

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.684

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-30-40

Дубов Георгий Михайлович^{1, *}, Кузнецов Илья Витальевич¹, Кульпин Александр Геннадьевич¹, Нохрин Сергей Алексеевич², Панченко Кирилл Валерьевич¹

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

² Общество с ограниченной ответственностью «ТехноЭко»

* для корреспонденции: nikokem@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ КОМПОНОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ КРИОГЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ НА ПАЛУБЕ САМОСВАЛА БЕЛАЗ-75131. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ



Информация о статье

Поступила:

01 апреля 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 апреля 2025 г.

Принята к печати:

20 июня 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

Ключевые слова:

карьерный самосвал, палуба, напряжения, деформации, сжиженный природный газ, газодизельный режим работы, криогенный топливный бак

Аннотация.

Одним из ключевых элементов криогенной бортовой топливной системы (КБТС) газодизельного карьерного самосвала БелАЗ серии 75131 является криогенный топливный бак (КТБ), предназначенный для хранения на борту самосвала необходимого запаса моторного топлива – сжиженного природного газа (СПГ). КТБ обладает емкими габаритами и массой, что обусловлено достаточно высоким расходом моторного топлива карьерными самосвалами БелАЗ-75131 грузоподъемностью до 130 тонн. Для модернизации серийно выпускаемых карьерных самосвалов БелАЗ серии 75131 с целью их последующей эксплуатации в газодизельном (двухтопливном) режиме ключевой задачей являлось рациональное и технологичное размещение КТБ на его борту. На основании проведенного анализа, а также с учетом выявленных недостатков и совокупности сопоставления ряда ключевых факторов (конструкционных, технологических, эргономических, экономических) при дальнейшей разработке компоновочных решений по модернизации серийно выпускаемых карьерных самосвалов БелАЗ серии 75131 было установлено, что наиболее рациональным местом размещения КТБ является палуба карьерного самосвала. Результаты исследований напряженно-деформированного состояния модернизированной палубы газодизельного карьерного самосвала БелАЗ-75131 показали, что условия его эксплуатации (в том числе углы наклона технологических трасс) практически не влияют на напряженное состояние несущих элементов палубы. Размещение дополнительного оборудования на палубе карьерного самосвала, а именно рамы с закрепленными в ней криогенными топливными баками, существенно не изменяет напряженно-деформированного состояния палубы. Полученные результаты исследований позволили обоснованно утверждать, что конструкция модернизированной палубы с размещенным на ней дополнительным оборудованием (в частности КТБ) не требует дополнительных конструктивных доработок и изменений.

Для цитирования: Дубов Г.М., Кузнецов И.В., Кульпин А.Г., Нохрин С.А., Панченко К.В. Обоснование компоновочного решения по размещению криогенных топливных баков на палубе самосвала БелАЗ-75131. Статический расчет // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 3 (179). С. 30-40. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-30-40, EDN: IGFDQC

Введение

Эффективность горнодобывающей промышленности напрямую зависит от используемого техно-

логического оборудования, в частности карьерного транспорта, осуществляющего транспортировку вскрышных пород и полезных ископаемых. В Рос-

сии одним из наиболее распространенных видов карьерной техники являются карьерные самосвалы БелАЗ серии 75131 грузоподъемностью 130 тонн.

Условия эксплуатации тяжелых карьерных самосвалов задают тенденции в области проектирования новых и модификаций основных рабочих систем машин. В последнее время все больше внимания как производителями, так и научным сообществом уделяется проектам, связанным с использованием альтернативных энергоносителей, а именно моторных топлив, при эксплуатации тяжелой карьерной техники. В частности, особое внимание уделяется такому виду энергоносителя, как сжиженный природный газ (СПГ) [1-7].

СПГ – метан обладает рядом преимуществ по сравнению с дизельным топливом и таковыми являются его низкая стоимость, экологичность и безопасность применения в качестве моторного топлива. Это подтверждают исследования последних лет как отечественных, так и зарубежных ученых [8-11].

В свою очередь использование СПГ – метан в качестве моторного топлива в виде монотоплива либо в качестве частичного замещения дизельного топлива (реализация газодизельного – двухтоплив-

ного режима работы) предполагает оснащение карьерного самосвала криогенной бортовой топливной системой (КБТС), в состав которой входит один из ключевых ее элементов – криогенный топливный бак (КТБ) [12-18].

Расположение дополнительного оборудования различного назначения приводит к увеличению нагрузок на несущие металлоконструкции, а также к росту напряжений и деформаций в опасных зонах. Для модернизации серийно выпускаемых карьерных самосвалов БелАЗ серии 75131 с целью их последующей эксплуатации в газодизельном режиме ключевой задачей являлось рациональное и технологичное размещение криогенных топливных баков на их борту.

Рациональность установки обуславливалась следующими критериями:

- технологическими (обеспечить достаточным запасом моторного топлива – СПГ работу карьерного самосвала в бездозаправочном режиме в течение одной рабочей смены);
- конструктивными (обеспечить сохранение заводских габаритных размеров карьерного самосвала при установке на его борту дополнительного оборудования – КТБ);

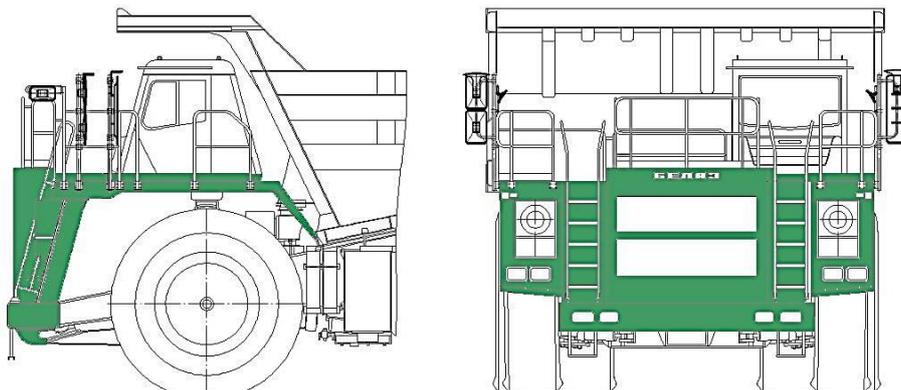


Рис. 1. Общий вид палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131
Fig. 1. General view of the BelAZ-75131 dump truck deck



Рис. 2. Расположение криогенного топливного бака на палубе карьерного самосвала БелАЗ-75131
Fig. 2. Location of the cryogenic fuel tank on the deck of the BelAZ 75131 mining dump truck



Рис. 3. Усиление места опирания переднего правого свободного края палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131

Fig. 3. Reinforcement of the resting place of the front right free edge of the BelAZ-75131 quarry dump truck deck

- эргономическими (обеспечить доступность технического обслуживания и ремонта КТБ, а также эффективность заправки СПГ);
- эксплуатационными (обеспечить безопасность эксплуатации КТБ в процессе транспортировки горной массы);
- затратными (минимизировать финансовые и материальные вложения на модернизацию).

Палуба большегрузного самосвала представляет собой цельносварную листовую конструкцию, на которой в стандартной комплектации располагаются: кабина, баллоны пневмостартерного пуска двигателя, ящик аккумуляторных батарей, расширительный бачок, блок резисторов, силовой ящик, инструментальный ящик, ограждение (Рис. 1).

В модернизированном варианте газодизельного

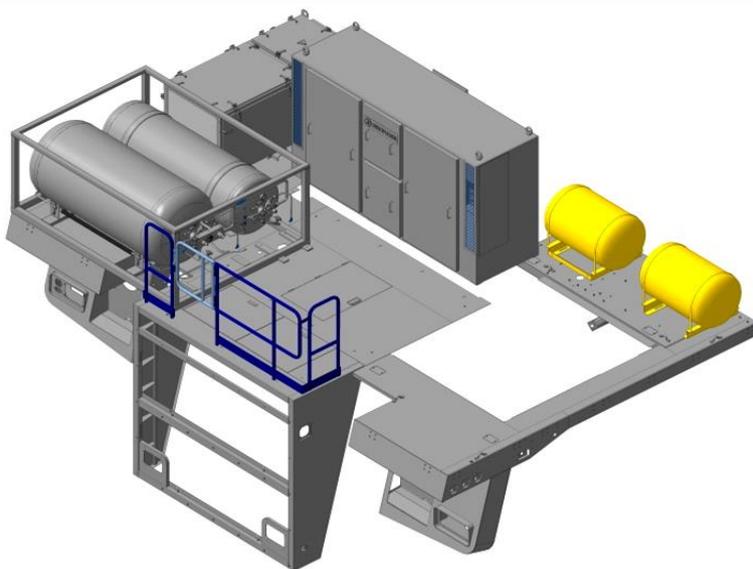


Рис. 4. 3D-модель палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131

Fig. 4. 3D model of the deck of the BelAZ-75131 mining dump truck

карьерного самосвала БелАЗ-75131 на палубе размещена еще и рама с закрепленным в ней криогенным топливным баком (спаркой из двух горизонтальных баков объемом 850 и 500 литров), а также газовой линией, расположенной в периметре рамы (Рис. 2).

Анализ возможных вариантов компоновки по размещению криогенной бортовой топливной системы и в частности криогенных топливных баков на палубе карьерного самосвала БелАЗ-75131 производился в автоколонне 2015 (г. Новокузнецк), а также на заводе-производителе самосвалов ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ» (г. Жодино, Республика Беларусь). В качестве консультантов выступали сотрудники конструкторского отдела по карьерной технике ОАО «БЕЛАЗ».

Методы исследования

Наблюдения за состоянием металлоконструкций палубы газодизельного карьерного самосвала БелАЗ-75131 с использованием средств и методов визуального контроля и тензометрии проводились на Талдинском угольном разрезе (Кузбасс) в период 2022-2024 гг. В результате наблюдений были установлены зоны повышенного трещинообразования, располагавшиеся в местах опирания переднего правого свободного края палубы самосвала, что приводит к дополнительному усилению (Рис. 3).

Однако стоит отметить, что подобные трещинообразные дефекты определяются и на карьерных самосвалах БелАЗ-75131 без дополнительно установленного криогенного топливного бака. Следовательно, данную проблематику можно обозначить как заводскую.

Для исследования напряженно-деформированного состояния в элементах конструкции палубы модернизированного газодизельного карьерного самосвала БелАЗ-75131 была разработана ее 3D-модель (Рис. 4).

В каждой точке несущих металлоконструкций палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 численным методом определялись компоненты напряжений, деформаций и перемещений путем создания замкнутой системы, состоящей из уравнений статики, физических уравнений и уравнений Коши, используемых в методе конечных элементов (МКЭ). Для создания конечно-элементной модели выбирались тип конечных элементов и модель, характеризующая свойства материала конструкции (Рис. 5).

Создание твердотельной модели палубы, разбивка на конечные элементы, нагружение и опирание системы, а также расчет численных значений напряжений и деформаций выполнялись совместно с ведущими специалистами конструкторского отдела по

карьерной технике ОАО «БЕЛАЗ» (Республика Беларусь) посредством программного комплекса ANSYS.

Размер конечного элемента составил 25 мм, тип элемента представляет собой тетраэдрический второго порядка, количество узлов в сетке 1463857, количество элементов 742990.

На Рис. 6 представлена расчетная схема, где обозначены места закрепления палубы, а на Рис. 7 – действующие на палубу нагрузки.

Напряженно-деформированное состояние металлоконструкций палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 рассчитывалось с учетом технологических и эксплуатационных условий: нагрузка изменялась в зависимости от уклона трассы (0, 30, 60 и 100%), а также учитывалось нахождение машины в состоянии на подъем или спуск.

В качестве примера на Рис. 8 представлены три случая статического состояния самосвала: спуск под уклоном 30%, горизонтальная поверхность (уклон 0%), подъем под уклоном 60%. При этом результирующий вектор сил тяжести $\Sigma \vec{G}$ является суммой сил тяжести от элементов палубы, массы которых представлены в Таблице 1.

Для установления зон концентрации максимальных напряжений и деформаций в системе металлических несущих конструкций палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131, а также определения величин напряженно-деформированного состояния (НДС) прокатных листов в области установки криогенных топливных баков (Таблица 1, строка 6), достаточно при статическом расчете учитывать только силы тяжести рассматриваемых элементов. В случае возникновения напряжений, приближенных к допустимым для заданного материала, необходимо условием являлось проведение дальнейшего расширенного статического расчета, а также выполнения расчета при циклических нагрузках.

Результаты исследования

Результаты статического расчета напряженного состояния элементов палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 при уклоне трассы в 0% и зоны наибольшей концентрации напряжений представлены на Рис. 9. При выполнении статического

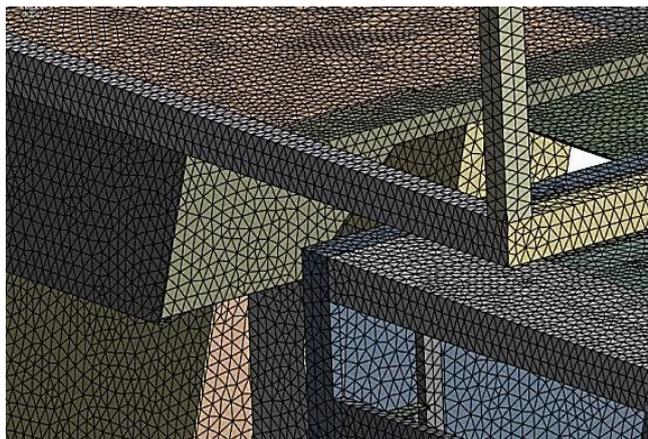


Рис. 5. Конечно-элементная модель палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131

Fig. 5. A finite element model of the BelAZ-75131 quarry dump truck deck

прочностного расчета не учитывались колебания машины от неровностей макропрофиля дороги.

Из Рис. 9 видно, что зоны концентрации наибольших напряжений возникают в местах установки основного (стандартного) заводского оборудования, а именно кабины и силового шкафа. Данные элементы, массы от которых были приложены в точках А и F (Рис. 7), являются частично или полностью самонесущими, т. е. сохраняют свою форму даже без учета опирания на металлические листы палубы. Ввиду того, что их несущие части не моделировались, а массы прикладывались непосредственно к листам палубы, возникли зазоры напряжений, которых на самом деле нет. Эти составляющие устанавливаются и в серийных машинах, с чем, соответственно, никаких проблем по трещинообразованию в указанных местах не наблюдается.

Наибольший интерес для дальнейшего исследования представляет область установки дополнительного оборудования на палубе карьерного самосвала БелАЗ-75131, а именно рамы с закрепленным в ней криогенным топливным баком (спаркой из двух горизонтальных баков объемом: 850 и 500 литров (см. Рис. 4)) (Рис. 10).

Как видно из Рис. 10, напряжения в области

Таблица 1. Исходные данные для расчетов
Table 1. Initial data for calculations

Входные данные		
№	Элемент палубы	Масса, (кг)
1	Кабина водителя в сборе	1370
2	Ящик аккумуляторных батарей (вместе с батареями)	200
3	Баллоны (2 шт.) системы пневмостартерного пуска двигателя	250
4	Расширительный бачок системы охлаждения: без антифриза (с антифризом)	21 (96,25)
5	Силовой шкаф	
6	Криогенный топливный бак-спарка из двух баков 850 и 500 л: без СПГ (с СПГ)	1067 (1617)
7	Материал корпуса палубы: Сталь Ст3СП	
8	Материал приваренных деталей: Сталь 09Г2С	

A: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

- A** Fixed Support
- C** Fixed Support 2
- D** Fixed Support 3
- E** Fixed Support 4
- F** Fixed Support 5
- G** Fixed Support 6

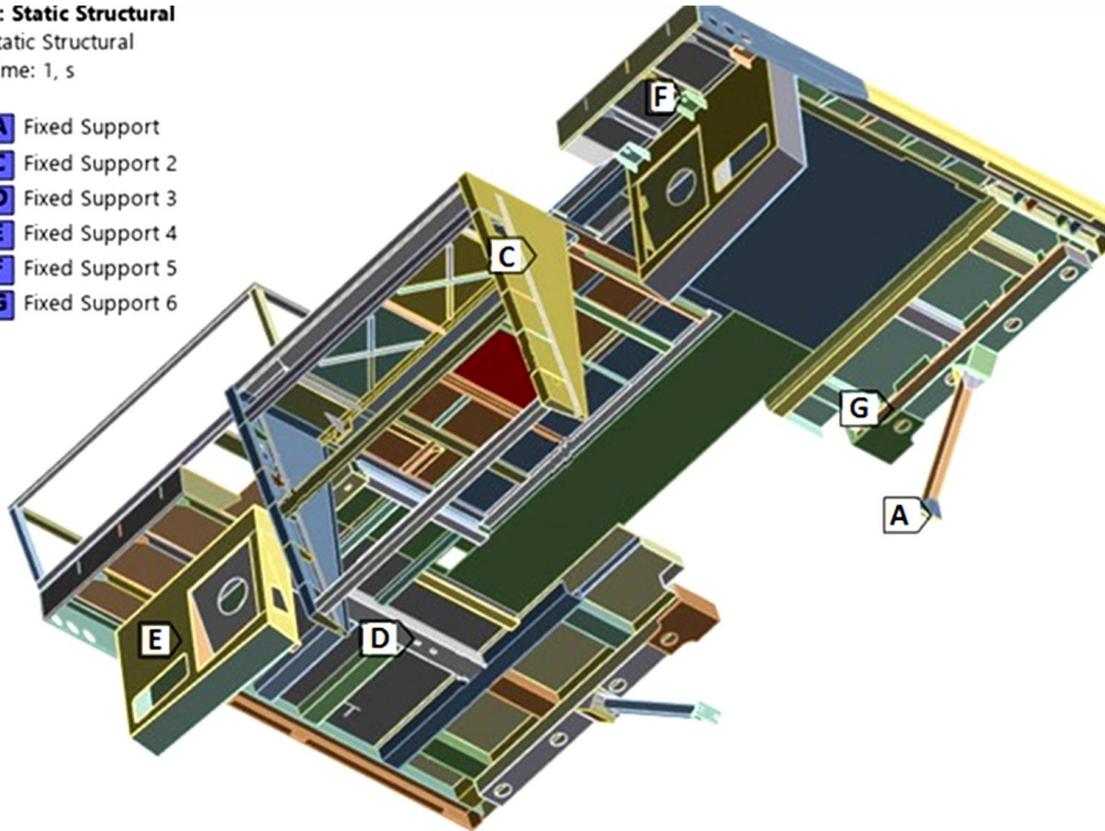


Рис.6. Расчетная схема палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 (места закрепления палубы - вид снизу)
Fig.6. Design diagram of the deck of the BelAZ-75131 dump truck (deck mounting points - bottom view)

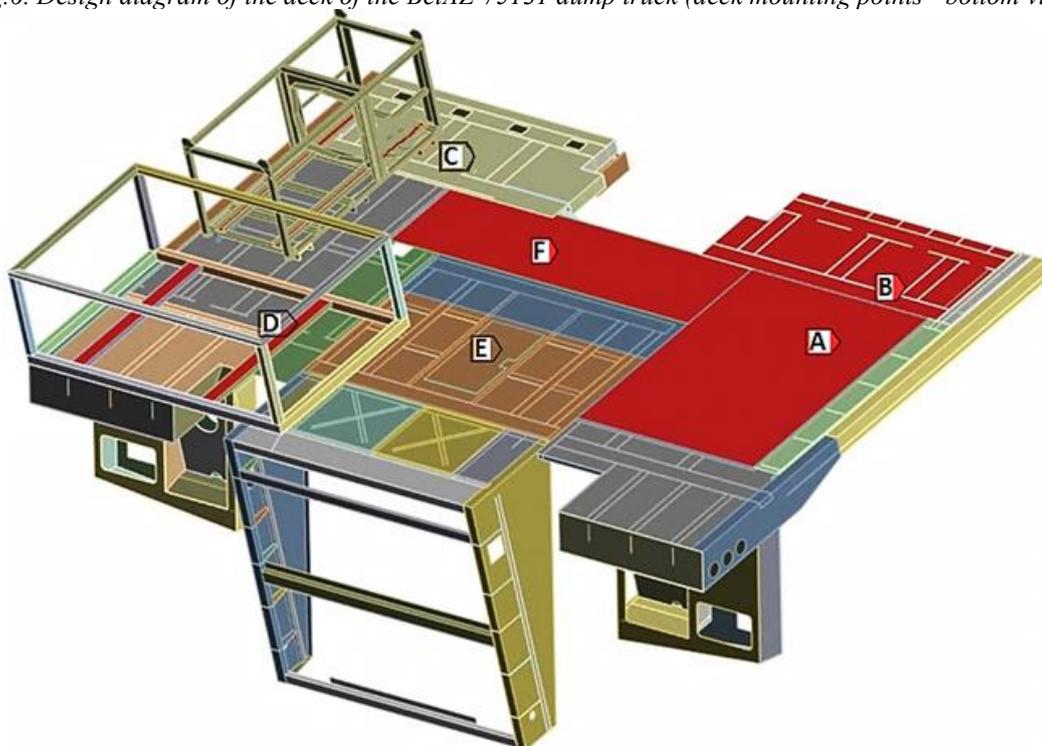


Рис.7. Расчетная схема палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 (действующие на палубу нагрузки)
A – кабина; B – баллоны пневмостартерного пуска двигателя; C – ящик аккумуляторных батарей;
D – криогенный топливный СИГ - бак; E – расширительный бачок; F – силовой шкаф
Fig.7. Design diagram of the deck of the BelAZ-75131 dump truck (loads acting on the deck)
A – cabin; B – cylinders for pneumatic starter start of the engine; C – battery box; D – cryogenic LNG fuel tank;
E - expansion tank; F – power cabinet

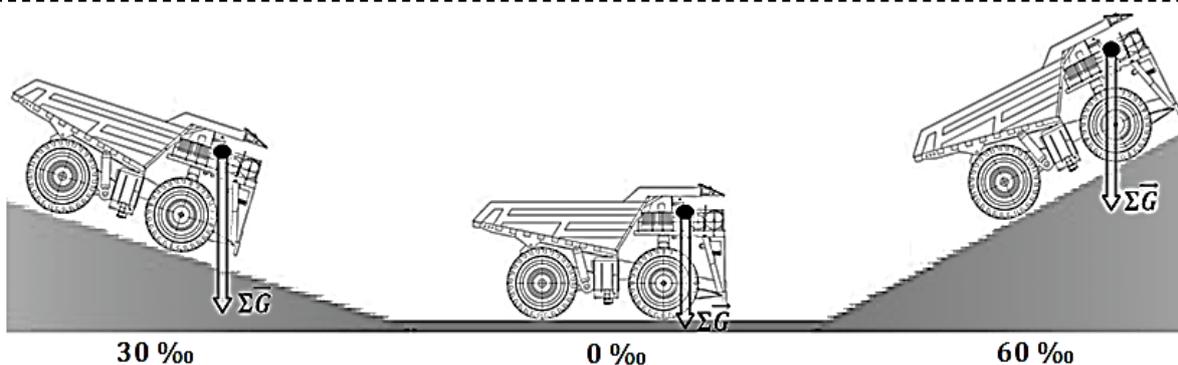


Рис.8. Статические состояния модернизированного карьерного самосвала БелАЗ-75131: спуск под уклоном 30 ‰, горизонтальная поверхность (уклон 0 ‰), подъем под уклоном 60 ‰
 Fig.8. Static conditions of the upgraded BelAZ-75131 mining dump truck: descent at a slope of 30 ‰, horizontal surface (slope of 0 ‰), ascent at a slope of 60 ‰

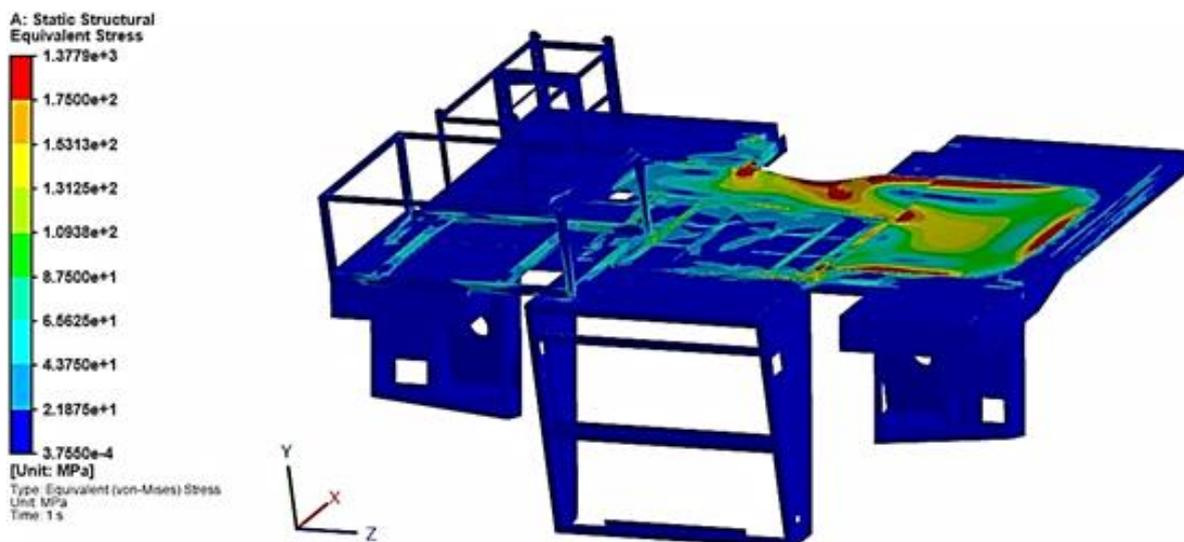


Рис.9. Распределение напряжений в характерных зонах палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 при уклоне трассы в 0 ‰
 Fig.9. Stress distribution in the characteristic deck areas of the BelAZ 75131 dump truck with a slope of 0 ‰

установки криогенного топливного бака с учетом его полного заполнения не превышают 83,524 МПа (предел прочности для стали Ст3СП равен 245 МПа, а для стали 09Г2С равен 225 МПа). Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что рассматриваемая конструкция модернизированной палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 не требует дополнительных проектных и монтажных мероприятий с целью увеличения прочности, жесткости, устойчивости и долговечности системы. Однако для репрезентативной выборки результатов моделирования необходимо произвести расчеты на подъемы и спуски машины в процессе эксплуатации (Рис. 11).

Из Рис. 11 видно, что напряжения в зоне установки криогенного топливного бака изменяются настолько незначительно, что их можно считать постоянными. При этом их значения не превышают 83,524 Мпа, да и в целом картина напряженного состояния несущих конструкций палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 не зависит от техноло-

гических условий эксплуатации: уклонов трассы, движения на подъемы или спуски.

Результаты моделирования деформированного состояния палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 позволили установить поле деформаций и перемещений при заданной геометрии конструкции с учетом свойств материала, действующих нагрузок и граничных условий.

На Рис. 12 представлен общий вид несущих металлоконструкций палубы самосвала и распределение суммарных деформаций. Здесь можно наблюдать, что наибольшие значения деформаций достигаются в зонах установки кабины водителя. Менее всего деформируется под воздействием приложенных нагрузок остальная часть палубы. Деформации в местах установки кабины и силовых агрегатов изменяются в пределах от 21,78 до 97,5 мм.

Обсуждение

Расчетные нагрузки влияют лишь на образование такого вида износа, как усталость металла. В результате большого количества переменных

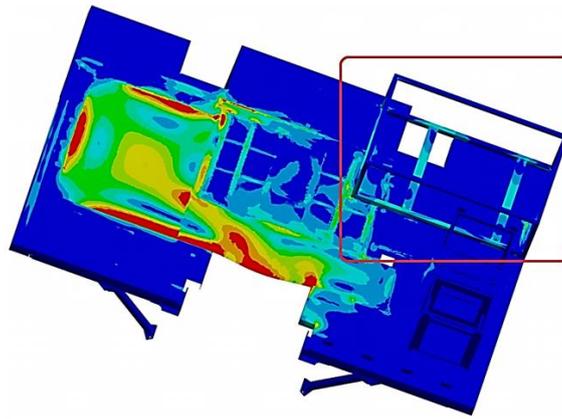


Рис. 10. Распределение напряжений в зоне установки криогенного топливного бака
 Fig. 10. Stress distribution in the cryogenic fuel tank installation area

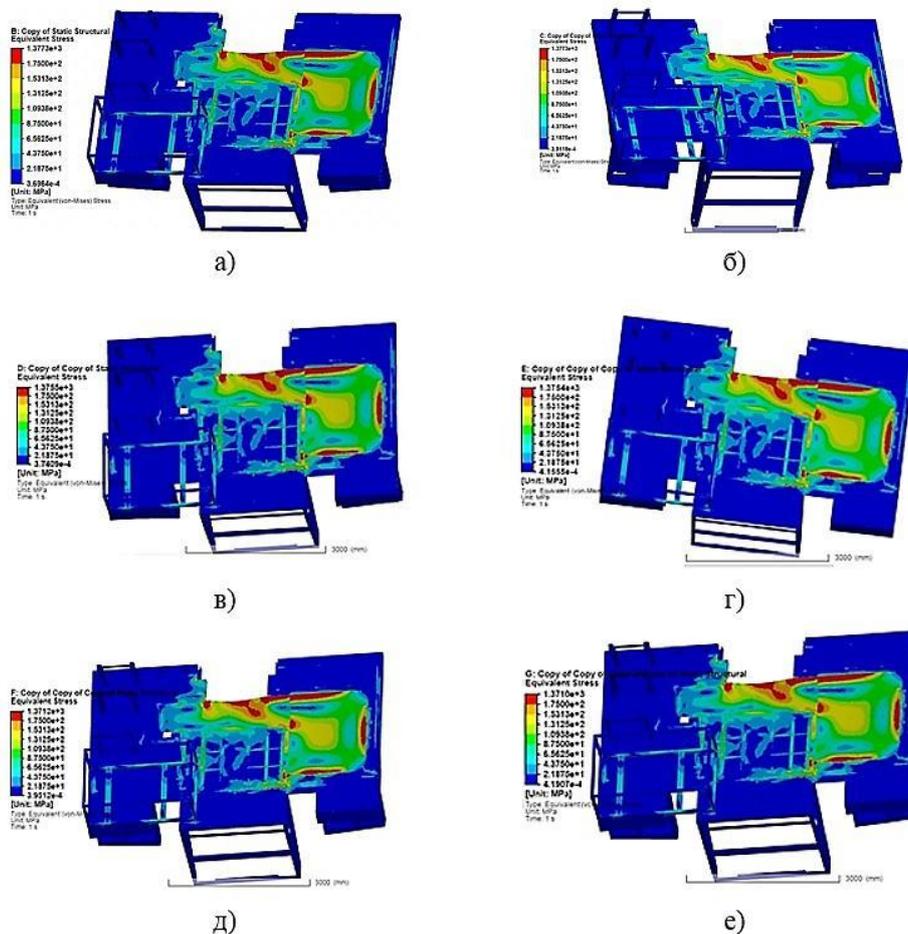


Рис. 11. Распределение напряжений в зоне установки криогенного топливного бака при уклоне технологической трассы на подъем: +30% – (а), +60% – (в), +100% – (д); на спуск: – 30% – (б), – 60% – (г), –100% – (е)
 Fig. 11. Stress distribution in the cryogenic fuel tank installation area with a slope of the technological route for ascent: +30% – (a), +60% – (в), +100% – (д) for descent: – 30% – (б), – 60% – (г), –100% – (е)

нагрузок возникают зоны концентрации напряжений, что приводит к тому, что макротрещины в материале становятся глубже и прогрессируют до полного разрушения.

Результаты анализа напряженно-деформированного состояния несущих металлоконструкций модернизированной палубы газоди-

зельного карьерного самосвала БелАЗ-75131 с криогенным топливным баком позволили установить, что: дополнительное оборудование, а также передислокация базового (стандартного) оборудования при полном укомплектовании не влияет на увеличение величин напряжений и деформаций, а также не создает дополнительных областей их рас-

пределения. Следовательно, при оснащении палубы серийно выпускаемого карьерного самосвала БелАЗ-75131 криогенным топливным баком (спарки из двух горизонтальных баков объемом 850 и 500 литров) дополнительные мероприятия, связанные с усилением конструкции палубы и направленные на сохранение ее прочности, жесткости, устойчивости и долговечности, не являются обязательными и целесообразными.

Первый модернизированный по предложенной компоновочной схеме газодизельный карьерный самосвал БелАЗ-75131 впервые вышел в опытную эксплуатацию на участки горных выработок в 2017 году. В год данный газодизельный карьерный самосвал нарабатывал в среднем порядка 7000 м/часов. Таким образом, в период с 2017 по 2024 гг. общий объем его наработки составил в среднем 56 000 м/часов. В процессе эксплуатации периодически осуществлялся мониторинг палубы и ее крепежных элементов, который показал, что какие-либо нарушения конструкции палубы и ее несущих элементов в виде поломок и трещинообразований отсутствовали. В этой связи целесообразность исследований напряженно-деформированного состояния палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 в динамике (динамических расчетов), т. е. при движении его на спуске и подъеме при различных углах уклона технологической трассы, а также расширенных статических расчетов и расчетов при циклических нагрузках в дальнейшем отсутствовала.

Выводы

С учетом технологических, конструктивных, эргономических, эксплуатационных и затратных критериев разработанное инновационное конструктивное компоновочное решение по модернизации палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 позволяет разместить на ней криогенный топливный бак (спарку из двух горизонтальных баков общим объемом 1350 литров) без критичных конструктивных изменений и доработок базовой (заводской) комплектации палубы.

Исследование напряженно-деформированного состояния модернизированной палубы карьерного самосвала БелАЗ-75131 в зависимости от уклона трасс (0, 30, 60 и 100%) позволило установить, что картина напряженного состояния несущих конструкций модернизированной палубы не зависит от технологических условий эксплуатации карьерного самосвала БелАЗ-75131, а конструкция модернизированной палубы не требует обязательных и дополнительных проектных и монтажных мероприятий с целью увеличения прочности, жесткости, устойчивости и долговечности ее металлоконструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. № 2. Pp. 552–565. DOI: 10.5377/nexo.v35i02.14634.

2. Dubov G. M., Bogomolov A. R., Chernichenko A. V., Nokhrin S. A. Research of the Corrosive Effect of Coolant on the Internal Combustion Engines of Gas-Diesel Mining Dump Trucks // *Technical Physics Letters*. 2024. Vol. 50. № 11. Pp. 30–36. DOI: 10.1134/S1063 7850 24700251.

3. БЕЛАЗ-7558Н: первый в мире 90-тонный самосвал на сжиженном природном газе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zolteh.ru/tekhnika/belaz-7558n-pervyyu-v-mire-90-tonnyu-samosval-na-szhizhennom-prirodnom-gaze>.

4. Дубов Г. М., Дворовенко И. В., Нохрин С. А. Природный газ как перспективная альтернатива дизельному топливу для карьерной техники // Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего: Материалы Международной научно-практической конференции. В 4-х томах, Москва, 17–23 ноября 2023 года. Москва: Российская академия наук, 2024. С. 244–249.

5. Газовые самосвалы БЕЛАЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/18629-gazovye-amosvaly-belaz>.

6. Карьерные самосвалы на газовом топливе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zolteh.ru/tekhnika/karernye-samosvaly-na-gazovom-toplive>.

7. Дубов Г. М., Нохрин С. А., Ходоровский С. К., Черниченко А. В. Сжиженный природный газ, как перспективный вид моторного топлива для карьерных самосвалов // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023. № 23. С. 205–213. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-23-205-213.

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. 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.

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. 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. P. 785–795. DOI: [org/10.1016/j.rser.2016.12.104](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.104).

12. Патент № 2794478. Российская Федерация, МПК В60К 15/07 (2006.01). Способ установки криогенного топливного бака на карьерном самосвале: № 2022133441; заявл. 19.12.2022; опубл. 19.04.2023, Бюл. № 11 / Дробин И. В., Нохрин С. А., Дубов Г. М., Трухманов Д. С., Чегошев А. А., Черниченко А. В., Амосов А. А.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ТехноЭко». 16 с.: 8 ил.

13. 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.

14. Чегошев А. А., Нохрин С. А., Ельцов И. Е. Сжиженный природный газ, как альтернатива дизельному (нефтяному) топливу для карьерных самосвалов БелАЗ // Инновации в машиностроении: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2021. С. 311–318.

15. 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. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2021. С. 103031–103036.

16. Ельцов И. Е., Чегошев А. А., Нохрин С. А. Реконструкция палубы карьерного самосвала БелАЗ 75131 для обеспечения его эксплуатации в газоди-

зельном режиме // Инновации в машиностроении: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2021. С. 303–310.

17. Шарифуллин М. К., Турушев С. В., Черниченко А. В. Обоснование актуальности исследований в области рациональных режимов эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов БЕЛАЗ 7513 // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : Сборник тезисов докладов VIII международной научно-технической конференции, Алчевск, 23–24 октября 2024 года. Алчевск : Донбасский государственный технический университет, 2024. С. 225–227.

18. Нохрин С. А., Турушев С. В., Черниченко А. В., Шарифуллин, М. К., Обоснование актуальности исследований работоспособности газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75306 // Материалы 20-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Тула : Изд-во ТулГУ, 2024. С. 50–57.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Дубов Георгий Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и комплексов, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-8884>, e-mail: nikokem@mail.ru.

Кузнецов Илья Витальевич, заведующий кафедрой строительных конструкций, водоснабжения и водоотведения, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kiv.sm@kuzstu.ru.

Кульпин Александр Геннадьевич, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобилей, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kag.ea@mail.ru

Нохрин Сергей Алексеевич, заместитель генерального директора, общество с ограниченной ответственностью «ТехноЭКО», (Россия, 653046, г. Прокопьевск, ул. Азовская, 11), e-mail: nsa500@mail.ru

Панченко Кирилл Валерьевич, магистрант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kirill603@yandex.ru.

Заявленный вклад авторов:

Дубов Георгий Михайлович – научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы.

Кузнецов Илья Витальевич – постановка исследовательской задачи, выводы, написание текста.

Кульпин Александр Геннадьевич – обработка результатов.

Нохрин Сергей Алексеевич – проведение исследований, обработка результатов.

Панченко Кирилл Валерьевич – обзор литературы, сбор и анализ данных, выполнение расчетов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-30-40

Georgiy M. Dubov^{1,*}, **Iliya V. Kuznetsov**¹, **Alexander G. Kulpin**¹, **Sergey A. Nokhrin**²,
Kirill V. Panchenko¹

JUSTIFICATION OF THE LAYOUT SOLUTION FOR PLACEMENT OF CRYOGENIC FUEL TANKS ON THE DECK OF THE DUMP TRUCK BELAZ-75131. STATIC CALCULATION



Article info

Received:

01 April 2025

Accepted for publication:

30 April 2025

Accepted:

20 June 2025

Published:

26 June 2025

Keywords: dump truck, deck, stresses, strains, deformations, liquefied natural gas, gas-diesel operation, cryogenic fuel tank.

Abstract.

One of the key elements of the cryogenic on-board fuel system (OBFS) of the BelAZ 75131 series gas-diesel dump truck is the cryogenic fuel tank (CFT), designed to store the necessary stock of engine fuel - liquefied natural gas (LNG) - on board the dump truck. The CFT has capacious dimensions and weight, which is caused by rather high consumption of motor fuel by BelAZ-75131 dump trucks with payload up to 130 tons. For modernization of serially produced BelAZ 75131 series dump trucks with the purpose of their further operation in gas-diesel (dual-fuel) mode, the key task was rational and technological placement of CFT on its board. On the basis of the conducted analysis, as well as taking into account the revealed shortcomings and aggregate comparison of a number of key factors (structural, technological, ergonomic, economic), it has been established that the most rational place of CFT placement is the deck of the dump truck when developing layout solutions for modernization of serially produced BelAZ 75131 series dump trucks. The results of the research of the stress-strain state of the modernized deck of the BelAZ-75131 gas-diesel dump truck have shown that the conditions of its operation (including the angles of inclination of technological routes) practically do not affect the stress-strain state of the bearing elements of the deck. Placement of the additional equipment on the deck of the dump truck, namely the frame with the cryogenic fuel tanks fixed in it, did not significantly change the stress-strain state of the deck. The obtained research results allowed to reasonably assert that the design of the modernized deck with the additional equipment (in particular, the CFT) placed on it does not require additional structural modifications and changes.

For citation: Dubov G.M., Kuznetsov I.V., Kulpin A.G., Nokhrin S.A., Panchenko K.V. Justification of the layout solution for placement of cryogenic fuel tanks on the deck of the dump truck BelAZ-75131. Static calculation. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 3(179):30-40 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-30-40, EDN: IGFDQC

REFERENCES

1. 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; 35(2):552–565. DOI: 10.5377/nexo.v35i02.14634.
2. Dubov G.M., Bogomolov A.R., Chernichenko A.V., Nokhrin S.A. Research of the Corrosive Effect of Coolant on the Internal Combustion Engines of Gas-Diesel Mining Dump Trucks. *Technical Physics Letters*. 2024; 50(11):30–36. DOI: 10.1134/S1063785024700251.
3. BELAZ-7558N: the world's first 90-ton dump truck on liquefied natural gas. [Electronic resource]. – Access mode: <https://zolteh.ru/tekhnika/belaz-7558n-pervyy-v-mire-90-tonnyy-samosval-na-szhizhennom-prirodnom-gaze>.
4. Dubov G.M., Dvorovenko I.V., Nokhrin S.A. Natural gas as a promising alternative to diesel fuel for quarry machinery. *Development of productive forces of Kuzbass: history, modern experience, strategy for the*

future: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. In 4 volumes, Moscow, 17-23 November 2023. Moscow: Russian Academy of Sciences; 2024. Pp. 244–249.

5. BELAZ gas dump trucks [Electronic resource]. Access mode: <https://mining-media.Ru/ru/article/transport/18629-gazovye-amosvaly-belaz>.

6. Gas-fueled quarry dump trucks [Electronic resource]. Access mode: <https://zolteh.ru/tekhnika/karernye-samosvaly-na-gazovom-toplive>.

7. Dubov G.M., Nokhrin S.A., Khodorovsky S.K., Chernichenko A.V. Liquefied natural gas as a promising type of motor fuel for quarry dump trucks. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023; 23:205–213. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-23-205-213.

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; 19(1):56–72. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.5.

9. 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; 3:56–59.

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; 87(2):022010. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022010.

11. 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; 71:785–795. DOI: org/10.1016/j.rser.2016.12.104.

12. Patent № 2794478. Russian Federation, MPK B60K 15/07 (2006.01). Method of installation of cryogenic fuel tank on a quarry dump truck: № 2022133441; avt. 19.12.2022; published 19.04.2023, Bulletin № 11 / Drobin I.V., Nokhrin S.A., Dubov G.M., Trukhmanov D.S., Chegoshchev A.A., Chernichenko A.V., Amosov A.A.; applicant Limited Liability Company «TechnoEco». 16 p.

13. Dubov G.M., Nokhrin S.A., Aksenova O.Yu., Shtotskaya A.A., Eltsov I.E. Safe operation of gas-diesel BELAZ 75131 and BELAZ 75306 dump trucks using liquefied natural gas - methane as motor fuel. *Bulletin of scientific center for work safety in coal industry*. 2022; 1:83–90.

14. Chegoshchev A.A., Nokhrin S.A., Eltsov I.E. Liquefied natural gas as an alternative to diesel (petroleum) fuel for BelAZ dump trucks. *Innovations in mechanical engineering: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference*. Novosibirsk: NSTU Publishing house; 2021. Pp. 311–318.

15. Eltsov I.E., Nokhrin S.A. Analysis of cryogenic onboard fuel systems providing dual-fuel (gas-diesel) operation of dump trucks. *Young Russia: Proceedings of XIII All-Russian Scientific-Practical Conference with international participation*. Kemerovo, 20-23 April 2021. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2021. Pp. 103031-103036.

16. Eltsov I.E., Chegoshchev A.A., Nokhrin S.A. Reconstruction of the deck of the BelAZ 75131 dump truck to provide its gas-diesel operation. *Innovations in mechanical engineering: Proceedings of the XII International Scientific-Practical Conference*. Novosibirsk: NSTU Publishing house; 2021. Pp. 303–310.

17. Sharifullin M.K., Turushev S.V., Chernichenko A.V. Justification of the relevance of research in the field of rational modes of operation of gas-diesel dump trucks BELAZ-7513. *Ways to improve technological processes and equipment of industrial production: Collection of abstracts of VIII International Scientific and Technical Conference*. Alchevsk, 23-24 October 2024. Alchevsk: Donbas State Technical University; 2024. Pp. 225–227.

18. Nokhrin S.A., Turushev S. V., Chernichenko A. V. V., Sharifullin, M. K., Justification of the relevance of research into the performance of gas-diesel dump trucks BelAZ 75306. *Proceedings of the 20th International Conference on Mining, Construction and Energy "Socio-economic and Environmental Problems of Mining, Construction and Energy"*. Tula: TulSU Publishing House; 2024. Pp. 50–57.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Georgiy M. Dubov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28, Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-8884>, e-mail: nikokem@mail.ru.

Iliya V. Kuznetsov, Head of the Department of Building Structures, Water Supply and Drainage, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28, Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: kiv.sm@kuzstu.ru.

Alexander G. Kulpin, Senior Lecturer of the Department of Motor Vehicle Operation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28, Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation), kag.ea@mail.ru

Sergey A. Nokhrin in Engineering, Deputy General Director, TechnoEKO Limited Liability Company (11 Azovskaya St., Prokopyevsk, 653046, Russian Federation), e-mail: nsa500@mail.ru.

Kirill V. Panchenko, Master's student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28, Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: kirill603@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Georgiy M. Dubov – scientific management, conceptualization of the study, data collection and analysis, conclusions.

Iliya V. Kuznetsov – setting a research problem, drawing conclusions, writing a text.

Alexander G. Kulpin – processing of results.

Sergey A. Nokhrin – conducting research, processing of results.

Kirill V. Panchenko – reviewing relevant literature, collecting and analysing data, performing calculations.

Authors have read and approved the final manuscript.

