

Дубов Георгий Михайлович^{1*}, кандидат технических наук, доцент, **Трухманов Дмитрий Сергеевич**¹, старший преподаватель, **Чегошев Алексей Александрович**¹, старший преподаватель, **Нохрин Сергей Алексеевич**², заместитель генерального директора по газификации автотранспорта, **Ельцов Иван Евгеньевич**³, инженер-конструктор.

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

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

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

*E-mail: nikokem@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К КРИОГЕННЫМ БОРТОВЫМ ТОПЛИВНЫМ СИСТЕМАМ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ



Информация о статье

Поступила:

13 ноября 2021 г.

Рецензирование:

30 ноября 2021 г.

Принята к печати:

03 декабря 2021 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал БелАЗ, сжиженный природный газ, моторное топливо, криогенная бортовая топливная система, технические требования.

Аннотация.

Рассматривается состояние вопроса об эффективности и актуальности использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива при эксплуатации карьерного транспорта. Приводится анализ преимуществ использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива.

Отмечается, что в сегменте карьерного транспорта, сжиженный природный газ представляется наиболее перспективной альтернативой нефтяным видам моторного топлива. Утверждается, что в России, в Кузбассе, группой компаний впервые успешно реализован интегрированный проект по производству сжиженного природного газа и его потреблению применительно к карьерным самосвалам БелАЗ. Приводятся данные об актуальности и необходимости разработки технических требований на криогенные бортовые топливные системы карьерных самосвалов БелАЗ. Приводятся данные по разработанным группам технических требований к криогенным бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ. Говорится о том, что разработанные технические требования позволили решить ряд задач связанных с разработкой схемных и конструктивных решений по оснащению криогенными бортовыми топливными системами карьерных самосвалов БелАЗ. Утверждается, что разработанные технические требования будут способствовать дальнейшему развитию отечественных проектов по производству и потреблению сжиженного природного газа (СПГ).

Для цитирования: Дубов Г.М., Трухманов Д.С., Чегошев А.А., Нохрин С.А., Ельцов И.Е. Разработка технических требований к криогенным бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 6 (158). – С. 49-58 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-49-58

Введение

Эколого-экономическая эффективность добычи полезных ископаемых открытым способом, напрямую зависит от вида используемого технологического транспорта. Основным видом технологического транспорта, для перевозки горной массы, являются тяжёлые карьерные самосвалы. В себестоимости добычи полезных ископаемых доля транспортных работ может составлять до 40-50%. Таким образом, одной из основных составляющих себестоимости одной тонны добытого полезного ископаемого являются затраты на дизельное топливо [1-4].

Универсальным показателем эффективности эксплуатации карьерных самосвалов является энергоёмкость процесса транспортирования горной массы. При оценке энергоёмкости процесса транспортирования горной массы за единицу измерения энергоёмкости принимаются удельные затраты энергии. Проведённые ранее исследования показывают, что энергоёмкость процесса транспортирования горной массы карьерными самосвалами, работающими в газодизельном режиме (когда осуществляется частичное замещение дизельного топлива сжиженным природным газом (СПГ) - метан) меньше, чем для карьерных самосвалов работающих только на дизельном топливе [5-6].

Частичное замещение дизельного топлива сжиженным природным газом-метан позволяет получить ряд преимуществ при эксплуатации карьерной техники, а именно [1, 7-12]:

- низкая стоимость СПГ по отношению к дизельному топливу позволяет значительно снизить затраты на транспортировку горной массы и тем самым снизить себестоимость добычи полезных ископаемых;
- снижаются выбросы диоксида углерода - углекислого газа (CO₂);
- увеличиваются значения концентрации кислорода (O₂) в выхлопных газах;
- эксплуатация в газодизельном режиме, сопровождается более устойчивыми и постоянными температурами в цилиндрах двигателя карьерного самосвала;
- перевод машин на частичное замещение дизельного топлива сжиженным природным газом не требует существенной конструктивной переделки дизельного двигателя;

В настоящее время проводятся научные исследования, и реализуется ряд инновационных проектов, связанных с переводом на альтернативные источники топлива карьерной техники. Наибольшее распространение получили проекты, связанные с модернизацией технологического транспорта для возможности его эксплуатации в двухтопливном (газодизельном) режиме с использованием в качестве моторного топлива сжиженного природного газа. Это связано с тем, что сжиженный природный газ, представляется наиболее перспективной альтернативой нефтяным видам моторного топлива, что подтверждается рядом исследований в этой области [13-27].

Необходимо также отметить и сегодняшнюю актуальность реализации данного рода проектов подтверждённую последними поручениями Президента правительству РФ в части развития проектов, по производству сжиженного газа (Президент РФ: поручения Пр-2699 от 25.12.2017 г.) и расширения использования газа в качестве моторного топлива (Президент РФ: поручения Пр-743 от 18.04.2018 г.) [28-29].

В программе развития угольной промышленности России к 2030 году планируется увеличение добычи угля до 500 млн. т. в год. Это, в ближайшем будущем, будет стимулировать горнодобывающие компании к использованию на своих промышленных площадках карьерной техники с более высокими показателями эколого-экономической эффективности [30].

Целью данной работы является разработка технических требований к криогенным бортовым топливным системам, устанавливаемым на карьерных самосвалах БелАЗ, и обеспечивающим возможность их эксплуатации в двухтопливном (газодизельном) режиме с использованием сжиженного природного газа - метан.

Результаты и обсуждения

Как известно, тяжёлые карьерные самосвалы в процессе эксплуатации потребляют большой объём дизельного топлива. Например: 130-ти тонный карьерный самосвал БелАЗ потребляет в сутки около двух тонн дизельного топлива. Использование СПГ в качестве моторного топлива, а тем более на тяжёлых карьерных самосвалах, имеет ряд ключевых достоинств: *Экономичность* – напрямую связанная с тем, что стоимость сжиженного природного газа ниже эквивалентного по теплотворной способности объёма дизельного топлива. *Экологичность* - выражается в снижении загазованности промышленных площадок и уменьшении объёма выбросов в атмосферу токсичных, канцерогенных веществ и твёрдых частиц (снижаются выбросы оксидов азота, диоксида углерода, минимизируются выбросы соединений свинца, серы и сажи). Повышается *Безопасность* процесса транспортировки горной массы вследствие того, что температура самовоспламенения природного газа значительно выше, чем у дизельного топлива (дизельное топливо: 315 °С; метан: 540 °С).

На сегодняшний день в Кузбассе, да и в России в целом, первый интегрированный проект по производству СПГ и модернизации тяжёлых карьерных самосвалов БелАЗ, для обеспечения их эксплуатации в газодизельном режиме, успешно реализовала группа компаний: ООО «Ресурс» (г. Новокузнецк); ООО «Сибирь-Энерго» (г. Новокузнецк); ООО «ТехноЭко» (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. 1). Создана заправочная инфраструктура, включающая современные, не имеющие аналогов в РФ, криогенные передвижные автозаправщики и заправочные площадки на участках горных выработок (рис. 2). При научном и инженерном сопровождении учёных Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачёва, разработан технический проект по модернизации карьерных самосвалов БелАЗ 75131 (грузоподъёмностью 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 тяжёлых карьерных самосвалов БелАЗ 75131. Разработан уникальный измерительный комплекс позволяющий обеспечить 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 определённый период времени. По состоянию на июль 2021 года осна-

щны криогенными бортовыми топливными системами и успешно эксплуатируются в газодизельном режиме 68 карьерных самосвалов БелАЗ 75131 (рис. 3) [2, 7, 8, 26, 31, 32].

В настоящее время в России действует два национальных стандарта регламентирующих эксплуатацию автомобильных транспортных средств, оснащённых криогенными бортовыми топливными системами, позволяющими эксплуатировать их на сжиженном природном газе. К ним относятся:

1. ГОСТ Р 56217-2014 Автомобильные транспортные средства, использующие газ в качестве

моторного топлива. Общие технические требования к эксплуатации на сжиженном природном газе, техника безопасности и методы испытаний.

Настоящий стандарт устанавливает технические требования к эксплуатации криогенных бортовых топливных систем, установленных на автомобильных транспортных средствах, работающих на сжиженном природном газе.

2. ГОСТ Р 56218-2014 Автомобильные транспортные средства, работающие на сжиженном природном газе. Криогенные системы питания. Технические требования и методы испытаний.



Рис. 1. Завод по производству сжиженного природного газа (Россия, г. Новокузнецк, ООО «Сибирь-Энерго»)

Fig. 1. Liquefied natural gas plant (Russia, Novokuznetsk, LLC «Sibir-Energo»)



Рис. 2. Стационарная площадка для заправки карьерных самосвалов сжиженным природным газом

Fig. 2. Stationary platform for refueling dump trucks with liquefied natural gas



Рис. 3. Карьерные самосвалы БелАЗ 75131 оснащённый криогенной бортовой топливной системой
 Fig. 3. BelAZ 75131 mine dump truck equipped with an on-board cryogenic fuel system

ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К КРИОГЕННЫМ
 БОРТОВЫМ ТОПЛИВНЫМ СИСТЕМАМ (КБТС)
 КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ

1. Требования к составу КБТС
2. Требования к назначению КБТС
3. Конструктивные требования к КБТС
4. Требования к электромагнитной совместимости КБТС
5. Требования к стойкости и внешним воздействиям
6. Требования к надежности КБТС
7. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта КБТС
8. Требования к транспортированию КБТС
9. Требования к безопасности при эксплуатации КБТС
10. Требования к стандартизации и унификации КБТС
11. Требования к испытаниям КБТС

Рис. 4. Перечень основных групп технических требований к криогенным бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ

Fig. 4. The list of the main groups of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks

Настоящий стандарт устанавливает технические требования к криогенной бортовой топливной системе для автомобильных транспортных средств и методы её испытаний.

Представленные выше национальные стандарты регламентируют технические требования к эксплуатации криогенных бортовых топливных систем, а так же к самим системам, установленным на автомобильные транспортные средства категории М и

Н. В соответствии с ГОСТ Р 52051-2003 к категории М относятся механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров; к категории N относятся механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и предназначенные для перевозки грузов. Карьерные самосвалы БелАЗ нельзя полностью отнести ни к одной из вышеперечисленных категорий транс-

портных средств по ряду объективных причин связанных с особенностями их конструкции и условиями эксплуатации.

Учитывая вышесказанное, очевидным становится тот факт, что действующие национальные стандарты, на криогенные бортовые топливные системы, нельзя полностью применять к технологическому карьерному транспорту, в том числе карьерным самосвалам БелАЗ. Данное обстоятельство привело к необходимости разработки новых технических требований к криогенным бортовым топливным системам именно карьерных самосвалов.

Разработанный перечень основных групп технических требований к криогенным бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ, представлен на рис. 4. Каждая из представленных групп основных технических требований включает в себя необходимые и обязательные подгруппы требований. В качестве примера на рис.5 представлен перечень подгрупп входящих в третью основную группу технических требований к криогенным

бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ.

Представленные выше технические требования к КБТС карьерных самосвалов БелАЗ, были разработаны

с учётом их эксплуатации в условиях Сибири и крайнего Севера. Это является важным показателем, так как основные горнодобывающие компании России ведут свою деятельность именно в этих регионах и основное количество карьерных самосвалов БелАЗ эксплуатируются именно там.

Помимо представленных на рис.4 и рис.5 групп технических требований к криогенным бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ были разработаны дополнительные группы требований. Необходимость разработки дополнительных требований регламентирована действующими государственными стандартами на новые виды оборудования и техники. К ним относятся:

– требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям входящим в комплект

3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КБТС

1. Основные конструктивные требования к КБТС
2. Требования к силовой установке (двигателю) карьерного самосвала
3. Требования к системе хранения и подачи криогенного топлива
4. Требования к размещению КБТС на борту карьерного самосвала
5. Требования к размещению криогенных топливных баков (баллонов) на борту карьерного самосвала.
6. Требования к габаритным размерам КБТС
7. Требования к элементам защиты и предохранительным устройствам КБТС
8. Требования к размещению заправочного устройства на криогенном топливном баке
9. Требования ко времени и процессу заправки КБТС
10. Требования к электрооборудованию КБТС
11. Требования к проводам и кабелям КБТС
12. Требования к устройствам управления, контроля и безопасности КБТС
13. Требования к системе охлаждения двигателя карьерного самосвала
14. Требования к жестким и гибким газопроводам КБТС

Рис. 5. Перечень подгрупп технических требований входящих в основную группу технических требований: «Конструктивные требования к КБТС»

Fig. 5. The list of subgroups of technical requirements included in the main group of technical requirements: «Design requirements for on-board cryogenic fuel systems»

КБТС;

- требования к консервации, упаковке и маркировке КБТС;
- требования к документации и сертификации КБТС.

Актуальность и необходимость разработки технических требований подтверждается также и тем, что карьерный самосвал БелАЗ предназначен для перевозки горной массы в сложных горно-технических условиях глубоких карьеров, на открытых разработках месторождений полезных ископаемых по технологическим дорогам в различных климатических условиях эксплуатации (при температуре окружающего воздуха от - 50°C до +50°C). Кроме этого, разработка схемных и конструктивных решений по модернизации карьерных самосвалов БелАЗ для обеспечения их эксплуатации в двухтопливном (газодизельном) режиме, также требовала на первоначальном этапе провести разработку технических требований к криогенным бортовым топливным системам.

Разработанные технические требования позволили в дальнейшем решить ряд следующих новых задач,

а именно:

- разработать схемные и конструктивные решения по оснащению криогенными бортовыми топливными системами карьерных самосвалов БелАЗ 75131;
- разработать технический проект по модернизации карьерного самосвала БелАЗ 75131 для его работы в двухтопливном (газодизельном) режиме;
- разработать и изготовить опытные образцы криогенных бортовых топливных систем для карьерного самосвала модели БелАЗ 75131;
- провести промышленные испытания опытных образцов криогенных бортовых топливных систем для определения возможности их дальнейшей серийной установки на карьерные самосвалы БелАЗ 75131;
- разработать комплект нормативно-технической и эксплуатационной документации на криогенную бортовую топливную систему карьерного самосвала БелАЗ 75131 (паспорт, руководство по установке и эксплуатации и т.д.).

Заключение

Реализация проектов по производству и потреблению сжиженного природного газа в России находится на начальном этапе своего становления и развития. Слабое присутствие в России собственных крупнотоннажных технологий сжижения природного газа, нормативно-технической и эксплуатационной документации на криогенное бортовое топливное оборудование, ставит российские проекты в зависимость от зарубежных поставщиков технологий, оборудования и сервисных услуг. Разработанные впервые технические требования к криогенным бортовым топливным системам карьерных самосвалов БелАЗ позволят дать дальней-

ший импульс к развитию и реализации отечественных проектов по производству и потреблению сжиженного природного газа применительно к технологическому карьерному транспорту

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Азиханов С.С., Григорьева Е.А., Нохрин С.А. Исследование расходных 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Cheenkachorn K., Poompipatpong C., Ho C.G. Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas) // *tEnergy*. 2013. vol. 53. P. 52–57. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.027.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
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. 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.
29. 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.
30. 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.
31. Патент № 2701133, Российская Федерация, МПК В60К 15/07, F17С 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.

32. 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.

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-49-58

Georgiy M. Dubov^{1*}, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Dmitriy S. Trukhmanov**¹, in Engineering, Senior Lecturer, **Aleksey A. Chegoshchev**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, Vesenniyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

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

³«Torginvest» LLC, 25 Sovetskiy Ave., Kemerovo, 650991, Russian Federation

*E-mail: nikokem@mail.ru

DEVELOPMENT OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR ON-BOARD CRYOGENIC FUEL SYSTEMS OF BelAZ DUMP TRUCKS



Article info

Received:

13 November 2021

Revised:

30 November 2021

Accepted:

03 December 2021

Keywords: BelAZ mining dump truck, liquefied natural gas, motor fuel, on-board cryogenic fuel systems, technical requirements.

Abstract.

The state-of-the-art of the issue of the efficiency and relevance of the use of liquefied natural gas as a motor fuel in the operation of dump trucks is considered. An analysis of the benefits of using liquefied natural gas as a motor fuel is given. It is noted that, liquefied natural gas seems to be the most promising alternative to oil types of motor fuel in the segment of open-pit truck haulage. It is affirmed that in Russia, in Kuzbass, the group of companies for the first time successfully implemented an integrated project for the production of liquefied natural gas and its consumption in relation to BelAZ dump trucks. Data on the relevance and the need to develop technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ mine dump trucks are given. Data on the developed groups of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks are given. It is said that the developed technical requirements made it possible to solve a number of tasks related to the development of circuit and design solutions for equipping BelAZ dump trucks with on-board cryogenic fuel systems. It is argued that the developed technical requirements will contribute to the further development of domestic projects for the production and consumption of liquefied natural gas (LNG).

For citation Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Chegoshchev A.A., Nokhrin S.A., Eltsov I.E. Development of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.6 (158), pp. 49-58. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-6-49-58

REFERENCES

1. 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

2. 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/matecconf/201929703001

3. 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/matecconf/201929703002

4. 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

5. 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

6. 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

7. 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

8. 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

9. 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.

10. 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.

11. 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

12. 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

13. 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

14. 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.

15. 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

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. 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 Symposi-

um: E3S Web of Conferences. 105, 03019 (2019). DOI:10.1051/e3sconf/201910503019

29. 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

30. 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 Sym-

posium: E3S Web Conferences. 41, 03008 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20184103008

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

32. 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