

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ ДЛЯ МОЩНОЙ КАРЬЕРНОЙ И ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Хазин М.Л.¹, Фурзиков В.В.², Тарасов П.И.³

¹Уральский государственный горный университет, Екатеринбург;

²ООО «Уральский дизель-моторный завод», Екатеринбург;

³ООО «Перспектива-М», Екатеринбург

Ключевые слова: карьерные автосамосвалы, дорожные автосамосвалы, экология, открытые горные работы, дизельный двигатель, выхлопные газы, дизельное топливо, природный газ.

Аннотация. Одно из направлений стратегического развития Российской Федерации в XXI веке это развитие Арктики и Северных территорий. Данные территории имеет огромные запасы полезных ископаемых. Соответственно уже сегодня необходимо разработка перспективных энергетических установок, работающих на альтернативных видах топлива, для горнодобывающей техники, транспортных средств для работы по освоению территории в XXI веке. В северные районы топливо завозят в период навигации на год вперед, тогда как газовые месторождения расположены в Якутии и производство жидкого природного газа (СПГ) может быть организовано непосредственно на месторождениях. Применение карьерной и дорожной автотехники на СПГ позволяет уменьшить шум двигателей и загазованность карьеров, повысить эффективность и конкурентоспособность предприятия. Наиболее перспективным энергоносителем для мощной карьерной и дорожной техники в ближайшие десятилетия является природный газ.

PROMISING ENERGY RESOURCES FOR POWERFUL MINING AND ROAD EQUIPMENT

Khazin M.L.¹, Furzikov V.V.², Tarasov P.I.³

¹Ural State Mining University, Yekaterinburg;

²LLC Ural Diesel Engine Plant, Yekaterinburg;

³LLC Perspektiva-M, Yekaterinburg

Keywords: mining dump trucks, road dump trucks, ecology, open pit mining, diesel engine, exhaust gases, diesel fuel, natural gas.

Abstract. One of the directions of the strategic development of the Russian Federation in the 21st century is the development of the Arctic and the Northern Territories. These territories have huge reserves of minerals. Accordingly, already today it is necessary to develop advanced power plants operating on alternative fuels for mining equipment, vehicles for work on the development of the territory in the 21st century. Fuel is delivered to the northern regions during the navigation period a year in advance, while gas fields are located in Yakutia and the production of liquid natural gas (LNG) can be organized directly at the fields. The use of quarry and road vehicles powered by LNG makes it possible to reduce engine noise and gas pollution in quarries, increase the efficiency and competitiveness of the enterprise. The most promising energy source for powerful mining and road equipment in the coming decades is natural gas.

Введение

В ближайшие годы основным направлением развития мировой горнодобывающей промышленности останется открытый способ разработки полезных ископаемых. Из более чем 30 миллиардов тонн ежегодной добычи руды и угля на открытые разработки приходится почти 25 миллиардов тонн. Прогресс в технологиях и повышение уровня жизни постоянно увеличивают спрос на минеральное сырье. В связи с этим наблюдается повышенный интерес к разведке и инвестициям в добычу полезных ископаемых на территориях Крайнего Севера и Арктики. При этом добычу полезных ископаемых приходится вести во все более сложных природно-климатических и горнотехнических условиях [1]. Рудную массу приходится поднимать с большой глубины, а затем транспортировать ее на обогатительные фабрики, которые могут находиться на расстояниях 150-180 км (например, Верхне-Мунское месторождение) или более. Недостаточно развитая дорожно-транспортная инфраструктура и

ее неравномерная плотность сдерживает освоение многих крупных месторождений полезных ископаемых и масштабное промышленное развитие Севера, арктической зоны и Дальнего Востока России [2].

Для освоения Севера и арктической зоны России необходимо комплексное развитие дорожно-транспортной инфраструктуры, а для этого требуется применение мощного карьерного и дорожного автотранспорта. Современный карьерный автотранспорт оснащен дизельными двигателями мощностью 150-2600 кВт с турбонаддувом. Наряду с известными достоинствами, дизельные двигатели имеют и определенные недостатки. Наиболее существенным из них является загазованность атмосферы карьеров, особенно на глубоких горизонтах [3]. Увеличение объемов производства также способствует повышению потребления энергии и выбросов выхлопных газов. Вследствие проблем запуска двигателя при низких температурах, характерных для Севера и Арктики, дизели часто не глушатся в течение всего зимнего периода. В результате вырабатывается ресурс двигателя, увеличивается расход топлива и, соответственно, объем выбросов выхлопных газов, многие компоненты которых токсичны [4-6]. Кроме того, дизельные двигатели характеризуются повышенной дымностью.

В настоящее время к многолетней экологической проблеме, вызываемой работой дизельных двигателей, добавилась экономическая – постоянное повышение цен на моторное топливо и, соответственно, увеличение транспортных расходов. Специфика северных районов такова, что топливо можно завезти только в период навигации, которая длится всего пять месяцев. Вследствие этого, топливо вынуждены завозить на год вперед и хранить, что дополнительно увеличивает его цену. Одним из вариантов улучшения экономической и экологической ситуации является использование альтернативных видов моторного топлива (табл. 1).

На сегодняшний день из всех видов альтернативного топлива экономически оправданным признан природный газ, поскольку его можно использовать в этом качестве без какой-либо дополнительной переработки [7-9]. Практика показывает, что применение такого топлива технически целесообразно для транспортных средств, так как природный газ не образует отложений в топливной системе и не смывает масляную пленку со стенок цилиндров. Вследствие этого срок службы двигателя увеличивается в 1,5-2 раза, поскольку уменьшается трение и снижается износ деталей. Дополнительным преимуществом использования газомоторного топлива является возможность в 2-3 раза уменьшить объем выброса токсичных веществ в атмосферу (рис. 1) [5-9].

Кроме того, у газа есть еще одно важное достоинство – он значительно дешевле дизельного топлива.

Перевод техники на газомоторное топливо в условиях Севера экономически и технически целесообразен, поскольку в этих регионах практически отсутствуют нефтеперерабатывающие заводы, но имеются значительные запасы газа (рис. 2). В качестве источников газомоторного топлива также можно рассматривать отдельные малые газовые месторождения, не включенные в систему региональной газораспределительной сети, а также месторождения, находящиеся на завершающей стадии эксплуатации непосредственно в Западной Якутии, не говоря уже о Южно-Тамбейском газоконденсатном месторождении на базе которого работает ОАО «Ямал СПГ» с мощностью производства СПГ 16,5 млн. тонн в год.

Природный газ, добываемый на месторождениях Западной Якутии, в основном, состоит из метана, количество которого колеблется в широких пределах (табл. 2). Производство СПГ может быть организовано непосредственно на месторождении газа. Установки по его производству могут работать в полевых условиях, компактны и надежны [10]. В таком варианте расстояние транспортировки сжиженного природного газа до карьеров будет в десятки раз короче, чем транспортировка нефтяного топлива из центральных районов России, что экономически гораздо выгоднее.

Табл. 1. Факторы, определяющие применение энергоносителей на карьерном транспорте

Энергоноситель	Факторы				
	Инфраструктура	Технический	Экономический	Экологический	Безопасность применения на карьерах
Дизельное топливо (ДТ)	разработана и применяется	карьерная техника мощностью до 3000 кВт	Высокая стоимость доставки и ограниченные запасы	Низкая экологическая безопасность; Высокая шумность	разработана и применяется
Бензин	разработана и применяется	технологический транспорт мощностью до 200 кВт	Высокая стоимость доставки и ограниченные запасы.	Низкая экологическая безопасность; Низкая шумность	разработана и применяется
Электроэнергия	для глубоких карьеров не разработана	Необходимо применение аккумуляторов	- Низкая стоимость производства, - высокие капитальные затраты	экологически безопасно включая аккумуляторы	разработана недостаточно
Сжиженный углеводородный газ (СУГ)	не разработана	Применяется транспорте мощностью до 200 кВт	Высокая стоимость доставки.	Высокая экологическая безопасность; Низкая шумность	небезопасно
Компримированный природный газ (КПГ)	на карьерах не разработана	Диапазон мощности применяемой карьерной техники до 1000 кВт	- Низкая стоимость; относительно малый пробег транспорта на одной заправке	Высокая экологическая безопасность; Низкая шумность	безопасно
Сжиженный природный газ (СПГ)	не разработана	Диапазон мощности применяемой техники до 1000 кВт	- Низкая стоимость; относительно малый пробег транспорта	Высокая экологическая безопасность; Низкая шумность	безопасно
Водород	не разработана	Ведутся опытные разработки	Относительно низкая стоимость получения	Экологически безопасно	Ведутся опытные разработки
Топливные элементы	не разработана	Ведутся опытные разработки	Относительно низкая стоимость получения	Экологически безопасно	Ведутся опытные разработки

Для освоения северных территорий необходимо развитие как дорожно-транспортной, так и газораспределительной инфраструктуры (сетей). Характер источников питания и конфигурация газораспределительных сетей определяются объемами газопотребления, развитой структурой, плотностью застройки и др.

Разные виды газа предполагается применять в зависимости от грузоподъемности и мощности автотехники (табл. 3).

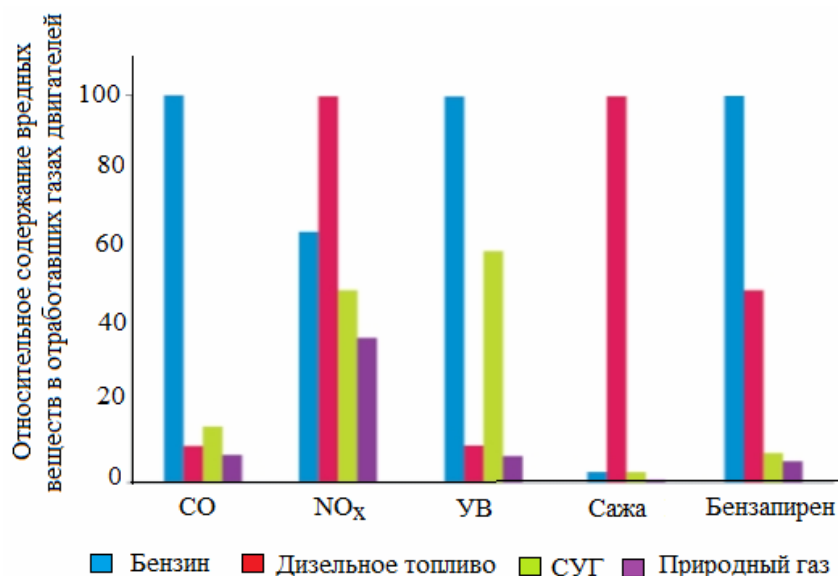


Рис. 1. Сравнение экологических характеристик моторных топлив [5-9]

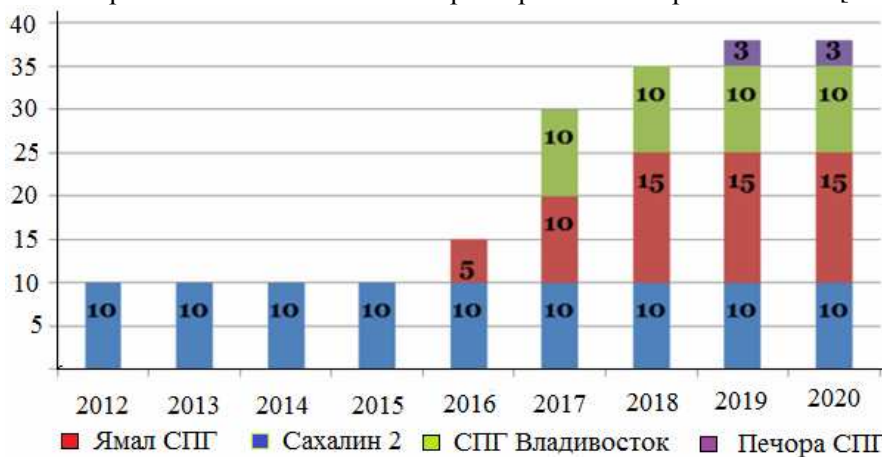


Рис. 2. Производство СПГ в Российской Федерации, млн. тонн (<https://rgk-palur.ru/spg-szhizhennyj-prirodnyj-gaz-i-zapornaya-armatura/>)

Табл. 2. Состав газа некоторых месторождений Западной Якутии

Месторождение	Состав газа, %			
	Метан CH ₄	Пропан C ₃ H ₈ и более тяжелые	Этан C ₂ H ₆	Азот N ₂
Верхневиллючанское	84,50	0,55	7,50	7,45
Иреляхское	87,71	2,82	2,45	7,02
Мирнинское	82,40	6,80	9,60	1,20
Отрадинское	83,15	3,19	4,16	9,50
Среднеботуобинское	87,18	2,97	3,66	6,19
Средневиллюйское	90,60	3,70	4,90	0,80
Усть-Виллюйское	92,50	3,30	2,80	1,40
Хатаго-Мурбайское	90,77	3,13	4,78	1,32
Чаяндинское	85,48	3,51	4,57	6,44

Табл. 3 Выбор энергоносителя в зависимости от грузоподъемности и мощности автотехники

Энергоноситель	Мощность, кВт	Двигатель	Грузоподъемность, т
природный газ (КПГ или СПГ)	до 300	газопоршневой	8-30
КПГ или СПГ	до 1000	газопоршневой	30-130
СПГ	до 2000	газопоршневой	130-290
СПГ	более 2000	газотурбинный	> 290

На основе проведенных стендовых испытаний была разработана математическая модель и проведены расчеты для замены дизельного двигателя 12ДМ-185А мощностью 1865 кВт, выпускаемого ООО «УДМЗ» (г. Екатеринбург), на газопоршневой для карьерного самосвала БЕЛАЗ-75319 грузоподъемностью 240 т [11]. Для проверки модели также было проведено сравнение рассчитанных характеристик газопоршневого варианта с техническими параметрами дизельного двигателя MTU 16V4000 (рис. 3), которое показало достаточно хорошее совпадение результатов расчетов с характеристиками реального дизельного двигателя.

С учетом использования в ближайшей перспективе природного газа, как единственного относительно недорогого и доступного топлива газопоршневой двигатель может стать едва ли не единственной перспективой энергосиловой установки для мощной карьерной и дорожной автотехники [9, 11-13].

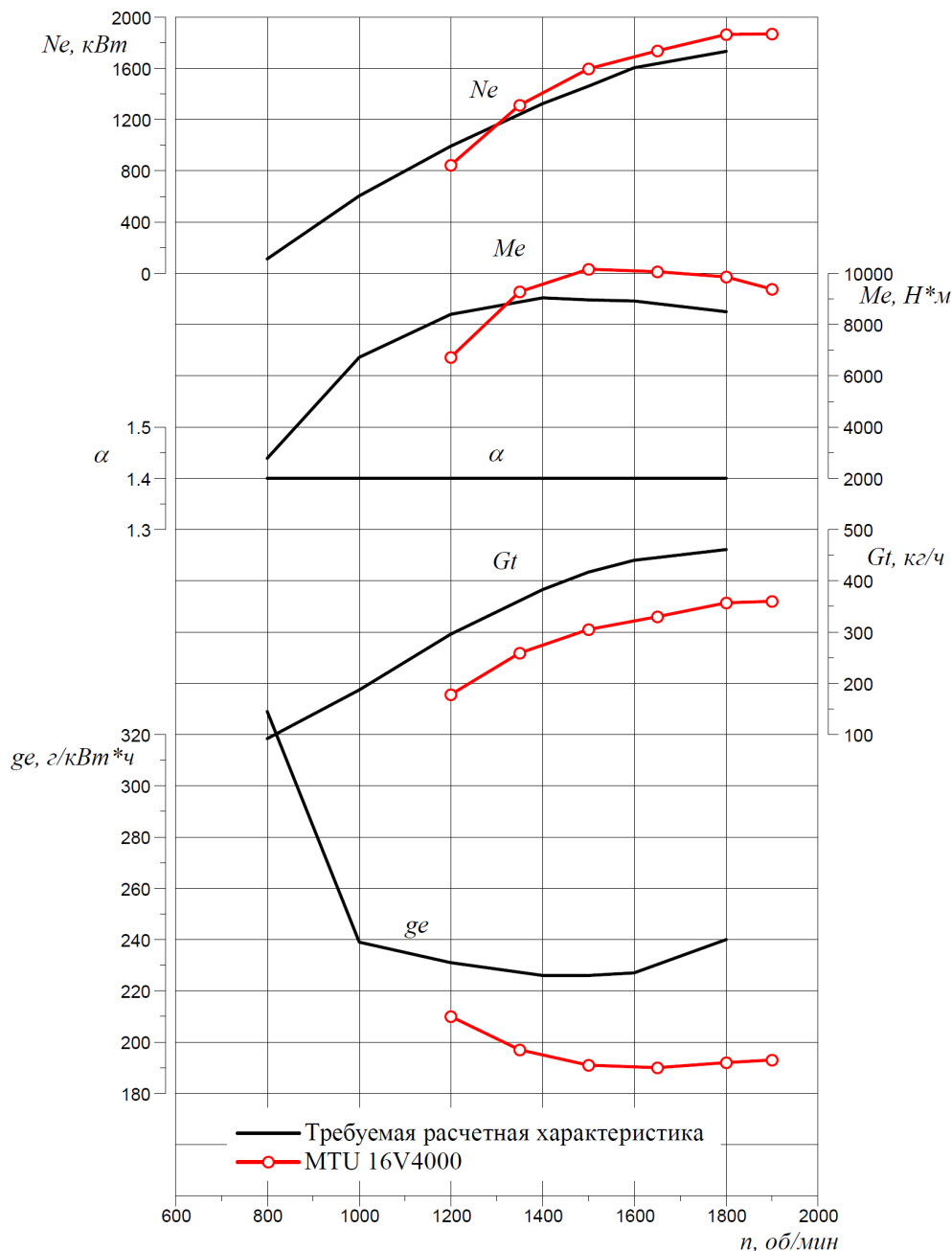


Рис. 3. Сравнение внешней скоростной характеристики дизельного двигателя MTU 16V4000 с расчетной характеристикой газопоршневого двигателя: N_e – эффективная мощность, кВт; M_e – эффективный крутящий момент, Н·м; n – частота вращения коленчатого вала, об/мин; α – коэффициент избытка воздуха; G_t – часовой расход топлива, кг/ч; g_e – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч

Выводы

Природный газ является перспективным моторным топливом для мощной карьерной и дорожной автотехники. Сдерживающими факторами для широкого применения газового топлива в северных и Арктических территориях России является неразвитая сеть заправочных станций. Горнодобывающие предприятия расположены в районах, где газовая сеть отсутствует, либо мало развита. Однако к настоящему времени разработаны и производятся компактные и надежные компрессорные установки для сжижения природного газа непосредственно на месторождении. Кроме того, переход на СПГ позволит в 2-3 раза уменьшить загазованность атмосферы карьеров и шум, повысить эффективность и конкурентоспособность предприятия за счет снижения затрат на приобретение топлива, транспортировку горной массы и экологические штрафы. Таким образом, использование СПГ как газомоторного топлива для горно-технологического оборудования на карьерах севера и дорожно-строительной техники на сегодняшний день имеет большие перспективы.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Рьльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №45-1. – С. 21-32.
2. Воронина Е.П. Транспортное освоение арктических территорий: стратегические задачи и анализ рисков // Арктика: экология и экономика. – 2017. – №3(27). – С. 61-68. – DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-61-68.
3. Чеботарёв А.Г., Гибадулина И.Ю., Горячев Н.С. Загрязнение рудничной атмосферы выхлопными газами самоходного оборудования и мероприятия по ее нормализации // Горная Промышленность. – 2019. – №2(144). – С. 74-76.
4. Шешко О.Е. Эколого-экономическое обоснование возможности снижения нагрузки на природную среду от карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 2. – С. 241-252.
5. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // Toxicological Sciences. 2017, vol. 158, no. 2, pp. 243-251. DOI:10.1093/toxsci/kfx110.
6. Quiros D.C., Smith J., Thiruvengadam A., Huai T. Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport // Atmospheric Environment. 2017, vol. 168, pp. 36-45. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.066.
7. Марков В.А., Поздняков Е.Ф. Природный газ как наиболее выгодное моторное топливо // Автомобильная промышленность. – 2017. – №1. – С. 11-15.
8. Osorio-Tejada J., Llera E., Scarpellini S. LNG: an alternative fuel for road freight transport in Europe // WIT Transactions on The Built Environment. 2015, vol. 168, pp. 235-246. DOI: 10.2495/SD150211.
9. Dubov G., Trukhmanov D., Kuznetsov I., Nokhrin S., Sergel, A. Procedure for Haul Truck On-Board LNG Fuel Systems Performance Evaluation // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, p. 03019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910503019>.
10. Карякин Е. Мини-СПГ в России: планы и реальность // Газ России. – 2015. – №1. – С. 16-17.
11. Тарасов П.И., Хазин М.Л., Фурзиков В.В. Повышение ресурса карьерных самосвалов // Горная промышленность. – 2019. – №6. – С. 118-122. – DOI: 10.30686/1609-9192-2019-6-148-118-122.
12. Smajla I., Karasalihović Sedlar D., Drljača B., Jukić L. Fuel Switch to LNG in Heavy Truck Traffic // Energies. 2019, vol. 12, no. 3, p. 515. <https://doi.org/10.3390/en12030515>.
13. Boretti A. Advances in Diesel-LNG internal combustion engines // Applied Sciences. 2020, vol. 10, no. 4, p. 1296. <https://doi.org/10.3390/app10041296>.

References

1. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V. Status and prospects for the development of open pit mining in the 21st century // Mining Information and Analytical Bulletin. 2015, no. 45-1, pp. 21-32.
2. Voronina E.P. Transport development of the Arctic territories: strategic objectives and risk analysis // Arktika: ecology and economy. 2017, no. 3(27), pp. 61-68. DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-61-68.
3. Chebotarev A.G., Gibadulina I.Yu., Goryachev N.S. Pollution of the mine atmosphere with exhaust gases of self-propelled equipment and measures to normalize it // Mining Industry. 2019, no. 2(144), pp. 74-76.
4. Sheshko O.E. Ecological and economic substantiation of the possibility of reducing the load on the natural environment from open-pit transport // Mining Information and Analytical Bulletin. 2017, no. 2, pp. 241-252.
5. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // Toxicological Sciences. 2017, vol. 158, no. 2, pp. 243-251. DOI:10.1093/toxsci/kfx110.
6. Quiros D.C., Smith J., Thiruvengadam A., Huai T. Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport // Atmospheric Environment. 2017, vol. 168, pp. 36-45. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.066.
7. Markov V.A., Pozdnyakov E.F. Natural gas as the most profitable motor fuel // Automotive industry. 2017, no. 1, pp. 11-15.

8. Osorio-Tejada J., Llera E., Scarpellini S. LNG: an alternative fuel for road freight transport in Europe // WIT Transactions on The Built Environment. 2015, vol. 168, pp. 235-246. DOI: 10.2495/SD150211.
9. Dubov G., Trukhmanov D., Kuznetsov I., Nokhrin S., Sergel, A. Procedure for Haul Truck On-Board LNG Fuel Systems Performance Evaluation // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, p. 03019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910503019>.
10. Karyakin E. Mini-LNG in Russia: plans and reality // Gas of Russia. 2015, no. 1, pp. 16-17.
11. Tarasov P.I., Khazin M.L., Furzиков V.V. Increasing the resource of mining dump trucks // Gornaya promyshlennost. 2019, no. 6, pp. 118-122. DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-118-122.
12. Smajla I., Karasalihović Sedlar D., Drljača B., Jukić L. Fuel Switch to LNG in Heavy Truck Traffic // Energies. 2019, vol. 12, no. 3, p. 515. <https://doi.org/10.3390/en12030515>.
13. Boretti A. Advances in Diesel-LNG internal combustion engines // Applied Sciences. 2020, vol. 10, no. 4, p. 1296. <https://doi.org/10.3390/app10041296>.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хазин Марк Леонтьевич – доктор технических наук, профессор	Khazin Mark Leontievich – doctor of technical sciences, professor
Фурзиков Виталий Витальевич – начальник бюро исследовательских испытаний	Furzikov Vitaliy Vitalievich – head of the research testing bureau
Тарасов Петр Иванович – действительный член Академии горных наук, заместитель директора по науке	Tarasov Petr Ivanovich – full member of the Academy of Mining Sciences, deputy science director
furzikovvv@mail.ru	

Получена 25.09.2022