным содержанием углерода (75%) в природном газе метан по отношению к дизельному топливу, где содержание углерода составляет 87%. Необходимо также отметить, что при эксплуатации карьерных самосвалов в газодизельном режиме увеличиваются значения концентрации кислорода (O_2) в выхлопных газах [28].

Эксплуатация в газодизельном режиме на СПГ карьерных самосвалов по отношению к дизельному режиму эксплуатации сопровождается более устойчивыми и постоянными температурами по каждому ряду цилиндров двигателя при относительно небольшом общем ее увеличении, в среднем на 10-15°C, что не отражается критически на работе двигателя. С эколого-экономической точки зрения газодизельные карьерные самосвалы, использующие в качестве энергоносителя СПГ, наиболее эффективны в эксплуатации на сложных участках горных выработок, имеющих большие уклоны, где происходит максимальная нагрузка на двигатель и соответственно идет максимальный расход СПГ, замещающего дизельное топливо [29].

На сегодняшний день в России ключевой проблемой по масштабному внедрению СПГ на транспорте является слабая развитость инфраструктуры его производства, транспортировки и заправочных станций. Однако необходимо отметить, что в России первый интегрированный проект по производству СПГ и модернизации тяжелых карьерных самосва-



Рис. 10. Карьерный самосвал Caterpillar 785C DGB, оснащенный криогенной бортовой топливной системой

Fig. 10. Caterpillar 785C DGB dump truck equipped with an onboard cryogenic fuel system



Рис. 11. Карьерный самосвал Caterpillar 793D DGB оснащенный криогенной бортовой топливной системой

Fig. 11. Caterpillar 793D DGB dump truck equipped with an onboard cryogenic fuel system

лов БелАЗ для обеспечения их эксплуатации в газодизельном режиме успешно реализовала группа компаний: ООО «Ресурс» (г. Новокузнецк); ООО «Сибирь-Энерго» (г. Новокузнецк); ООО «Техно-Эко» (г. Прокопьевск) при техническом и научном сопровождении ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»; ООО «КАМСС» (г. Новокузнецк); ФГБОУ ВО КузГТУ (г. Кемерово)

В ходе реализации проекта в 2017 году введена в эксплуатацию первая очередь завода по сжижению природного газа производственной мощностью 1,5 тонны в час (рис. 6). Создана заправочная инфраструктура, включающая современные, не имеющие аналогов в РФ криогенные передвижные автозаправщики (рис. 7) и заправочные площадки на участках горных выработок (рис. 8). При научном и инженерном сопровождении ученых Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева разработан технический проект по модернизации

карьерных самосвалов БелАЗ 75131 (грузоподъемностью 130 тонн) для их работы по газодизельному циклу. Данный технический проект был согласован заводом изготовителем карьерных самосвалов ОАО «БЕЛАЗ». В рамках работы над проектом было разработано и внедрено несколько модификаций криогенных бортовых топливных систем (КБТС) для тяжелых карьерных самосвалов БелАЗ 75131. Разработан уникальный измерительный комплекс, позволяющий обеспечивать равномерность подачи газа в цилиндры ДВС, обеспечивать устойчивость его работы, исключить детонацию при работе двигателя в газодизельном режиме и, наконец, отслеживать расход газа в текущий момент времени, а также за определенный период времени. По состоянию на июль 2021 года оснащены криогенными бортовыми топливными системами и успешно эксплуатируются в газодизельном режиме 68 карьерных самосвалов БелАЗ 75131 (рис. 9) [1, 26, 28, 30-32].

Успешная реализация данного проекта позволила в 2021 году внедрить технические разработки на ОАО «БЕЛАЗ» (Республика Беларусь, г. Жодино), и предприятие приняло решение о запуске в серийное производство газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 7513С, оснащенных криогенными бортовыми топливными системами, использующими в качестве альтернативного энергоносителя (моторного топлива) сжиженный природный газ (СПГ) – метан.

За рубежом в таких странах, как Франция, Великобритания, Нидерланды, Германия, Япония, Италия, Индия, Страны Латинской Америки и США, отчетливо наметилась тенденция к использованию СПГ на грузовом автотранспорте. Исследования последних лет, выполненные фирмами Ford, MAN, Saviem, Toyo Menka и др., показали техническую возможность и эколого-экономическую целесообразность широкого использования СПГ на автотранспорте, в том числе и тяжелой карьерной технике [8,10,12,13].

На сегодняшний день за рубежом наиболее продвинутым и удачно реализуемым проектом по переводу тяжелых карьерных самосвалов на двухтопливный (газодизельный) режим работы можно с уверенностью считать проект, реализованный компанией

Caterpillar (США). Так, в Мексике с 2016 года и в Турции с 2018 года на золотодобывающих рудниках эксплуатируются в тестовом режиме первые тяжелые карьерные самосвалы Caterpillar 785C DGB (грузоподъемностью 130 т) (рис. 10) и Caterpillar 793D DGB (грузоподъемностью 220 т) (рис. 11), оснащенные криогенной бортовой топливной системой и работающие в двухтопливном (газодизельном) режиме с использованием СПГ – метан.

Карьерные самосвалы Caterpillar, оснащенные криогенной бортовой топливной системой DGB и эксплуатирующиеся в экспериментальном режиме на предприятиях в Мексике и Турции, позволили добиться экономии в 30% на топливе. Используя систему DGB, горнодобывающие предприятия снизили стоимость владения самосвалами на 30%. Средний коэффициент замещения дизельного топлива сжиженным природным газом составил 65%, пиковый – 85%. Сохранилась также возможность эксплуатации самосвалов только на дизельном топливе. Полевые испытания подтвердили эффективность и надежность переоборудованных машин. Надежность работы систем DGB подтверждена общей наработкой криогенного оборудования более 10 млн моточасов. Значительно снизилась экологическая нагрузка на окружающую среду в виде снижения выбросов диоксида углерода – углекислого газа (CO₂). Снизилась загазованность промышленной площадки горной выработки.

Заключение

С учетом масштабов использования тяжелых карьерных самосвалов в горнодобывающей промышленности России назрела острая необходимость в использовании альтернативных видов энергоносителей как одного из способов снижения техногенного воздействия на окружающую среду. Проведенный анализ показал, что по оценке совокупного ряда факторов применительно к тяжелым карьерным самосвалам из возможных альтернативных видов энергоносителей сжиженный природный газ (СПГ) представляет наибольшую перспективу. Единственным успешно реализованным в России интегрированным проектом по использованию СПГ в качестве моторного топлива на тяжелых карьерных самосвалах можно считать проект, осуществленный в Кемеровской области и включающий в себя полный цикл от производства СПГ до его использования в качестве моторного топлива на карьерных самосвалах БелАЗ в рамках одной группы компаний. В свою очередь на сегодняшний день отсутствие достаточных технических и научно обоснованных решений, а также методик по оценке технико-экономических показателей при использовании альтернативных видов энергоносителей на тяжелых карьерных самосвалах сдерживают развитие и реализацию проектов в данном направлении. Поэтому исследования, направленные на обоснование использования альтернативных видов энергоносителей, в частности, сжиженного природного газа (СПГ) на тяжелых карьерных самосвалах как способа снижения техно-

генного воздействия на окружающую среду, во взаимосвязи с экономическими, технологическими и техническими факторами являются актуальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Azikhanov S.S., Bogomolov A.R., Dubov G.M., Nohrin S.A. Development of the instrumentation system for gas-and-diesel fuelled BelAZ dump truck X International Scientific and Practical Conference // «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019): MATEC Web of Conferences. 297, 03001 (2019). DOI: 10.1051/mateconf/201929703001.
2. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Chegoshchev A.A., Ashikhmin V.E. Substantiation of the need to create an eccentric cycloidal gearing transmission of geokhod // IIIth International Innovative Mining Symposium: E3S Web Conferences. 41, 03008 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20184103008.
3. Трухманов Д.С., Дубов Г.М., Чегошев А.А., Ельцов И.Е., Нохрин С.А. Методология оценки технико-экономических показателей криогенных бортовых топливных систем карьерных самосвалов БелАЗ, потребляющих в качестве моторного топлива СПГ // Горное оборудование и электромеханика. 2021. №3. С. 32-38. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-32-38.
4. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Development of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks // X International Scientific and Practical Conference «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019): MATEC Web of Conferences. 297, 03002 (2019). DOI: 10.1051/mateconf/201929703002.
5. Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Григорьева Е.А., Нохрин С.А. Анализ причин роста концентрации свинца в отработавшем масле ДВС КТА 50 карьерных самосвалов БелАЗ 75131, работающих по газодизельному циклу // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 3. С.84-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-84-93.
6. Кузнецов И.В., Паначев И.А., Дубов Г.М., Нохрин С.А. Энергетическая оценка эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ-75131 на разрезах Кузбасса // «Справочник. Инженерный журнал» // 2019. №4(265). С. 19 - 23. DOI: 10.14489/hb.2019.04.pp.019-023.
7. Kuznetsov I.V., Panachev I.A., Dubov G.M., Nokhrin S.A. Energy assessment of BelAZ-75131 gas-diesel mining dump trucks operation at Kuzbass open casts // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. 174, 03010 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202017403010.
8. Хазин М.Л. Перевод карьерных самосвалов на газ в условиях севера // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2019. Т.19, №1. С. 56-72. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.5.

9. Чернецов, Д.А. Токсичность отработавших газов дизелей и их антропогенное воздействие // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2010. № 10-12(31). С. 54-59.
10. Osorio-Tejada J., Llera E., Scarpellini S. LNG: an alternative fuel for road freight transport in Europe // WIT Transactions on The Built Environment. 2015. Vol. 168. P. 235–246. DOI: 10.2495/SD150211.
11. Litzke W.L., Wegrzyn J. Natural gas as a future fuel for heavy-duty vehicles // SAE Technical Paper. 2001. № 2001-01-2067. DOI: 10.4271/2001-01-2067.
12. Vasilevich B.S., Petrović R., Miljević M., Derdemez I. Transport and distribution of liquefied natural gas // Donnish Journal of Media and Communication Studies. 2016. vol. 2(1), no.2. pp.001-006.
13. Osorio-Tejada J.L., Llera-Sastresa E., Scarpellini S. Liquefied natural gas: Could it be a reliable option for road freight transport in the EU? // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. vol.71, pp.785-795. DOI: org/10.1016/j.rser.2016.12.104.
14. 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. P. 022010. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022010.
15. Cheenkachorn K., Poompipatpong C., Ho C.G. Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas) // Energy. 2013. vol. 53. P. 52–57. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.027.
16. Xing Y., Song H., Yu M. et al. The characteristics of greenhouse gas emissions from heavy-duty trucks in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region in China // Atmosphere. 2016. vol.7, no.9, pp.121-132. DOI: 10.3390/atmos7090121.
17. Song H., Ou X., Yuan J. Wang C.L. Energy consumption and greenhouse gas emissions of diesel/LNG heavy-duty vehicle fleets in China based on a bottom-up model analysis // Energy. 2017. vol. 140, pp.966-978. DOI: 10.1016/j.energy.2017.09.011.
18. Blomerus P., Oulette P. LNG as a fuel for demanding high horsepower engine applications: technology and approaches // Studija. Vancouver: Westport Innovations Inc., 2013.
19. Hu M., Huang W., Cai J., Chen J. The evaluation on liquefied natural gas truck promotion in Shenzhen freight // Advances in Mechanical Engineering. 2017. vol.9, no.6. DOI: 10.1177/1687814017705065.
20. Li J., Wu B., Mao G. Research on the performance and emission characteristics of the LNG-diesel marine engine // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015. vol. 27, pp.945-954. DOI: 10.1016/j.jngse.2015.09.036.
21. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Nokhrin S.A. The use of alternative fuel for heavy-duty dump trucks as a way to reduce the anthropogenic impact on the environment // INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES (FarEastCon-2019): IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 459, 042059 (2020). DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042059.
22. Тарасов П.И., Хазин М.Л., Фурзиков В.В. Факторы, предопределяющие выбор энергоносителя для силовых агрегатов горной и транспортной техники карьеров Якутии // Горная Промышленность. 2017. №3. С. 56-59.
23. Черепанов В.А., Журавлев А.Г., Глебов И.А., Чендырев М.А. Обзор транспорта с электропитанием в фокусе развития горнодобывающих предприятий // Проблемы недропользования. 2019. № 1. С. 33-49. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.033.
24. Хазин М. Л., Штыков С.О. Причины, затрудняющие применение троллейзов в горной промышленности // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 20–21 апреля 2017 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2017. С. 380-382.
25. Хазин М.Л., Тарасов А.П. Эколого-экономическая оценка карьерных троллейзов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т17, №2. С. 166-180. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6.
26. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Kuznetsov I.V., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Prospects for the use of liquefied natural gas as a motor fuel for haul trucks // IVth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences 105, 03018 (2019). DOI: 10.1051/e3sconf/201910503018.
27. Калачева Л.П., Федорова А.Ф. Проблемы использования компримированного природного газа на газозаправочных станциях г. Якутска // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6 (часть 3). С. 395-399.
28. Богомолов А.Р., Азиханов С.С., Дубов Г.М., Григорьева Е.А., Нохрин С.А. Исследование состава выхлопных газов карьерных самосвалов БелАЗ 75131, работающих в дизельном и газодизельном режимах // Горное оборудование и электромеханика. 2021. №2. С. 30-41. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-30-41.
29. Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Азиханов С.С., Григорьева Е.А., Нохрин С.А. Исследование расходов и температурных характеристик карьерных самосвалов БелАЗ 75131, работающих в газодизельном режиме // Горное оборудование и электромеханика. 2021. №3. С. 20-31. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-20-31.
30. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Kuznetsov I.V., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Procedure for haul truck on-board LNG fuel systems performance evaluation // IVth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. 105, 03019 (2019). DOI:10.1051/e3sconf/201910503019.
31. Патент № 2701133, Российская Федерация, МПК В60К 15/07, F17C 13/08 (2006.01). Способ установки криогенных топливных баков на карьерном самосвале: № 2019103118; заявл. 04.02.19; опубл. 24.09.19, Бюл. №27 / Нохрин С.А., Дубов Г.М., Трухманов Д.С.; заявитель ООО "Сибирь-Энерго". – 14 с.: 7 ил.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-19-28

Georgiy M. Dubov^{1*}, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Dmitriy S. Trukhmanov**¹, in Engineering, Senior Lecturer, **Aleksey A. Chegoshev**¹, in Engineering, Senior Lecturer, **Sergey A. Nokhrin**² in Engineering, Deputy General Director for Gasification of Motor Transport, **Ivan E. Eltsov**³, Design Engineer.

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

²«TekhnoEco» LLC, 11 Azovskaya St., Prokopyevsk, 653046, Russian Federation

²«Torginvest» LLC, 25 Sovetskiy Ave., Kemerovo, 650991, Russian Federation

*E-mail: nikokem@mail.ru

REDUCING THE ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT BY USING ALTERNATIVE ENERGY CARRIERS WHEN OPERATING HEAVY DUMP TRUCKS



Article info

Received:

11 September 2021

Revised:

30 September 2021

Accepted:

03 October 2021

Keywords: mining dump truck, electric energy, liquefied petroleum gas, compressed natural gas, liquefied natural gas.

Abstract.

The state-of-the-art of relevance and prospects of using alternative energy carriers for heavy-duty dump trucks as an effective way to reduce the anthropogenic impact on the environment is considered. The analysis of the combination of factors (economic, technological, engineering, safety) determining the possibility and prospects of using alternative energy carriers in the operation of heavy-duty dump trucks in mining industry is carried out. The data are presented on the available experience of using environmentally friendly (alternative) energy carriers for heavy-duty dump trucks: electric energy, liquefied petroleum gas (LPG), compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG). A comparative analysis of a number of indicators is carried out with the identification of their advantages and disadvantages. The studies conducted show that liquefied natural gas (LNG), for a number of objective reasons, seems to be the most promising alternative to diesel of all possible energy carriers in the segment of heavy-duty haulage vehicles. It is said that in Russia, in the Kemerovo region, for the first time, within the framework of one group of companies, an integrated project for the production of liquefied natural gas and its consumption by BelAZ heavy-duty dump trucks was successfully implemented.

For citation Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Chegoshev A.A., Nokhrin S.A., Eltsov I.E. Reducing the anthropogenic impact on the environment by using alternative energy carriers when operating heavy dump trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.5 (157), pp. 19-28. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-19-28

REFERENCES

1. Azikhanov S.S., Bogomolov A.R., Dubov G.M., Nokhrin S.A. Development of the instrumentation system for gas-and-diesel fuelled BelAZ dump truck X International Scientific and Practical Conference // «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019): MATEC Web of Conferences. 297, 03001 (2019). DOI: 10.1051/matecconf/201929703001

2. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Chegoshev A.A., Ashikhmin V.E. Substantiation of the need to create an eccentric cycloidal gearing transmission of geokhod // IIIth International Innovative Mining Symposium: E3S Web Conferences.

41, 03008 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20184103008

3. Trukhmanov D.S., Dubov G.M., Chegoshev A.A., Eltsov I.E., Nokhrin S.A. Technique for evaluating cost-performance ratio of on-board cryogenic fuel systems of LNG-fuelled Belaz mining dump trucks // Mining equipment and electromechanics.. 2021. №3. pp. 32-38. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-32-38

4. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Development of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks // X International Scientific and Practical Conference «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME

2019): MATEC Web of Conferences. 297, 03002 (2019). DOI: 10.1051/mateconf/201929703002

5. Dubov G.M., Bogomolov A.R., Grigorieva E.A., Nohrin S.A. Analysis of the reasons for the lead concentration increase in waste oil of ICE KTA 50 of Belaz 75131 gas-diesel mining dump truck // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2021. № 3. pp. 84-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-84-93

6. Kuznetsov I.V., Panachev I.A., Dubov G.M., Nohrin S.A. Energy evaluation of the operation of gas and diesel dump trucks BelAZ – 75131 on the cuts of Kuzbass // Handbook. An Engineering journal, 4, 265(2019). DOI: 10.14489/hb.2019.04. pp. 019-023

7. Kuznetsov I.V., Panachev I.A., Dubov G.M., Nokhrin S.A. Energy assessment of BelAZ-75131 gas-diesel mining dump trucks operation at Kuzbass open casts // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. 174, 03010 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202017403010

8. Khazin M.L. Transfer of mining dump trucks to gas under the conditions of the north. // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2019, vol.19, no.1, pp.56-72. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.5

9. Chernetsov D.A. Toxicity of the Fulfilled Gases of Diesel Engines and their Anthropogenous Effect. Journal Problems of Contemporary Science and Practice Vernadsky University. 2010. № 10-12(31). pp. 54-59. DOI: 10.17277/issn.1990-9047

10. Osorio-Tejada J., Llera E., Scarpellini S. LNG: an alternative fuel for road freight transport in Europe // WIT Transactions on The Built Environment. 2015. Vol. 168. P. 235–246. DOI: 10.2495/SD150211.

11. Litzke W.L., Wegrzyn J. Natural gas as a future fuel for heavy-duty vehicles // SAE Technical Paper. 2001. № 2001-01-2067. DOI: 10.4271/2001-01-2067

12. Vasilevich B.S., Petrović R., Miljević M., Derdemez I. Transport and distribution of liquefied natural gas // Donnish Journal of Media and Communication Studies. 2016. vol. 2(1), no.2. pp.001-006.

13. Osorio-Tejada J.L., Llera-Sastresa E., Scarpellini S. Liquefied natural gas: Could it be a reliable option for road freight transport in the EU? // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. vol.71, pp.785-795. DOI: org/10.1016/j.rser.2016.12.104

14. 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. P. 022010. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022010

15. Cheenkachorn K., Poompipatpong C., Ho C.G. Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas) // Energy. 2013. vol. 53. P. 52–57. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.027

16. Xing Y., Song H., Yu M. et al. The characteristics of greenhouse gas emissions from heavy-duty trucks in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region in China // Atmosphere. 2016. vol.7, no.9, pp.121-132. DOI: 10.3390/atmos7090121

17. Song H., Ou X., Yuan J. Wang C.L. Energy consumption and greenhouse gas emissions of diesel/LNG heavy-duty vehicle fleets in China based on a bottom-up model analysis // Energy. 2017. vol. 140, pp.966-978. DOI: 10.1016/j.energy.2017.09.011

18. Blomerus P., Oulette P. LNG as a fuel for demanding high horsepower engine applications: technology and approaches // Studija. Vancouver: Westport Innovations Inc., 2013.

19. Hu M., Huang W., Cai J., Chen J. The evaluation on liquefied natural gas truck promotion in Shenzhen freight //Advances in Mechanical Engineering. 2017. vol.9, no.6. DOI: 10.1177/1687814017705065

20. Li J., Wu B., Mao G. Research on the performance and emission characteristics of the LNG-diesel marine engine // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015. vol. 27, pp.945-954. DOI: 10.1016/j.jngse.2015.09.036

21. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Nokhrin S.A. The use of alternative fuel for heavy-duty dump trucks as a way to reduce the anthropogenic impact on the environment // INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES (FarEastCon-2019): IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 459, 042059 (2020). DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042059

22. Tarasov P. I., Khazin M. L., Furzikov V.V. Factors that determine choice of the source of energy source of energy for power units of mining and transport equipment quarries in Yakutia// Mining Industry Journal. 2017. no 3. pp. 56-59.

23. Cherepanov V.A., Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Chendyrev M.A. Overview of transport with rower supply in focus of mining industry development // Subsoil Use Issues. 2019. no 3. pp. 33-49. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.033

24. Khazin M. L., Shtykov S.O. The reasons that hinder the use of trolley cars in the mining industry //Technological equipment for the mining and oil and gas industries: proc. of the XV International Scientific and Technical Conf. Readings in Memory of V. R. Kubachek ed Yu.A. 2017. pp. 380-382.

25. Khazin M.L., Tarasov A.P. Ecological and economic evaluation of quarry trolley trucks // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. 2018/ vol.17, no.2. pp. 166-180. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6

26. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Kuznetsov I.V., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Prospects for the use of liquefied natural gas as a motor fuel for haul trucks // IVth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences 105, 03018 (2019). DOI: 10.1051/e3sconf/201910503018

27. Kalacheva L.P., Fedorova A.F. Problems of using compressed natural gas at gas stations in Yakutsk // International Journal of Applied and Basic Research. 2015. no 6, part 3. pp. 395-99.

28. Bogomolov A.R., Azikhanov S.S., Dubov G.M., Grigorieva E.A., Nohrin S.A. Study of the composition of exhaust gas of dual-fuel gas-diesel Belaz 75131 mining dump trucks // Mining equipment and electromechanics. 2021. no 2. pp. 30-41. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-30-41

29. Dubov G.M., Bogomolov A.R., Azikhanov S.S., Grigorieva E.A., Nohrin S.A. Study of fuel consumption and temperature characteristics of gas-diesel Belaz 75131 dump trucks // Mining equipment and electromechanics..2021. no 3. pp. 20-31. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-20-31

30. Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Kuznetsov I.V., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Procedure for haul truck on-board LNG fuel systems performance evaluation // IVth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. 105, 03019 (2019). DOI:10.1051/e3sconf/201910503019

31. Nohrin S.A., Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Patent 2701133 (The Russian Federation, 2019).

Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Nokhrin S.A., Sergel A.N. Method for installing cryogenic fuel tanks on the deck of BelAZ 7513 mining dump truck // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. 174, 03016 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202017403016