

УДК 622.684

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПО МОДЕРНИЗАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ**

Ходоровский С.К., магистрант гр. КТмз - 221, I курс  
Черниченко А.В., аспирант гр. ГПа - 221, I курс  
Нохрин С.А., соискатель кафедры «ГМиК»  
Шарифуллин М.К., магистрант гр. ЭАм - 211, II курс  
Научный руководитель: Блюменштейн В.Ю., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева

В мировом масштабе запасы минеральных природных ресурсов Российской Федерации являются одними из наибольших. Россия обладает запасами практически всех известных полезных ископаемых, в том числе одним из стратегических энергоносителей - угля. В последнее время национальными горнодобывающими компаниями, поставляющими на мировой рынок минеральные ресурсы, в частности уголь и продукты его обогащения, ведется диверсификация (перераспределение) ключевых рынков их сбыта нацеленных на страны Юго-Восточной Азии и Индии. Данная тенденция, прежде всего, связана с всё возрастающей напряженностью в вопросах мировой геополитики и санкционного воздействия со стороны Западных стран.

Объемы добычи угля в Российской Федерации, согласно программе развития угольной промышленности планируется довести к 2030 г. до 500 млн. тн. в год, что будет связано с освоением новых месторождений Севера, Сибири и Дальнего Востока. Это в свою очередь предполагает развитие производства инновационной горнодобывающей техники, обладающей повышенными эколого-экономическими характеристиками [1].

Как показывает анализ, по мнению ряда авторов, по ряду ключевых показателей применительно к тяжелой горнодобывающей (карьерной) технике, а именно к карьерным самосвалам, наиболее оптимальным, перспективным и альтернативным видом топлива является сжиженный природный газ (далее - СПГ), который на 82% состоит из метана [2].

Проведенные ранее исследования эксплуатационных характеристик работоспособности газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131, говорят о том, что оснащение их криогенными бортовыми топливными системами (далее - КБТС) является одним из инновационных и многообещающих направлений их модернизации, существенно повышающих их технологические возможности и уровень [3,4].

Перспективность и экономическую эффективность использования СПГ - метан, в качестве моторного топлива на карьерной технике используемой на участках горных выработок угледобывающих компаний Кузбасса

так же подтверждает факт наличия гигантских запасов газа метан в угольных пластах региона. Перед функционирующей в Кузбассе на протяжении ряда лет дочерней структурой компании «Газпром» - ООО «Газпром добыча Кузнецк» сегодня поставлена задача – обеспечить к 2025-му году уровень ежегодной добычи угольного метана в объеме порядка 4 млрд. м<sup>3</sup>. На сегодняшний день названной компанией ведется добыча газа-метан на Талдинском месторождении и Нарыкско-Осташкинской площади Кузбасса. В свою очередь необходимо учитывать и тот факт, что перспективы использования угольного метана, как альтернативы дизельному моторному топливу, напрямую связаны с разработкой новой комплексной методологии поддержки принятия решений, позволяющей эффективно определять возможность вложения инвестиций, которые могут оказывать активное стимулирующее воздействие на инновационное развитие горнопромышленного региона – Кузбасс [5,6].

На сегодняшний день в Российской Федерации в Кемеровской области – Кузбассе впервые группой компаний (ООО «Ресурс», ООО «Сибирь-Энерго», ООО «Техно-Эко», ООО «КАМСС») полноценно реализуется (от теоретических исследований до полномасштабного внедрения в производство) проект по использованию СПГ в качестве моторного топлива на карьерных самосвалах БелАЗ 75131. Данный проект включает в себя: производство моторного топлива СПГ - метан, модернизацию (оснащение) классических карьерных самосвалов БелАЗ 75131 криогенными бортовыми топливными системами, а также исследования их эколого-экономических показателей работоспособности [7].

В настоящее время, в силу инновационности проектов связанных с использованием альтернативного топлива СПГ на карьерной технике, в целом практически отсутствуют методики по оценке эффективности эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов на участках горных выработок с привязкой к горно-геологическим условиям технологических трасс. Однако внимания заслуживает методика оценки технико-экономических показателей КБТС, разработанная учеными Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева (далее – КузГТУ) совместно со специалистами производственников. Данная методика позволяет в процессе эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов полноценно рассчитать  $K_3$  – коэффициент замещения дизельного топлива газовым; провести экономическую оценку эффективности газодизельных самосвалов, выявить реальный срок службы КБТС и их наработку на отказ [8,9].

Группой ученых КузГТУ при взаимодействии с производственным сектором также разработаны технические требования к криогенным бортовым топливным системам (КБТС) тяжелых газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ. Разработанные технические требования распространяются на ключевые группы требований в которые входят: требования к составу КБТС; требования к назначению КБТС; конструктивные требования к КБТС; требования к электромагнитной совместимости КБТС; требования к стойкости и внешним воздействиям; требования к надежности КБТС;

требования к эксплуатации, хранению, удобству технического ремонта и обслуживания КБТС; требования к транспортированию КБТС; требования к безопасности эксплуатации КБТС; требования к стандартизации и унификации КБТС; требования к испытаниям КБТС [10,11].

Кроме этого в настоящее время разработаны, спроектированы и запатентованы схемные и конструктивные решения по модернизации тяжелого карьерного самосвала БелАЗ 75131 (грузоподъемностью 130 тонн) для работы в газодизельном (двухтопливном) режиме. Данные инновационные схемные решения позволяют: оптимизировать процедуру установки КТБ (криогенных топливных баков) на борту линейки карьерных самосвалов моделей БелАЗ 7513; решить вопросы безопасной эксплуатации газодизельных самосвалов БелАЗ 7513 и повысить производительность транспортировки ими горной массы [12,13].

Особого внимания заслуживает инновационная разработка группы ученых КузГТУ, а именно создание измерительного комплекса для КБТС газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ. Данный комплекс обеспечивает две ключевые функции, а именно: стабильную по времени подачу газа в цилиндры двигателя внутреннего сгорания (далее - ДВС) карьерного самосвала; исключает детонацию дизельного ДВС, гарантируя тем самым устойчивость его работы; отслеживает потребление ДВС природного газа в текущий момент времени, а также его суммарное потребление за определенный отрезок времени. Данная разработка ученых не имеет Российских аналогов [14,15].

Безопасность эксплуатации газодизельных самосвалов БелАЗ 75131, с двумя установленными на их палубе криогенными топливными баками, а также системой регазификации (испарителя) размещенной на раме (под кузовом) карьерного самосвала обеспечивается разработанной схемой (системой) контроля загазованности. Основное её назначение заключается в идентификации утечки газа из ключевых узлов криогенной бортовой топливной системы газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131 [16].

Проведенная учеными КузГТУ энергетическая оценка эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131 на разрезах Кузбасса, показала что удельные затраты энергии на транспортировку горной массы на 15-20% ниже, чем классическими самосвалами БелАЗ 75131 использующими в качестве моторного топлива только дизельное топливо. Это, в свою очередь, подтвердило гипотезу об эффективности использования на участках горных выработок карьерных самосвалов, работающих на газодизельной смеси [17,18].

Анализ полученных результатов исследований комплексного состава компонентов в выхлопных газах ДВС КТА 50 карьерных самосвалов БелАЗ 75131, работающих в дизельном и газодизельном режимах, показали, что: в составе выхлопных газов при эксплуатации в газодизельном режиме снижается содержание углекислого газа - диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в среднем до 6%. Кроме этого в составе выхлопных газов увеличивается присутствие кислорода ( $\text{O}_2$ ) [19,20].

Результаты проведенных полевых исследований эксплуатационных (расходных и температурных) характеристик ДВС CUMMINS KTA 50 тяжелого газодизельного карьерного самосвала БелАЗ 75131 представлены на рис.1. Выводы по исследованиям подтвердили технологическую возможность и эффективность модернизации классических дизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131 для работы в газодизельном режиме [21,22].

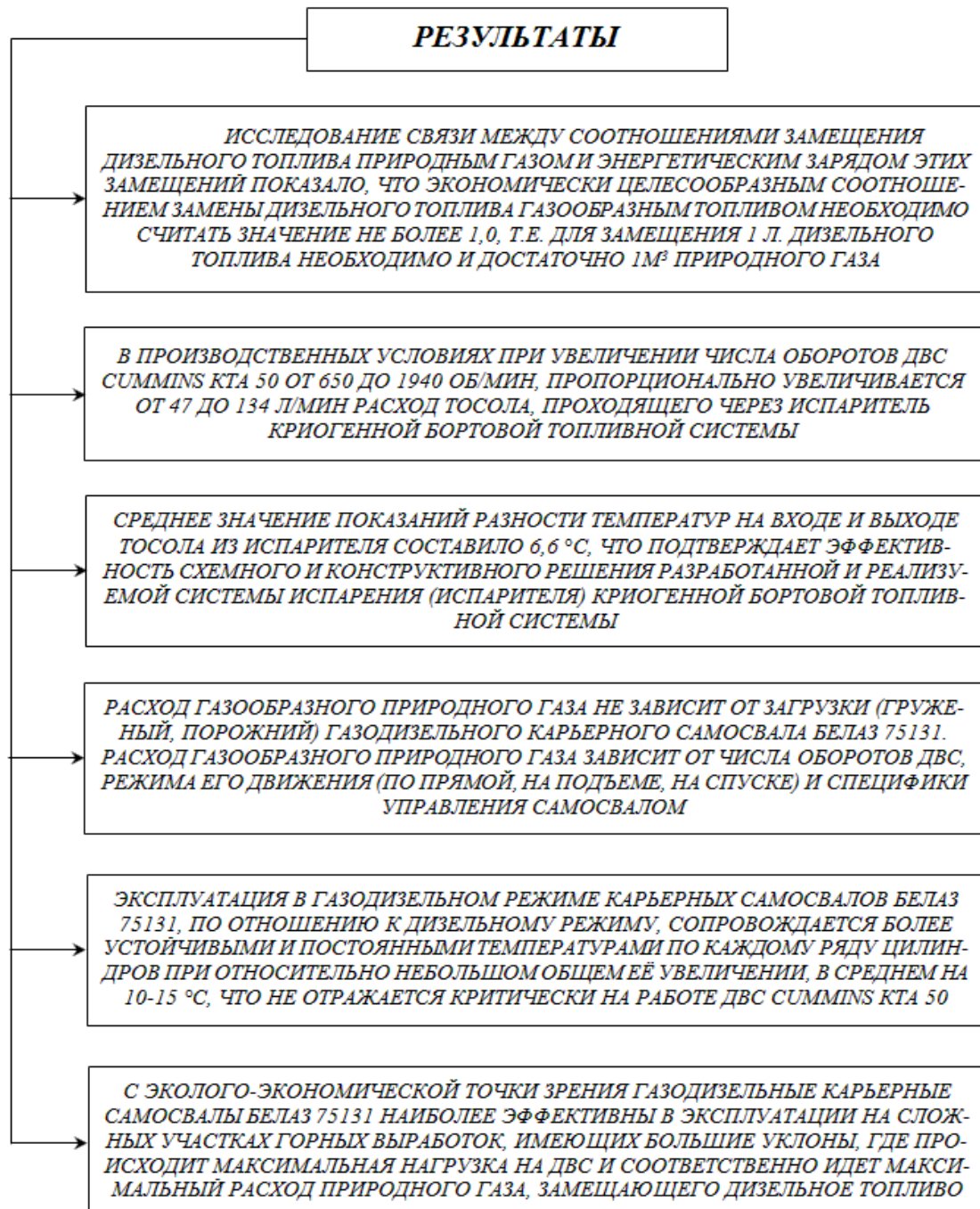


Рис.1 Результаты полевых исследований эксплуатационных характеристик ДВС CUMMINS KTA 50 газодизельного карьерного самосвала БелАЗ 75131

Результаты исследований проведенных учеными КузГТУ связанных с коррозионным влиянием масел используемых в газодизельных ДВС КТА 50 карьерных самосвалов БелАЗ 75131 представлены на рис. 2. Полученные результаты говорят о том, что использование моторного топлива СПГ- метан в качестве частичного замещения дизельного топлива не оказывает влияния на образование в отработавшем масле ДВС КТА 50 вредных примесей [23,24].

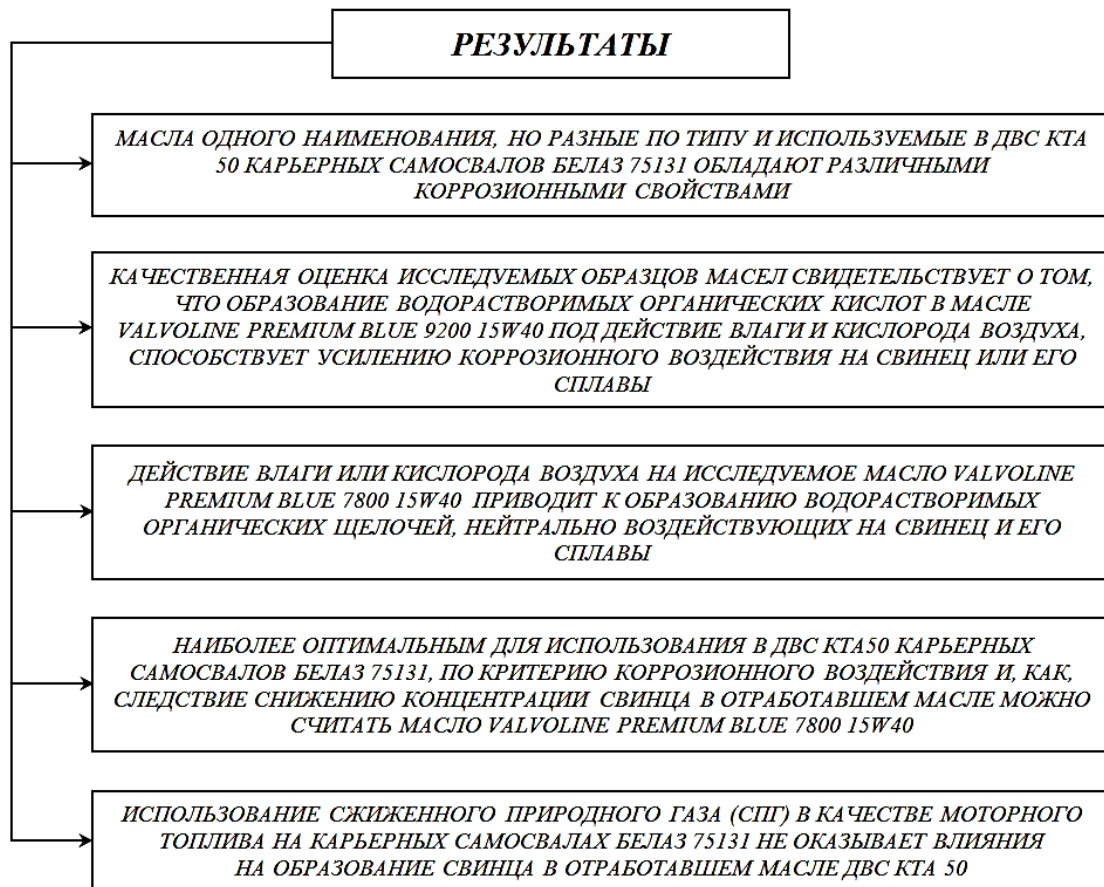


Рис.2 Результаты исследований коррозионного влияния масел используемых в ДВС КТА 50 газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131

Результаты проведенных исследований коррозионного влияния охлаждающей жидкости (далее - ОЖ) используемой в газодизельных ДВС CUMMINS КТА 50 карьерных самосвалов БелАЗ 75131 представлены на рис. 3. Полученные результаты говорят о том, что только наличие необходимой концентрации антикоррозионных присадок в ОЖ, содержание и объем которых регламентируется заводом изготовителем ДВС CUMMINS КТА 50, позволяет сохранить и повысить ресурс дизельного двигателя до его отказа [25].

Исследования связанные с выявлением причин разрушения двухкомпонентного поршня ДВС CUMMINS КТА 50 газодизельного карьерного самосвала БелАЗ 75131 однозначно показывают, что горнодобывающим компаниям в парке которых имеются, как классические дизельные так и модернизированные газодизельные самосвалы БелАЗ 75131 необходимым и обяза-



тельным условием является осуществление качественного контроля качества дорогостоящих запасных частей [26].

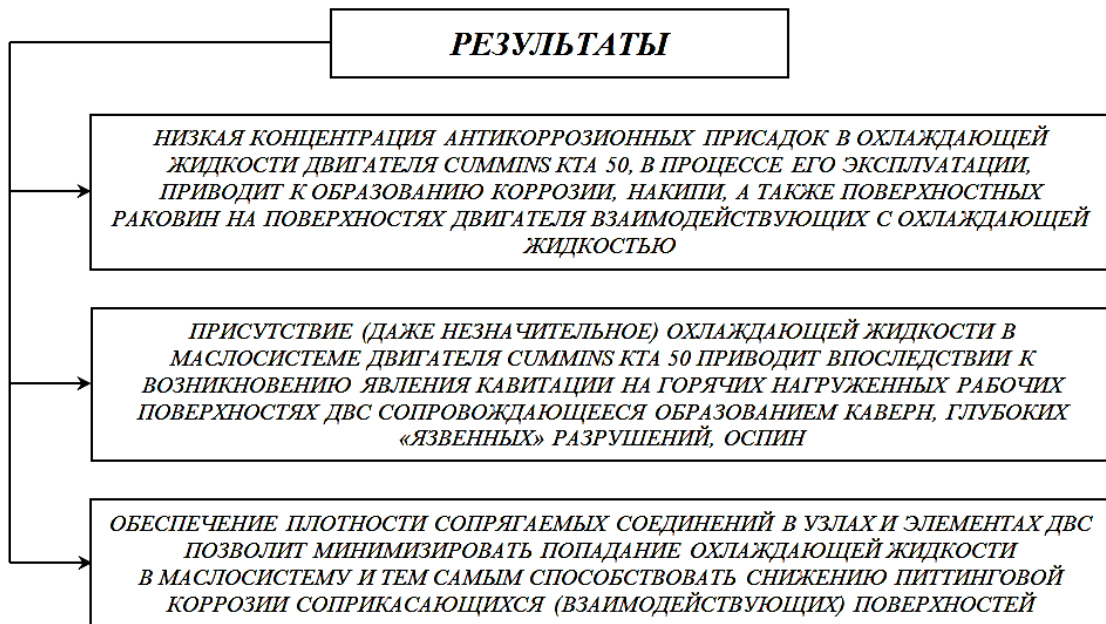


Рис.3 Результаты исследований коррозионного влияния охлаждающей жидкости используемой в ДВС КТА 50 газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ 75131

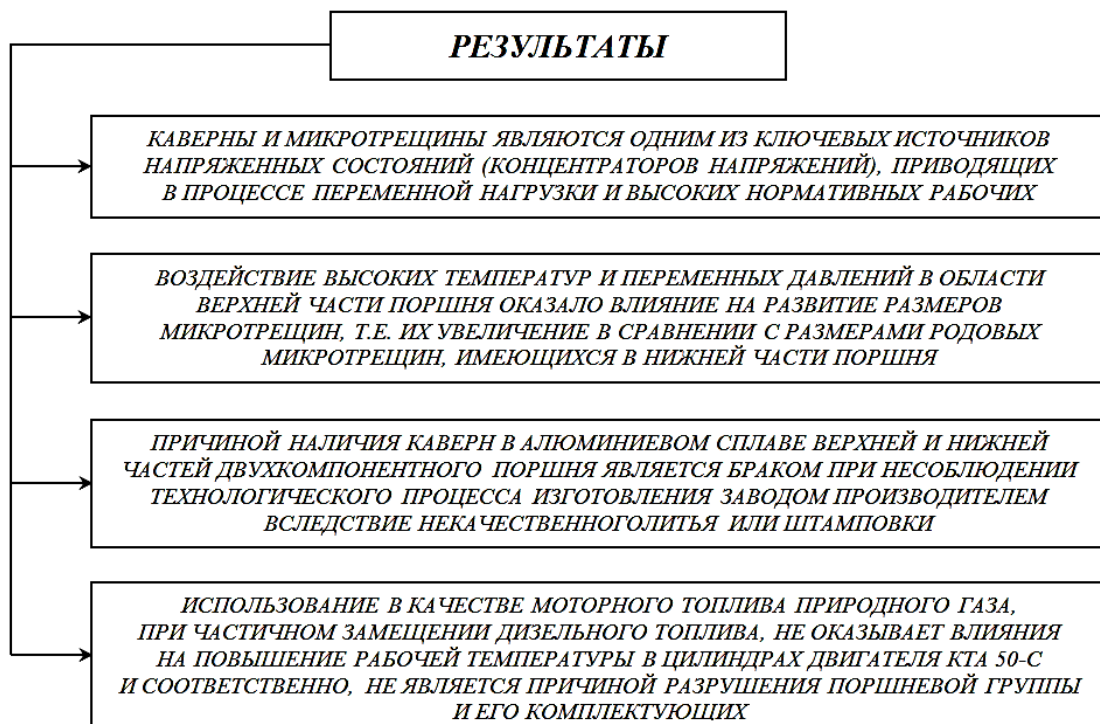


Рис.4 Результаты исследований причин разрушения двухкомпонентного поршня ДВС CUMMINS KTA 50 газодизельного карьерного самосвала БелАЗ 75131

Проведенный анализ состояния вопроса по модернизации и исследованию эксплуатационных характеристик газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ показал, что исследования и разработки в большей степени ориентированы на газодизельный карьерный самосвал БелАЗ 75131, грузоподъемностью 130 тонн. На сегодняшний день отсутствуют практические разработки и теоретические исследования связанные со схемными и конструктивными решениями по модернизации для работы по газодизельному циклу более тяжелых карьерных самосвалов БелАЗ 75306, грузоподъемностью 220 тонн. Исследованиями их эколого-экономических эксплуатационных характеристик, а также производительностью транспортировки горной массы во взаимосвязи с горно-геологическими условиями их эксплуатации на участках горных выработок.

### 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. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Lazarenko S.N., Dubov G.M., Shirokolobova A. G. The Development of Gas Energy Potential of Coal Deposits as the Necessary Step Towards the Russian Coal Industry Modernization // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, Kemerovo, Russia, 10–12 октября 2016 года. – Kemerovo, Russia: ATLANTIS PRESS, 2016. – P. 312-317.
6. Lazarenko S.N., Dubov G.M., Zykov A.V., Shirokolobova A.G. The Necessity and Ways to Develop the methodology of Management Decision Making Support for Innovative Development of Mining Regions in Russia // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, Kemerovo, Russia, 10–12 октября 2016 года. – Kemerovo, Russia: ATLANTIS PRESS, 2016. – P. 100-103.

7. 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.

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 /2019 10503019.

9. 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.

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

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. Bogomolov A.R., Dubov G.M., Azikhanov S.S. Comparative analysis of the concentration of CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, and O<sub>2</sub> 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.

21. 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.

22. 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 operating on various fuels under different fuel consumption rates // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03011.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.