ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(11-1):111–120
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.013.364.2 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_111

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА НА СОСТАВ АТМОСФЕРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

В. В. Фурзиков[1], **М. Л. Хазин**[2]

[1] ООО «Уральский дизель-моторный завод», Екатеринбург, Россия;
[2] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация: карьерная техника с дизельными двигателями эксплуатируется в широких диапазонах сезонно-климатических и географических условий. Загазованность и задымленность рабочей атмосферы часто приводит к остановке карьера, пока содержание вредных веществ в воздухе не снизится до нормы. На состав и объем выделяющихся отработавших газов оказывают влияние горно-технологические условия и режим работы двигателя. Влияние режима работы двигателя и внешних условий на дымность отработавших газов исследовалось при стендовых испытаниях дизельного двигателя 6ДМ-185 с турбонаддувом производства ООО «Уральский дизель-моторный завод». Цилиндровая мощность двигателя составляет 144 кВт/цил, что близко к цилиндровой мощности двигателя 12ДМ-185А (155 кВт/цил) карьерного самосвала БЕЛАЗ-75319 грузоподъемностью 240 тонн. Значительную часть времени карьерные самосвалы работают в режимах малых и средних нагрузок. При этом снижается давление наддува и соответственно уменьшается количество поступающего в цилиндры воздуха. С повышением нагрузки на двигатель его дымность пропорционально уменьшается. Повышение температуры окружающей среды негативно сказывается на наполнении цилиндров воздухом и является причиной увеличения дымности двигателя, а при температуре окружающей среды равной 45 °С (жаркое лето) величина дымности отработавших газов превышает лимитирующие значения, установленные ГОСТ 24028–2013, в 1,5–3,0 раза. Для эффективной борьбы с сажей в отработавших газах, кроме организации внутрицилиндрового рабочего процесса, следует обратить внимание на термоизоляцию выпускного коллектора для снижения влияния температуры окружающей среды на температуру отработавших газов перед турбиной, а также на применение альтернативных видов топлива. Температура отработавших газов перед турбиной значительно влияет на работу самой турбины и величину наддува.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьерный самосвал, дизельный двигатель, отработавшие газы, экология, дизельные частицы, дымность.

Для цитирования: *Фурзиков В. В., Хазин М. Л.* Влияние режима работы карьерного самосвала на состав атмосферы рабочей зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 111–120. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_111.

Effect of dump truck duty type on composition of atmosphere in the work zone

V. V. Furzikov[1], **M. L. Khazin**[2]

[1] Ural Diesel Motor Plant, Yekaterinburg, Russia;
[2] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

© В. В. Фурзиков, М. Л. Хазин. 2021

Abstract: Diesel machines are operated in open pit mines in widely ranged seasonal and geographic conditions. Gas contamination and smokiness of air in the work zone air often necessitate work-stoppage in an open pit to wait for the content of harmful elements in air to drop down to a standard. The content and amount of exhaust gas emissions are influenced by geotechnical conditions and by the duty type of engines. The effect of the engine duty type and ambient conditions on smokiness of exhaust gases was analyzed in block tests on turbo-charged diesel engine model 6DM-185 manufactured by Ural Diesel Motor Plant. The cylinder output of the engine is 144 kW, which is similar to the cylinder output of engine model 12DM-185A (155 kW) of BelAZ-75319 dump truck having capacity of 240 tons. Mostly, dump trucks in open pit are operated in the modes of low or medium loading. The charging pressure decreases in this case, and, consequently, the air supply of cylinders drops. With increasing engine load, the engine smokiness is decreased proportionally. Higher ambient temperature adversely affects inflation of cylinders and causes higher smokiness of the engine. At the ambient temperature of 45 °C (hot summer), exhaust gas smokiness exceeds the threshold set by Russian State Standard GOST 24028-2013 1.5–3 times. With a view to combating exhaust carbon, alongside with operation control inside cylinders, attention should be paid to heat insulation of exhaust manifold to reduce the ambient temperature influence on the exhaust gas temperature in front of the turbine, as well as on applicability of alternative fuel. The temperature of exhaust gasses in front of the turbine essentially affects operation of the turbine and the charging pressure value.

Key words: open pit mining, dump truck, diesel engine, exhaust gas, ecology, diesel particles, smokiness.

For citation: Furzikov V. V., Khazin M. L. Effect of dump truck duty type on composition of atmosphere in the work zone. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11-1):111–120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_111.

Введение

При открытой добыче полезных ископаемых наиболее распространенным методом транспортировки горной массы является автотранспорт. Преимуществами автотранспорта являются высокая мобильность, возможность его использования в различных географических, сезонно-климатических и горно-технологических условиях и т.д. Основным агрегатом, определяющим экологические параметры автотранспорта, является силовая установка (двигатель). Современные карьерные самосвалы комплектуются мощными дизельными двигателями, которые используются как силовая установка автомобиля или как источник питания электрогенератора. Основным недостатком оборудования и автотранспорта с дизельными двигателями является большой объем отработавших газов (ОГ), который приводит к загазованности рабочей атмосферы карьера, особенно на глубоких горизонтах, а также повышенная дымность [1, 2]. Загрязнение воздуха выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания создает серьезные проблемы для современного общества [3].

В результате неполного сгорания дизельного топлива в атмосферу попадают дизельные частицы (Particulate Matter, PM). Эта сложная смесь жидкого и твердого материалов содержит примерно 43% сажи, 13% сульфатов и паров воды, 10% растворимых фракций топлива, 5% нерастворимых фракций масла [4, 5]. Самыми вредными являются наночастицы диаметром менее 50 нм, которые глубоко проникают в легкие человека и приводят к развитию сердечно-сосудистых и раковых заболеваний. Так, например, у горных рабочих, подвергавшихся действию отработавших газов дизелей

на протяжении более 10 лет, был диагностирован рак легких [6, 7]. Воздействие $PM_{2>5}$, согласно данным ВОЗ, уменьшает продолжительность жизни людей примерно на 8,6 месяца [8, 9]. Здесь можно отметить, что современные дизельные двигатели выделяют большее количество мелких частиц, чем дизели, изготовленные по старой технологии [4 — 7]. Вследствие рассмотренных недостатков дизельных двигателей самосвалов и другого горного оборудования работа в карьерах часто останавливается из-за задымленности или загазованности, которая также ухудшает видимость на технологических дорогах, повышая количество дорожно-транспортных происшествий. Простои при проведении горных работ приводят к экономическим потерям предприятия, повышают затраты на профилактику здоровья и санаторное лечение персонала [2].

Теория вопроса

На каждую массовую или объемную единицу топлива, в зависимости от условий сгорания топлива, способа регулирования мощности и режима работы двигателя, приходится определенное количество воздуха, которое характеризуется коэффициентом избытка воздуха (α) [10]. Величина α может быть равна, больше или меньше теоретически необходимого значения, соответствующему полному сгоранию топлива. При значении $\alpha < 0{,}3 — 0{,}7$, в зависимости от вида топлива, давления газов и температуры, начинается образование частиц сажи, основная часть которых имеет размеры 0,4 — 5 мкм. При сгорании топлива в дизелях к зонам пламени с высокой температурой ($\alpha \approx 1{,}0$) примыкают зоны обогащенные смесью. При малом доступе кислорода и диффузионном догорании создаются благоприятные условия для пиролиза. Количество частиц в отработавших газах зависит от степени выгорания сажи в процессе расширения, при поступлении кислорода. Сера, содержащаяся в дизельном топливе, масла, несгоревшее топливо и продукты износа цилиндров также входят в состав частиц. Именно наличие сажи в ОГ и окрашивает выхлоп в черный цвет. Содержание в ОГ продуктов неполного сгорания (CO, CH и сажи) нежелательно как из-за их токсичности, так и потому, что при этом теряется часть теплоты, что ухудшает экономические показатели двигателя.

Параметры окружающей среды также влияют на количество и состав выделяющихся вредных веществ. Во-первых, определяют объем и количество заряда в цилиндрах; во-вторых, определяют условия работы системы топливоподачи и газовыпуска двигателя. Снижение температуры воздуха на всасывании двигателя повышает коэффициент избытка воздуха в цилиндре и весового заряда. В результате увеличивается абсолютная концентрация кислорода в камере сгорания, что обеспечивает более быстрое и полное сгорание топлива.

Колебание барометрического давления в пределах, характерных для местностей на уровне моря, не оказывает существенного влияния на выброс вредных веществ двигателем. По мере снижения плотности воздуха с повышением высоты над уровнем моря (до высокогорных условий включительно) количество оксидов азота несколько уменьшается, но существенно повышается объем выброса продуктов неполного сгорания топлива. В глубоких карьерах при увеличении плотности воздуха наблюдается обратная картина.

Известно, что нормальная атмосфера содержит примерно 78 об. % азота,

21 об. % кислорода, 1 об. % инертных газов, небольшое количество углекислого газа и водяных паров. В некоторых случаях двигателям приходится работать в атмосфере, состав которой существенно отличается от нормальной. Это, например, угольные шахты, в воздухе которых содержится до нескольких процентов углекислого газа, метана и других компонентов или глубокие карьеры, рабочая атмосфера которых загрязнена отработавшими газами двигателей карьерных самосвалов и другого оборудования.

Такой загрязненный воздух, с меньшей концентрацией кислорода в заряде, поступая в цилиндры работающего двигателя, приводит к неполному сгоранию топлива и, следовательно, к повышенному расходу моторного топлива и увеличению объема отработавших газов. Загрязненный воздух оказывает влияние не только на здоровье персонала, но и на экономику предприятия, поскольку влечет за собой ухудшению условий труда и видимости на трассе, что приводит к необходимости остановки карьера.

При неблагоприятных метеоусловиях (НМУ — сочетание штилей с инверсиями) происходит лишь усугубление экологической ситуации, когда в соответствие с требованиями ЕПБ возникает необходимость прекращения производства горных работ. Продолжительность НМУ для карьеров Урала, Северо-Запада, Восточной Сибири и Якутии составляет соответственно 1220, 1650, 2720 и 3500 часов в год.

Методология проведения исследований. Для исследования влияния состояния окружающей среды на образование вредных веществ в отработавших газах были проведены стендовые испытания дизельного двигателя 6ДМ-185 с турбонаддувом производства ООО «Уральский дизель-моторный завод». Цилиндровая мощность двигателя составляет 144 кВт/цил, что близко к цилиндровой мощности двигателя 12ДМ-185А (155 кВт/цил), устанавливаемого на опытный образец карьерного самосвала БЕЛАЗ-75319 грузоподъемностью 240 тонн.

Условия испытаний соответствовали требованиям ГОСТ 24028—2013 [10], который распространяется на тепловозные судовые и промышленные двигатели внутреннего сгорания (к которым относятся двигатели на карьерных самосвалах) и устанавливает нормы дымности ОГ, измеренные оптическим или фильтрационным методом. Действующие экологические стандарты Stage 4, Tier 4, ГОСТ Р41 96—2011 распространяются только на двигатели внедорожной техники мощностью до 560 кВт [11].

Дымность двигателя измеряли прибором AVL 415S в единицах измерения FSN (Filter Smoke Number — дымовое число фильтра). FSN является техническим нормативом дымности отработавших газов, измеренным оптическим методом, и определяется как степень потемнения фильтра, определенной по отражению света окрашенного отработавшими газами фильтра по отношению к чистому фильтру, выраженной в условных единицах 10-балльной шкалы [11, 13].

Измерение температуры внешней среды в интервале от 4 до 25 °С проводили штатной системой кондиционирования помещения стенда. Более высокая температура на стенде не устанавливалась по техническим возможностям системы кондиционирования и вследствие наступления теплового баланса всасываемого двигателем воздуха.

Обсуждение результатов исследования

Карьерная автотехника эксплуатируется в различных сезонно-климатиче-

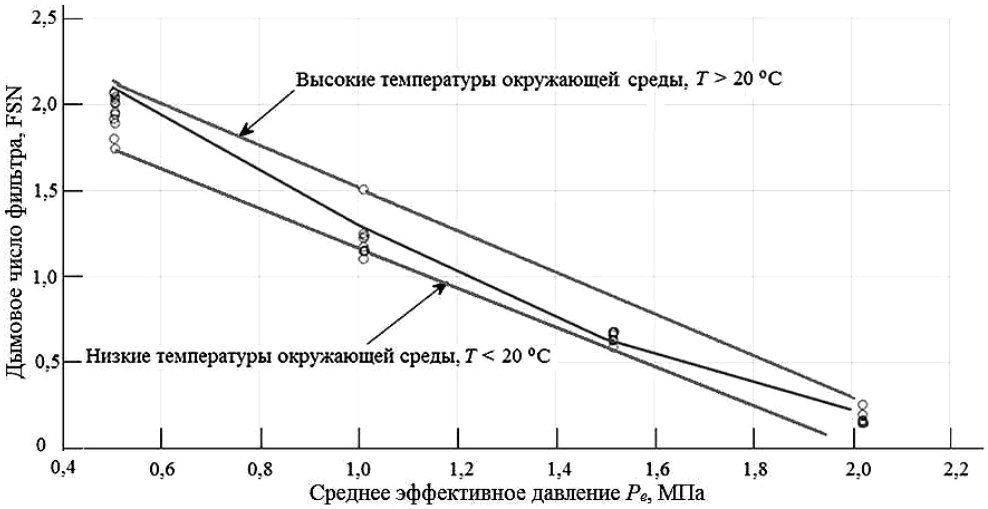

Рис. 1. Результаты измерений дымности дизельного двигателя 6ДМ-185
Fig. 1. The results of the diesel engine 6DM-185 the black smoke measurements

ских и горно-технологических условиях. Поэтому режимы работы двигателей карьерных самосвалов должны предусматривать возможность работы в широком диапазоне условий эксплуатации при нанесении минимально возможного экологического ущерба окружающей среде [1, 2, 7, 12—14].

С повышением нагрузки на двигатель его дымность пропорционально уменьшается. Это связано с тем, что при малых нагрузках снижается давление наддува и соответственно уменьшается количество поступающего в цилиндры воздуха. Центральная линия значения дымности (рис. 1) соответствует работе двигателя при температуре 20 °С (нормальные условия). При снижении нагрузки дымность возрастает, поскольку при этом снижается давление наддува и, соответственно, уменьшается количество поступающего в цилиндры воздуха. Значительную часть времени (до 30%) карьерные самосвалы работают в режимах малых и средних нагрузок, которые вносят значительный вклад в задымление рабочей атмосферы карьера [2]. При глубине карьера более 200 м самосвалы движутся по серпантину с крутыми уклонами на малой скорости, вследствие чего двигатели нагружаются на полную мощность, увеличивая расход топлива в 2—3 раза. Выявленные зависимости изменения дымности от нагрузки дизельного двигателя согласуются с данными [15], полученными при сравнении различных топливных смесей. Также более высокие показатели дымности и оксидов азота наблюдались, когда дизельные автомобили эксплуатировались на низких оборотах двигателя и в условиях полной нагрузки двигателя [16].

Повышение температуры окружающей среды негативно сказывается на наполнении цилиндров воздухом, что является причиной увеличения дымности двигателя (верхняя линия), а понижение температуры приводит к некоторому уменьшению дымности двигателя (нижняя линия). Данные результаты подтверждаются также снижением коэффициента избытка воздуха α при испытаниях (рис. 2) и массового расхода воздуха двигателем.

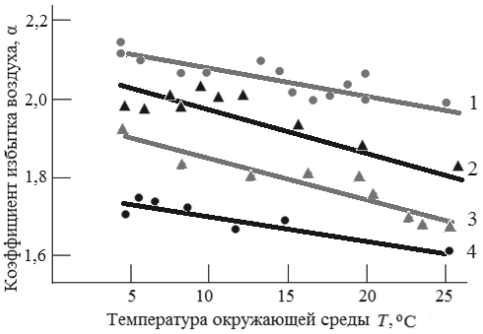

Рис. 2. Зависимости коэффициента избытка воздуха α от температуры окружающей среды для разных значений нагрузки двигателя: нагрузка на двигатель составляет 1 — 25%, 2 — 50%, 3 — 76%, 4 -100%
Fig. 2. Dependences of the excess air factor α on the ambient temperature for different values of the engine load: the engine load is 1 — 25%, 2 — 50%, 3 — 76%, 4 — 100%

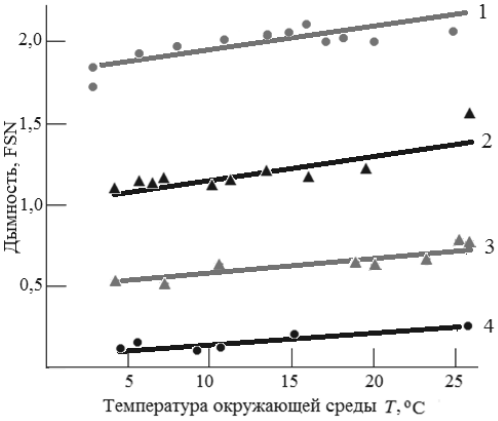

Рис. 3. Зависимости дымности от температуры окружающей среды для разных значений нагрузки двигателя: нагрузка на двигатель составляет 1 — 25%, 2 — 50%, 3 — 76%, 4 -100%
Fig. 3. Dependences of black smoke on ambient temperature for different values of engine load: engine load is 1 — 25%, 2 — 50%, 3 — 76%, 4 — 100%

Из экспериментальных данных следует, что со снижением нагрузки двигателя дымность увеличивается и приближается к предельным значениям, а с ростом температуры окружающей среды величина дымности отработавших газов на всех режимах возрастает (рис. 3). При продлении линии тренда до температуры окружающей среды, равной 45 °С (жаркое лето), следует, что величина дымности ОГ может превысить лимитирующие значения, установленные ГОСТ 24028—2013, в 1,5—3,0 раза (табл.).

Лимитирующие значения по дымности ОГ могут быть превышены в основном на режимах малых и средних нагрузок (режимы ожидания, погрузки-разгрузки и движения пустого самосвала в карьер), которые могут составлять до половины времени работы машины в карьере.

С увеличением нагрузки двигателя на рабочий процесс начинает оказывать влияние работа турбонаддува, что значительно увеличивает поступление воздуха в цилиндры двигателя. Это влияние необходимо учитывать разработчикам двигателей для силовых установок карьерной техники:

1. Проводить подбор турбокомпрессоров с согласованием режимов работы поршневой и компрессорной частей на всех диапазонах работы двигателя;

2. Организовывать управление наддувом за счет перепуска, управляемым сопловым аппаратом турбокомпрессора, и т.д.;

3. Организовывать механический привод компрессорной части на режимах малых и средних нагрузок.

В ходе испытаний также исследовали влияние температуры окружающей среды на величину нагрева отработавших газов. С повышением температуры на стенде пропорционально возрастает температура отработавших газов перед турбиной (температура измерялась датчиками стенда и электронной системы управления двигателем). При этом температура воздуха на впуске (во впуск-

Таблица

Анализ значений дымности в зависимости от условий окружающей среды
Analysis of black smoke values depending on environmental conditions

Нагрузка, %	Температуры окружающей среды, °С							
	25				45			
	V_{exh}		FSN		V_{exh}		FSN	
	л/с	кВт	измерение	предельное по ГОСТ 24028-2013	л/с	кВт	измерение	предельное по ГОСТ 24028-2013
25	385,6	283,6	1,73	1,8	329,3	242,2	2,60	2,0
50	608,3	447,4	1,02	1,4	571,1	420,1	1,73	1,8
75	799,6	588,1	0,57	1,4	737,8	542,6	0,77	1,4
100	954,8	702,3	0,11	1,4	906,8	666,9	0,37	1,4

Примечание: V_{exh} — расход отработавших газов

ном коллекторе) практически не изменяется и составляет 52 — 55 °С. По этой причине необходимо обратить внимание на термоизоляцию выпускного коллектора для снижения влияния температуры окружающей среды на температуру отработавших газов перед турбиной. Температура ОГ перед турбиной значительно влияет на работу самой турбины и величину наддува соответственно.

Увеличение температуры воздуха на всасывании двигателя понижает коэффициент избытка воздуха и весовой заряд в цилиндре. Это приводит к уменьшению абсолютной концентрация кислорода в камере сгорания и, следовательно, к более медленному и неполному сгоранию топлива. В результате повышается доля СО и других продуктов неполного сгорания топлива, а эффективность рабочего процесса снижается. Кроме того, сажа, попадая во внутрикартерное пространство, снижает срок службы моторного масла.

Для эффективной борьбы с сажей в отработавших газах кроме организации внутрицилиндрового рабочего процесса также можно использовать сажевые фильтры с дожиганием. Однако применение дополнительных фильтров для карьерных самосвалов большой грузоподъемности удорожает сам автомобиль и его обслуживание.

В настоящее время экологические требования к двигателю автомобиля становятся приоритетными, поэтому мировое двигателестроение уделяет значительное внимание не только повышению их производительности, но и существенному улучшению их экологических параметров: разработке малотоксичных двигателей [15], переходу на альтернативное топливо [16, 17] и др. Одним из перспективных направлений снижения задымления карьеров отработавшими газами — это применение газового топлива в качестве основного моторного топлива, который при сгорании не образует сажу. Проведенные исследования газопоршневого двигателя [18] позволили разработать математическую модель газового двигателя, на основании которой можно прогнозировать его основные параметры и проводить оптимизацию экономических и экологических характеристик.

Заключение

Из полученных результатов исследований по определению влияния окружающей среды на дымность отработавших газов следует, что с повышением температуры окружающей среды уменьшается расход поступающего в двигатель воздуха, из-за снижения его плотности, что приводит к ухудшению наполнения цилиндров двигателя и, как следствие, увеличению дымности отработавших газов. На основании полученных результатов можно прогнозировать повышение дымности при работе двигателя в условиях температуры окружающей среды 45 °С и выше в 1,5 — 3,0 раза по сравнению с нормальными условиями окружающей среды.

Лимитирующие значения по дымности ОГ могут быть превышены в основном на режимах малых и средних нагрузок. С увеличением нагрузки двигателя на рабочий процесс начинает оказывать влияние работа турбонаддува, увеличивая поступление воздуха в цилиндры двигателя. Это влияние необходимо учитывать разработчикам двигателей для силовых установок карьерной техники.

Для решения проблемы с задымлением карьеров технологическим оборудованием необходим комплексный подход. Для этого необходимо проводить работу в нескольких направлениях:

1. Снижение дымности ОГ двигателя силовой установки карьерных машин как первоисточника образования сажи (конструктивные мероприятия разработчика карьерной техники);

2. Снижение времени работы карьерной автотехники на режимах малых нагрузок и холостого хода, то есть снижение времени простоев в ожидании погрузки и разгрузки (эффективная организация движения транспорта при проведении горных работ);

3. Государственная поддержка производителей карьерной техники и организации-эксплуатантов при переводе горных машин на работу на природном газе с целью улучшения экологической обстановки карьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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

2. *Хазин М. Л.*, *Тарасов П. И.*, *Фурзиков В. В.*, *Тарасов А. П.* Эколого-экономическая оценка использования карьерных самосвалов // Известия вузов. Горный журнал. –2018. –№ 7. — С. 85 — 94. doi: 10.21440/0536 — 1028 — 2018 — 7.

3. *Hsueh M-H., Wang C-N., Hsieh M-C., et al*. An Analysis of Exhaust Emission of the Internal Combustion Engine Treated by the Non-Thermal Plasma // Molecules 2020, 25, 6041; doi:10.3390/molecules25246041

4. *Чернецов Д. А.* Токсичность отработавших газов дизелей и их антропогенное воздействие //Вопросы современной науки и практики. Университет им. ВИ Вернадского. — 2010. — №. 10 — 12. — С. 54 — 59.

5. *Холод Н. М.*, *Малышев В. С.*, *Эванс М.* Снижение выбросов чёрного углерода карьерными самосвалами // Горная Промышленность. –2015. — №3 (121). — С.72 — 76.

6. *Kachuri L.*, *Villeneuve P. J.*, *Parent M.*-E., *Johnson K. C.* Workplace exposure to diesel and gaso-line engine exhausts and the risk of colorectal cancer in Canadian men // Environmental Health. 2016. Vol. 15. No. 1. Pp. 4 — 16. doi.org/10.1186/s12940 — 016 — 0088 — 1

7. *Taxell P.*, *Santonen T.* Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // Toxi-cological Sciences. 2017. Vol. 158. No. 2. Pp. 243 — 251. DOI.org/10.1093/toxsci/kfx110.

8. *Thiruvengadam A.*, *Besch M.*, *Carder D.*, *Oshinuga A.* Unregulated greenhouse gas and ammonia emissions from current technology heavy-duty vehicles //Journal of the Air & Waste Management Association. 2016. Vol. 66. No 11. Pp. 1045—1060. doi.org/10.1080/10962247.2016.1158751.

9. *Jacobs W.*, *Hodkiewicz M. R.*, *Bräunl T.* A Cost–Benefit Analysis of Electric Loaders to Reduce Diesel Emissions in Underground Hard Rock Mines //IEEE Transactions on industry applications. 2015. Vol. 51. No 3. Pp. 2565—2573. DOI: 10.1109/TIA.2014.2372046

10. *Колчин А. И.*, *Демидов В. П.*. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов — 4-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2008. — 496 с.

11. ГОСТ 24028—2013 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. М.: Стандартинформ, 2016. 15 с.

12. *Хазин М. Л.* Горные машины и экологические стандарты стран мира // Известия УГГУ. — 2020. Вып. — 1(57). — С. 156—163. DOI 10.21440/2307-2091-2020-1-156-163

13. *Lappi M. K.*, *Ristimäki J. M.* Comparison of filter smoke number and elemental carbon from thermal optical analysis of marine diesel engine exhaust // Journal of Engineering for the Maritime Environment. 2019. Vol. 233, No 2. Pp. 602—609. doi.org/10.1177/1475090218776196

14. *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.

15. *Sharma A. K.*, *Sharma P. K.*, *Chintala V.*, *Khatri N.*, *Patel A.* Environment-Friendly Biodiesel/Diesel Blends for Improving the Exhaust Emission and Engine Performance to Reduce the Pollutants Emitted from Transportation Fleets // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17. No 11. Pp. 3896. doi.org/10.3390/ijerph17113896

16. *Lin C-Y., Chen L-W, Wang L-T.* Correlation of black smoke and nitrogen oxides emissions through field testing of in-use diesel vehicles // Environ Monit Assess. 2006.Vol. 116. No 1—3. Pp. 291—305. doi: 10.1007/s10661—006—7402—2.

17. *Dumakor N. K.*, *Temeng V. A.*, *Bansah K. J.* Optimising Shovel-Truck Fuel Consumption using Stochastic Simulation // Ghana Mining Journal. 2017. Vol. 17. No 2. Pp. 39—49.

18. *Khazin M. L.*, *Furzikov V. V.*, *Tarasov P. I.* Increasing mining dump trucks operation efficiency with the use of gas piston engines // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 2. С. 77—85. DOI: 10.21440/0536—1028—2020—2-77—85 ГИАБ

REFERENCE

1. 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

2. Khazin M. L., Tarasov P. I., Furzikov V. V., Tarasov A. P. Ecological and economic assessment of the use of dump trucks. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2018. no 7, pp. 85—94. [In Russ]. doi: 10.21440. 0536—1028—2018—7.

3. Hsueh M-H., Wang C-N., Hsieh M-C., et al. An Analysis of Exhaust Emission of the Internal Combustion Engine Treated by the Non-Thermal Plasma. *Molecules*. 2020, Vol. 25, 6041; doi:10.3390/molecules25246041

4. Chernetsov D. A. Toxicity of exhaust gases of diesel engines and their anthropogenic impact. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo*. 2010. no. 10—12. pp. 54—59. [In Russ].

5. Kholod N. M., Malyshev V. S., Evans M. Reduction of black carbon emissions by mining dump trucks. *Gornaya Promyshlennost'*. 2015. no. 3 (121). pp. 72—76. [In Russ].

6. Kachuri L., Villeneuve P. J., Parent M.-E., Johnson K. C. Workplace exposure to diesel and gaso-line engine exhausts and the risk of colorectal cancer in Canadian men. *Environmental Health*. 2016. Vol. 15. no. 1. Pp. 4—16. doi.org/10.1186/s12940-016-0088-1

7. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value. *Toxi-cological Sciences*. 2017. Vol. 158. no. 2. Pp. 243 — 251. DOI.org/10.1093/toxsci/kfx110

8. Thiruvengadam A., Besch M., Carder D., Oshinuga A. Unregulated greenhouse gas and ammonia emissions from current technology heavy-duty vehicles. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2016. Vol. 66. no. 11. Pp. 1045 — 1060. doi.org/10.1080/10962247.2016.1158751.

9. Jacobs W., Hodkiewicz M. R., Bräunl T. A Cost–Benefit Analysis of Electric Loaders to Reduce Diesel Emissions in Underground Hard Rock Mines. *IEEE Transactions on industry applications*. 2015. Vol. 51. no. 3. Pp. 2565 — 2573. DOI: 10.1109/TIA.2014.2372046

10. Kolchin A. I., Demidov V. P. Calculation of automobile and tractor engines: Textbook. manual for universities, 4th ed., erased. Moscow: *Vyssh. shk.*, 2008 . 496 p. [In Russ].

11. GOST 24028 — 2013 Reciprocating internal combustion engines. Smoke in the exhaust gases. Norms and methods of determination. Moscow: *Standartinform*, 2016.15 p. [In Russ].

12. Khazin M. L. Mining machines and environmental standards of the countries of the world. *Izvestiya UGGU*. 2020. no 1(57). -pp. 156 — 163. DOI 10.21440. 2307 — 2091 — 2020 — 1-156 — 163 [In Russ].

13. Lappi M. K., Ristimäki J. M. Comparison of filter smoke number and elemental carbon from thermal optical analysis of marine diesel engine exhaust. *Journal of Engineering for the Maritime Environment*. 2019. Vol. 233, no. 2. Pp. 602 — 609. doi.org/10.1177/1475090218776196

14. Khazin M. L., Tarasov P. I., Furzikov V. V. Extension of Open-Pit Dump Truck Life Cycle. *Gornaya Promyshlennost'*. 2019. no 6. pp. 118 — 122. DOI 10.30686/1609 — 9192 — 2019 — 6-148 — 118 — 122. [In Russ].

15. Sharma A. K., Sharma P. K., Chintala V., Khatri N., Patel A. Environment-Friendly Biodiesel/Diesel Blends for Improving the Exhaust Emission and Engine Performance to Reduce the Pollutants Emitted from Transportation Fleets. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17. no. 11. Pp. 3896. doi.org/10.3390/ijerph17113896

16. Lin C-Y., Chen L-W, Wang L-T. Correlation of black smoke and nitrogen oxides emissions through field testing of in-use diesel vehicles. *Environ Monit Assess*. 2006.Vol. 116. no. 1 — 3. Pp. 291 — 305. doi: 10.1007/s10661 — 006 — 7402 — 2.

17. Dumakor N. K., Temeng V. A., Bansah K. J. Optimising Shovel-Truck Fuel Consumption using Stochastic Simulation. *Ghana Mining Journal*. 2017. Vol. 17. no. 2. Pp. 39 — 49.

18. Khazin M. L., Furzikov V. V., Tarasov P. I. Increasing mining dump trucks operation efficiency with the use of gas piston engines. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2020. no 2. Pp. 77 — 85. DOI: 10.21440/0536 — 1028 — 2020 — 2-77 — 85

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фурзиков Виталий Витальевич — начальник бюро исследовательских испытаний, ООО «Уральский дизель-моторный завод», Екатеринбург, Россия;
Хазин Марк Леонтьевич — докт. техн. наук, профессор, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург; e-mail: Khasin@ursmu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Furzikov V. V., head of research test bureau, Ural Diesel-Motor Works' LLC, Ekaterinburg, Russia, e-mail: furzikovvv@mail.ru;
Khazin M. L., Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: Khasin@ursmu.ru, Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 25.05.2021; получена после рецензии 21.09.2021; принята к печати 10.10.2021.
Received by the editors 25.05.2021; received after the review 21.09.2021; accepted for printing 10.10.2021.