

УДК 629.053

МЕТОДИКА ОСНАЩЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ ДВУХТОПЛИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА БЕЛАЗ

Шарифуллин М.К., магистрант гр. ЭАм - 211, II курс

Нохрин С.А., соискатель кафедры «ГМиК»

Научный руководитель: Григорьев А.В., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева

Российская федерация обладает колоссальными запасами природного газа. Ежегодно, в качестве моторного топлива, потребляется в среднем 650 млн.м³. В соответствии с долгосрочной государственной программой развития производства и потребления газомоторного топлива к 2030 году данный показатель планируется увеличить до 10 млрд. м³ в т.ч. СПГ – до 5,2 млрд. м³. В 2030 году доля СПГ в объеме газомоторного топлива должна составить 49% [1].

В настоящее время руководство Российской Федерации оказывает всестороннюю поддержку инновационным проектам направленным на производство сжиженного природного газа (поручения президента Пр – 2699 от 25 декабря 2017 года), а также поручения президента по расширению применения газа в качестве моторного топлива (Пр – 743 от 18 апреля 2018 года) [2].

Природный газ, на дизельных двигателях, можно использовать для их работы в двух режимах. Таковыми режимами являются газодизельный (двухтопливный) и чисто газовый. Наибольшее практическое распространение получил в настоящее время газодизельный (двухтопливный) режим при котором происходит частичное замещение сжиженным природным газом (СПГ) дизельного топлива [3-20].

Учитывая масштабы 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. Проведённый анализ показал, что по оценке совокупного ряда факторов, применительно к тяжёлым карьерным самосвалам из возможных альтернативных видов энергоносителей, сжиженный природный газ (СПГ) представляет наибольшую перспективу, что, в том числе, подтверждается исследованиями ряда авторов [21-26].

Методика оснащения автоматизированной системой двухтопливного режима работы карьерных самосвалов БелАЗ 7513 (грузоподъёмностью 130 тн) включает комплекс работ по её монтажу на борту карьерного самосвала и разделяется на несколько ключевых этапов, а именно:

1. Подготовительные работы.

Включают в себя перенос (передислокацию) базового (стандартного) оборудования карьерного самосвала самосвал БелАЗ 7513 для освобождения места под установку криогенных топливных баков, а также снятие штатного оборудования на доработку.

2. Сварочные и отрезные работы.

3. Установку и фиксацию на карьерном самосвале оборудования автоматизированной системы двухтопливного режима работы.

4. Соединение электрических и механических разъемов оборудования автоматизированной системы двухтопливного режима работы между собой и базовым оборудованием карьерного самосвала БелАЗ 7513 и его дизельным двигателем внутреннего сгорания Cummins KTA 50-C.

5. Тестовый запуск автоматизированной системы двухтопливного режима работы. Контроль показаний датчиков. Опрессовка газовой линии.

6. Окончательная протяжка всех соединений. Подготовка карьерного самосвала БелАЗ 7513 к выезду из ремонтного бокса.

При осуществлении монтажа электромеханических комплектующих автоматизированной системы двухтопливного режима работы должны соблюдаться следующие основные технические требования, а именно:

➤ Перед началом работ разъемы всех жгутов должны быть защищены специальными заглушками или малярным скотчем, что позволит исключить их случайное загрязнение.

➤ Все резьбовые соединения должны быть защищены от самораскручивания. Для этого применяются пружинные шайбы («гровер»), самостопорные гайки, фиксаторы резьбы. При использовании пружинных шайб необходимо соблюдать верный порядок сборки: [головка болта] - [пружинная шайба] - [шайба] - [фиксируемые детали] - [шайба] - [гайка].

➤ При прокладке кабельных жгутов, металлических рукавов, шлангов и т.д. необходимо избегать их контакта с острыми или нагретыми поверхностями.

➤ Радиусы сгиба кабельных жгутов, металлических рукавов, шлангов и т.д. должны быть достаточно большими, чтобы исключить их заломы.

➤ Расстояния между креплениями кабельных жгутов, металлических рукавов, шлангов и т.д. должны выбираться с таким расчетом, чтобы исключить возможность их свободного раскачивания и провисания.

➤ Резьбовые соединения системы подачи газа должны быть обработаны фланцевым уплотнителем Loctite 5972. Это защитит уплотняющие прокладки от высыхания и снизит вероятность утечки газа.

➤ Работы необходимо проводить при достаточном освещении.

Методика оснащения системой двухтопливного режима работы карьерных самосвалов БелАЗ 7513 в основе своей заключается в разработке оптимальной последовательности или алгоритма монтажа комплектующих входящих в состав автоматизированной системы двухтопливного режима работы. Данный (разработанный) алгоритм представлен в таблице 1 в виде выполнения последовательных операций.

Таблица 1

Последовательность (алгоритм) монтажа комплектующих
входящих в состав автоматизированной электронной системы
двухтопливного режима работы карьерных самосвалов БелАЗ 7513

№	Операция
1	Подготовка элементов крепления топливных (газовых) трубопроводов.
2	Замена штатных болтов головок цилиндров на доработанные болты для установки датчиков детонации.
3	Демонтаж и монтаж патрубков охладителей наддувочного воздуха.
4	Вварка алюминиевой резьбовой втулки в патрубок охладителя наддувочного воздуха.
5	Установка ограничительной пластины в районе валопроворота двигателя.
6	Установка кранштейнов поддержки жгутов.
7	Монтаж точек крепления топливных (газовых) трубопроводов на раме и под палубой карьерного самосвала.
8	Вварка стальных резьбовых втулок в выхлопной трубопровод.
9	Выполнение проема под топливные (газовые) трубопроводы в палубе карьерного самосвала.
10	Установка датчиков детонации.
11	Установка термопар в цилиндры для контроля температуры выхлопных газов.
12	Установка защитных коробов на двигателе Cummins KTA 50-C.
13	Установка инжекторных сборок на двигателе Cummins KTA 50-C.
14	Установка клапанов блокировки системы ступенчатого регулирования опережения впрыска (STC).
15	Установка термопар турбокомпрессоров.
16	Установка датчиков температуры и давления воздуха наддува.
17	Подготовка и установка датчика давления дизельного топлива.
18	Доработка крышки распределительного вала.
19	Доработка распределительного вала.
20	Установка метки датчика положения распределительного вала.
21	Установка датчика положения распределительного вала.
22	Установка датчика положения коленчатого вала.
23	Установка бокса предохранителей питания панели управления.
24	Установка бокса измерения мощности генератора.
25	Установка электронного шкафа управления системы двухтопливного режима работы.
26	Установка крепления дисплея системы двухтопливного режима работы.
27	Прокладка кабельной линии от бокса предохранителей питания панели управления до выключателя "массы" из ящика АКБ самосвала.

Продолжение табл.1

№	Операция
28	Укладка кабельного жгута измерения мощности генератора.
29	Укладка кабельного жгута питания панели управления.
30	Укладка кабельного жгута органов управления в кабине водителя.
31	Укладка и закрепление кабельных перемычек кабельных жгутов двигателя и панели управления.
32	Укладка кабельных жгутов нижнего яруса (инжекторы и датчики)
33	Укладка и подключение кабельных жгутов верхнего яруса (датчики детонации и термопары цилиндров).
34	Установка и подключение органов управления системы двухтопливного режима работы на приборной панели в кабине водителя карьерного самосвала.
35	Укладка и подключение кабельного жгута измерения тока и напряжения генератора в силовом щите карьерного самосвала
36	Подготовка креплений газовой линии на раме сдвоенного криогенного топливного СПГ-бака.
37	Установка газовой линии на раме сдвоенного криогенного топливного СПГ-бака.
38	Монтаж защитного кожуха газовой линии на раме сдвоенного криогенного топливного СПГ-бака
39	Монтаж, подключение и закрепление топливных (газовых) трубопроводов.
40	Присоединение обратной связи регулятора давления.
41	Подключение всех датчиков и органов управления к жгутам (кроме инжекторных сборок).
42	Установка высоковольтных плавких вставок.
43	Подключение инжекторных сборок к жгуту.
44	Проверка герметичности газовой линии, топливных (газовых) трубопроводов, газовых инжекторов.
45	Окончательное закрепление топливных (газовых) трубопроводов на раме двигателя.
46	Укладка кабеля подогрева газовой линии и его фиксация с помощью алюминиевого скотча.
47	Термоизоляция газовой линии.
48	Закрепление кабельного жгута газовой линии.
49	Закрепление топливных (газовых) трубопроводов к палубе карьерного самосвала со стороны газовой линии.

Практика, а также исследования, проведенные рядом авторов показали, что использование в качестве частичного замещения дизтоплива сжиженным природным газом, позволяет получить ряд преимуществ при эксплуатации на участках горных выработок газодизельных самосвалов, а именно [3, 27-29]:

- ✓ модернизация карьерных самосвалов БелАЗ для работы в двухтопливном (газодизельном) режиме не приводит к глобальной реконструкции самого дизельного двигателя;
- ✓ относительно более низкая стоимость природного газа по отношению к дизельному топливу;
- ✓ мощность двигателя остается в соответствии с его паспортными данными;
- ✓ несколько увеличивается ресурс эксплуатации двигателя;
- ✓ снижаются объемы выбросов в атмосферу с выхлопными газами серы, сажи, углекислого газа (диоксида углерода CO_2) и т.д.;
- ✓ снижаются шумовые характеристики дизельного двигателя;
- ✓ вопреки бытующему мнению, повышается безопасность эксплуатации карьерных самосвалов в силу того, что СПГ - метан имеет самую высокую температуру самовозгорания (550°C) по отношению к нефтяному топливу ($250\text{-}300^{\circ}\text{C}$).

Список литературы:

1. Ельцов И.Е., Нохрин С.А. Анализ криогенных бортовых топливных систем обеспечивающих двухтопливный (газодизельный) режим работы карьерных самосвалов // Россия молодая : Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 20–23 апреля 2021 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 103031-103036.
2. Институт энергетических исследований Российской академии наук. – URL: <https://www.eriras.ru>. (дата обращения: 18.03.2023) – Текст: электронный.
3. Хазин, М.Л. Перевод карьерных самосвалов на газ в условиях севера / М.Л. Хазин, А.П. Тарасов / 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.
4. Дубов Г. М., Нохрин С. А., Аксенова О. Ю. Штоцкая А.А., Ельцов И.Е. Обеспечение безопасной эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов БЕЛАЗ 75131 и БЕЛАЗ 75306 использующих в качестве моторного топлива сжиженный природный газ – метан // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 1. – С. 83-90.
5. Дубов Г. М., Богомолов А. Р., Темникова Е. Ю., Созинов С.А., Нохрин С.А. Выявление причины разрушения двухкомпонентного поршня двигателя газодизельного карьерного автосамосвала // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – № 6. – С. 53-63. – DOI 10.21440/0536-1028-2022-6-53-63.

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

7. 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.

8. 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 // E3S Web of Conferences. 174, 03010 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202017403010.

9. 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 // E3S Web of Conferences 105, 03018 (2019). – DOI: 10.1051/ e3sconf /201910503018.

10. 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.

11. Bogomolov A.R., Dubov G.M., Azikhanov S.S. Comparative analysis of the concentration of CO₂, CO, CH₄, and O₂ in the exhaust gases of BelAZ dump trucks that use liquefied natural gas as a motor fuel // Nexo Scientific Journal – 2022. – Vol. 35, No. 2. – P. 552-565. – DOI 10.5377/nexo.v35i02.14634.

12. 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.

13. Dubov G.M., Bogomolov A.R., Azikhanov S.S., Strelnikov P.A., Nokhrin S. S. Temperature parameters in the combustion chambers of CUMMINS KTA-50 engines operat-ing on various fuels under different fuel con-sumption rates // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03011.

14. 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 // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 459, 042059 (2020). – DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042059.

15. 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.

16. 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 // E3S Web of Conferences. 105, 03019 (2019). – DOI: 10.1051/e3sconf /2019 10503019.

17. Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Нохрин С.А., Трухнов Л.И. Исследование коррозионного влияния охлаждающей жидкости на двигатель Cummins KTA 50 газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131 // Инновации в машиностроении: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции / под ред. С.И. Василевской, Ю.С. Кудрявцевой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – С. 279-286.

18. Dubov G.M., Bogomolov A.R, Grigorieva E. A., Strelnikov P.A., Nokhrin S.A. Study of corrosion characteristics of motor oils used in gas-diesel engines of BelAZ mining dump trucks // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021.

19. 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.

20. 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». – Москва: «СПЕКТР». – 2019. – №4 (265). С. 19 - 23. – DOI: 10.14489/hb. 2019.04. pp. 019-023.

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

22. 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.

23. 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 // MATEC Web of Conferences. 297, 03001 (2019). – DOI: 10.1051/matecconf/201929703001.

24. Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Азиханов С.С., Нохрин С.А. Разработка измерительного комплекса для карьерного самосвала БелАЗ, работающего по газодизельному циклу // Инновации в машиностроении: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции / под

ред. С.И. Василевской, Ю.С. Кудрявцевой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – С. 287-294.

25. Патент № 2701133. Российская Федерация, МПК B60K 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.

26. 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 // E3S Web of Conferences. 174, 03016 (2020). – DOI: 10.1051/e3sconf/202017403016.

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

28. Герасимов В.Е. Перевод карьерных самосвалов с использованием бортовых топливных систем сжиженного природного газа / В. Герасимов, В. Передельский, В. Дарбинян // НМ-оборудование. – 2005. – № 1. – С. 29–33.

29. Герасимов В.Е. Использование на борту сжиженного природного газа топливных систем для открытых карьеров / В.Е. Герасимов, Р.В. Дарбинян // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2005. – № 8. – С. 21–23.