

УДК 622.684

Ельцов И.Е.¹, аспирант ПБа-211
Чегошев А.А¹, старший преподаватель
Нохрин С.А.², заместитель генерального директора
по газификации автотранспорта

¹Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева

²Общество с ограниченной ответственностью «ТехноИко»

Eltsov I.E.¹, postgraduate student PBa-211
Chegoshev A.A.¹, senior lecturer
Nokhrin S.A.², deputy general director for gasification of motor transport

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²«TekhnoEco» Limited Liability Company

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СЖИЖЕННОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ
ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ
СЕРИИ БелАЗ 7513**

**ENSURING INDUSTRIAL SAFETY WHEN OPERATING 7513 SERIES
GAS-DIESEL BelAZ MINING DUMP TRUCKS ON
LIQUEFIED NATURAL GAS**

Мировой рост промышленного производства сопровождается повышенным спросом на минеральные полезные ископаемые и в частности угля. Разработка месторождений угля открытым способом занимает на сегодня лидирующие позиции, что в свою очередь предопределяет значительный спрос на современный карьерный транспорт, обладающий высокими эколого-экономическими эксплуатационными показателями. Как известно, транспортировка горной массы на участках горных выработок, сопровождается достаточно высокими затратами оказывающими значительное влияние на конечную себестоимость одной тонны добытого полезного ископаемого. По этой причине, эффективность разработки месторождений полезных ископаемых напрямую зависит от используемого для перевозки вскрышных пород и твердых минеральных ресурсов вида технологического транспорта [1-4].

На участках горных выработок, транспортировка горной массы осуществляется тяжелыми карьерными самосвалами с дизельными ДВС. В Кузбассе, да и в России в целом, транспортные участки карьеров и разрезов угледобывающих компаний в основном оснащены тяжелыми

карьерными самосвалами БелАЗ, различной грузоподъемности. Использование данного вида карьерной техники сопровождается колоссальным потреблением дизельного топлива и, как следствие, значительным техногенным воздействием на окружающую среду выражаемое во вредных выбросах в атмосферу токсичных (канцерогенных) веществ. Одним из способов по снижению вредных выбросов и повышению экономической эффективности транспортировки горной массы, является использование альтернативных источников энергии. На сегодняшний день наиболее перспективным альтернативным топливом для карьерной техники представляется сжиженный природный газ – метан (СПГ-метан) [5-10].

СПГ-метан является экономичным, экологически чистым и безопасным видом моторного топлива. Энергоэффективность процесса транспортировки горной массы карьерными самосвалами, работающими в двухтопливном (газодизельном) режиме выше, чем для карьерных самосвалов, работающих только на дизельном топливе. При использовании СПГ-метан в качестве газомоторного топлива снижается загазованность промышленных площадок горнодобывающих карьеров, снижается содержание токсичных и канцерогенных веществ в отработавших газах ДВС карьерных самосвалов, а также затраты на топливо[11-16].

Метан, в отличие от пропана, легче воздуха. При попадании в окружающую среду мгновенно испаряется и улетучивается. В этой связи использование СПГ-метан, как моторного топлива на карьерной технике в процессе транспортировки горной массы – безопасно. Целесообразность использования СПГ-метан также подтверждается тем обстоятельством, что температура его самовозгорания составляет 540 °С в отличие от дизельного топлива и бензина, где температура самовозгорания находится в диапазоне 250 – 320 °С. Вызываемый продуктами его сгорания парниковый эффект меньше по сравнению с нефтяными видами топлива, поэтому он безопаснее для окружающей среды. Необходимо также отметить, что метан не содержит свинца и серы, является не токсичным в малых концентрациях, при его сгорании не выделяется копоти, отрицательно сказывающейся на экологии [17].

Одним из важнейших критерии обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ, использующих в качестве моторного топлива СПГ-метан, является разработка схем и установка систем контроля загазованности на борту самосвалов, а также соблюдение требований безопасности при хранении СПГ-метан и заправке им криогенных топливных СПГ-баков.

Для обеспечения безопасной эксплуатации карьерных самосвалов серии БелАЗ 7513 в газодизельном режиме, на его борту устанавливается система контроля загазованности (далее «Система»). Система предназначена для обнаружения и выдачи светового и звукового сигналов водителю самосвала в случае возникновении утечки газа.

Система является стационарным автоматическим одноканальным прибором непрерывного действия. Принцип действия датчиков Системы основан на изменении сопротивления полупроводникового чувствительного элемента в случае присутствия в окружающей среде газа - метан. Забор пробы воздуха из анализируемой среды осуществляется диффузионным способом.

Система состоит из блока коммутации и индикации (далее - БКИ) (рис. 1, поз.1), к которому присоединяются датчики утечки газа "Автогаз-2" (далее - БД) в количестве трех штук (рис. 1, поз.2), соединенных между собой линией LIN связи (рис. 1, поз.7), и выносного контрольного индикатора (светодиода) состояния Системы (далее - КС) (рис. 1, поз.7), устанавливаемого в кабине карьерного самосвала.

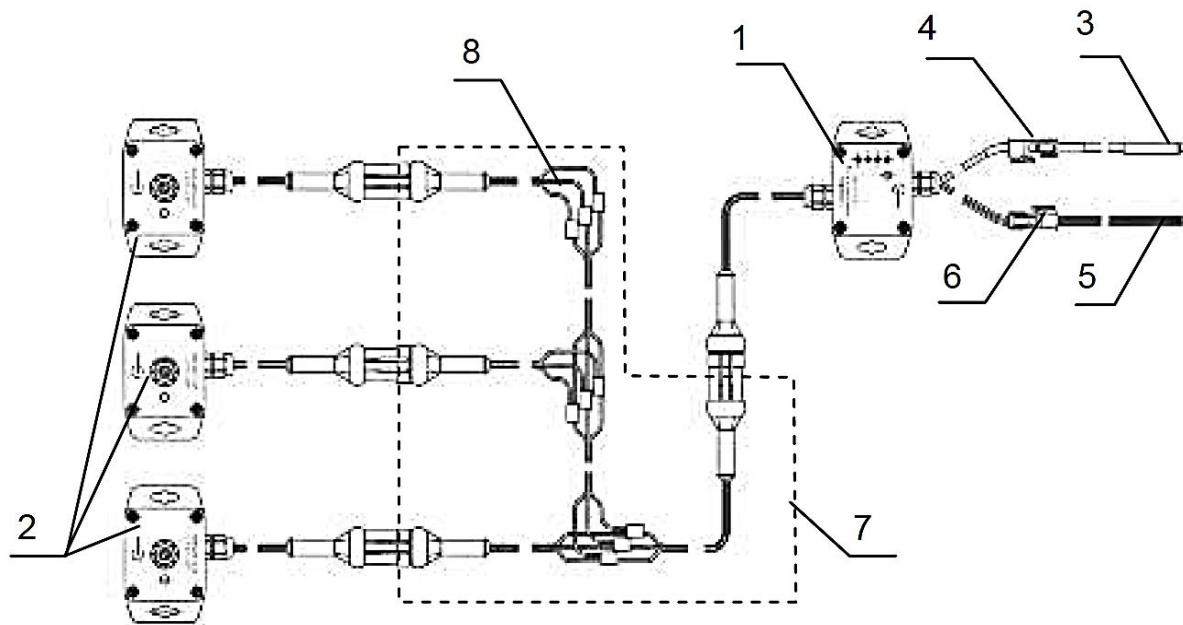


Рис. 1 Схема соединений блоков Системы:
 1 - БКИ; 2 - БД; 3 - контрольный светодиод; 4 - соединители Mini-Fit
 четырехконтактные; 5 - провода питания; 6 - соединители Mini-Fit
 двухконтактные; 7 - линия связи; 8 - соединители скотчлок UB2A.

БД располагаются в местах возможного появления утечки газа и контролируют воздух на наличие его утечки. Всего устанавливается три БД в местах возможной утечки газа на борту газодизельного карьерного самосвала серии БелАЗ 7513:

- первый БД устанавливается под палубой самосвала на специализированной платформе испарителя-регазификатора (рис. 2);
 - второй БД устанавливается в кабине водителя самосвала (рис. 3);
 - третий БД устанавливается на раме сдвоенного криогенного топливного СПГ-бака (рис. 4), размещенного на палубе самосвала;



Рис. 2 Место установки первого БД на специализированной платформе испарителя-регазификатора под палубой газодизельного карьерного самосвала серии БелАЗ-7513

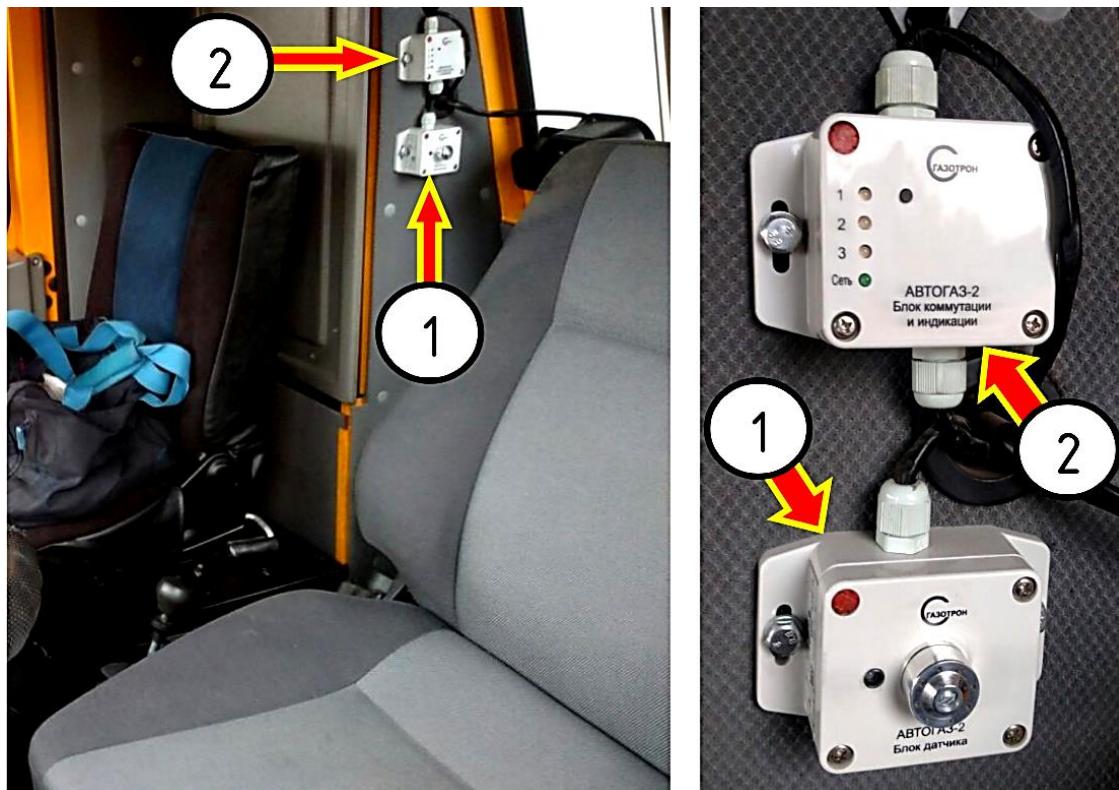


Рис. 3 Место установки второго БД (поз. 1) и БКИ (поз. 2)
в кабине водителя газодизельного карьерного самосвала серии БелАЗ-7513

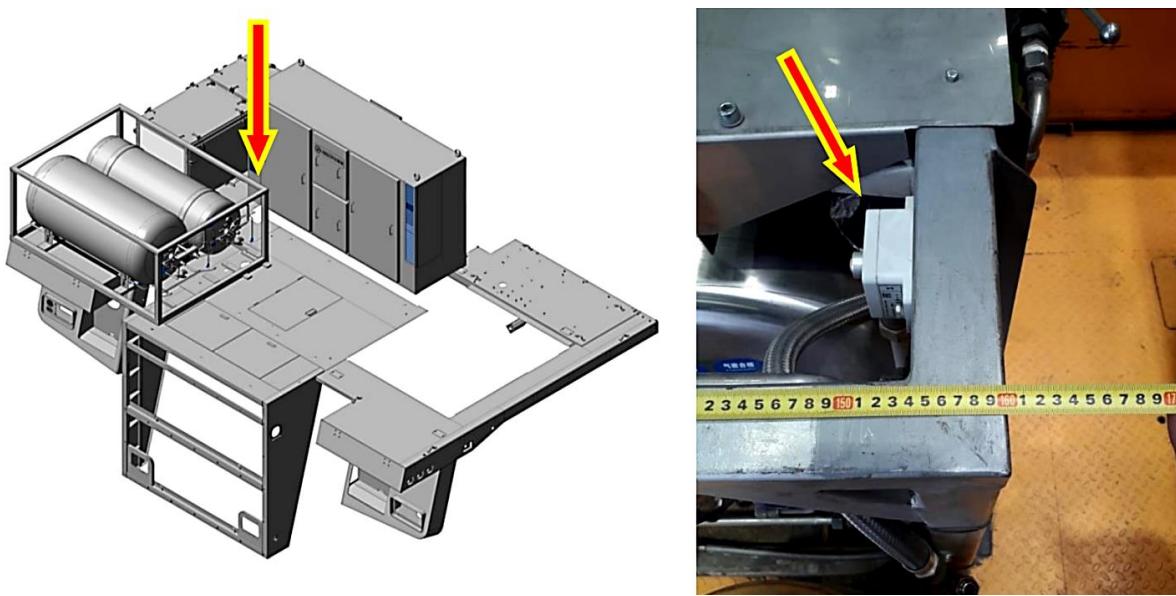


Рис. 4 Место установки третьего БД на раме сдвоенного криогенного топливного СПГ-бака расположенной на палубе газодизельного карьерного самосвала серии БелАЗ-7513

- блок коммутации и индикации (БКИ) устанавливается также в кабине водителя самосвала над БД (рис. 3, поз. 2).

Каждый БД имеет индикатор состояния (светодиод), цвет свечения которого показывает: зеленый - нормальная работа, красный - срабатывание на газ («Авария»), оранжево-желтый - отказ БД.

БКИ осуществляет питание БД (сам он питается от бортовой электрической сети карьерного самосвала), принимает сигналы от БД об их состоянии (рабочем, срабатывании на газ, отказе) и показывает состояние каждого БД световым сигналом. При срабатывании на газ БКИ дополнительно подает звуковой сигнал.

КС устанавливается непосредственно в кабине карьерного самосвала рядом с БКИ (рис. 3, поз. 2) и предназначен для дублирования светового сигнала БКИ.

Внутри криогенных топливных СПГ-баков (рис. 4) образование концентраций метана (взрывоопасных), практически исключено. Это обусловлено тем, что давление во внутренней оболочке СПГ-бака всегда выше атмосферного. В свою очередь при профилактических осмотрах, первоначальном заполнении топливных СПГ – баков, а также ремонтах газовых (технологических) трубопроводов образование взрывоопасных газовоздушных смесей иногда возможно. В этой связи при проведении данного вида работ необходимо исключить наличие рядом источников искрообразования и горения.

Топливные СПГ-баки (рис. 4), с точки зрения пожарной безопасности, являются относительно безопасными объектами. Это объясняется, как

особенностями их конструкции и технологией хранения СПГ-метан, так и его свойствами. Газовоздушная смесь (метан с воздухом) воспламеняется при содержании метана в диапазоне 5-15% мольных. Снижение температуры приводит к сужению области воспламенения и, например, при температуре – 130°C составляет 6-13%. При иных концентрациях метановоздушные смеси не воспламеняются. Скорость горения метана относительно невысока; так, например, при 10% содержании метана она составляет 0,35 м/с. Необходимо также отметить, что смеси метана с воздухом не детонируют.

Минимальная энергия зажигания (наименьшая энергия искры электрического разряда, которой достаточно для воспламенения смеси) метановоздушных смесей выше, чем у других углеводородов, т.е. они воспламеняются хуже. Максимальное давление взрыва метана составляет 0,72 МПа. Это ниже, чем у других углеводородов.

Заправка СПГ-метан криогенных топливных СПГ – баков, расположенных на палубе газодизельного карьерного самосвала БелАЗ 75131 осуществляется на заправочных площадках расположенных на участках горных выработок. Проводится по регламентированной технологии, которая разрабатывается эксплуатирующей службой, исходя из технической документации на криогенный передвижной автозаправщик и на криогенную бортовую топливную систему газодизельного карьерного самосвала БелАЗ 7513.

При осуществлении процесса заправки двигатель газодизельного самосвала не должен работать. Перед заправкой должны быть приняты меры, исключающие самопроизвольное движение карьерного самосвала. При заправке из передвижного газового автозаправщика обеспечивается его заземление. Подсоединение и отсоединение заправочного устройства (шланга) к заправочной горловине, криогенного топливного СПГ – бака, осуществляют при соблюдении всех мер безопасности связанных с предотвращением утечки СПГ-метан. Движение карьерного самосвала по окончанию заправки необходимо начинать только после отсоединения заправочного устройства и установки заглушки на горловину.

При работе с СПГ-метан необходимо пользоваться защитными очками, защитной маской, утепленными перчатками, носить длинные брюки, рубашку с длинным рукавом и соответствующую обувь. Запрещается курить и использовать открытое пламя рядом с транспортным средством. Не допускать наличие искр, пламени или нагретых частиц в радиусе 2 метров от карьерного самосвала.

В заключении необходимо отметить, что гарантией безопасности при хранении на борту карьерного самосвала СПГ-метан и его заправки в криогенные топливные СПГ – баки является знание и выполнение обслуживающим персоналом правил техники безопасности. Поэтому к работе должны допускаться только обученные сотрудники.

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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/201910503019.
9. 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.

10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Гайнуллин Ф.Г., Гриценко А.И., Васильев Ю.Н., Золотаревский Л.С. Природный газ как моторное топливо на транспорте – М.: Недра, 1986. – 255 с.