



УДК 622.013. 364.2

Обзор / Review

© ПНИПУ / PNRPU, 2020

Экологические стандарты стран мира для горных машин и оборудования**М.Л. Хазин**

Уральский государственный горный университет (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Environmental Standards Around the World for Mining Machines and Equipment**Mark L. Khazin**

Ural State Mining University (30 Kuybysheva st., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation)

Получена / Received: 14.10.2019. Принята / Accepted: 15.06.2020. Опубликовано / Published: 17.08.2020

Ключевые слова:

горные машины, экология, открытые горные работы, выбросы, токсичные элементы, дизельное топливо.

Анализируются проблемы, связанные с использованием горных машин, оснащенных дизельными двигателями, выхлопные газы которых оказывают вредное влияние на здоровье человека и окружающую среду.

В горнодобывающей промышленности эксплуатируется огромное количество оборудования с дизельными двигателями: карьерные самосвалы, экскаваторы, буровые станки и другие горные машины. Выхлопные газы двигателей содержат токсичные элементы, оказывающие значительное влияние на здоровье персонала и окружающую среду. Загазованность рабочей атмосферы влечет за собой необходимость остановки карьера, а ухудшение видимости на трассе обуславливает частичную или полную остановку работы оборудования. На сегодняшний день экологические требования к двигателю автомобиля являются приоритетными. Проблема загрязнения атмосферы вредными веществами, содержащимися в выхлопе дизельных двигателей, становится глобальной. Для ее решения требуются совместные усилия многих стран. Инструментом для сближения в данной сфере служат международные конвенции и принятие соответствующих стандартов.

Большинство стран Европы, Азии и Америки ориентируется на сходные нормы по содержанию вредных веществ в выхлопных газах. Евросоюз в этом плане является своеобразным авторитетом: он наиболее часто обновляет данные показатели и внедряет жесткое правовое регулирование. Другие страны следуют такой тенденции и также обновляют нормы выбросов. Европейские страны раньше других обратили внимание на данную проблематику. На сегодняшний день экологические требования к двигателю автомобиля являются приоритетными. Исследования в этой области связаны с такими направлениями, как повышение производительности двигателей горных машин, уменьшение затрат труда на их техническое обслуживание и ремонт, повышение топливной экономичности, значительное улучшение экологических характеристик.

Keywords:

mining machines; ecology; open pit mining; emissions; toxic elements, diesel fuel.

The problems associated with the use of mining machines with diesel engines, the exhaust gases of which have a harmful effect on human health and the environment, are analyzed.

The mining industry operates a huge number of diesel-powered equipment: mining trucks, excavators, drilling rigs and other mining machines. Engine exhaust gases contain toxic elements that have a significant impact on the health of personnel and the environment. The gas contamination of the working atmosphere entails the need to stop the quarry, and the deterioration of visibility on the route leads to a partial or complete shutdown of the equipment. Today, environmental requirements for a car engine are of top priority. The problem of atmospheric pollution by harmful substances contained in the exhaust of diesel engines is becoming global. Its solution requires the joint efforts of many countries. International conventions and the adoption of relevant standards serve as a tool for convergence in this area.

Most countries in Europe, Asia and America are guided by similar standards for the content of harmful substances in exhaust gases. In this regard, the European Union is a kind of authority: it most often updates these indicators and introduces strict legal regulation. Other countries are following this trend and are also updating emission standards. European countries paid attention to this issue earlier than others. Today, environmental requirements for a car engine are of top priority. Research in this area is associated with such directions as increasing the performance of mining machinery engines, reducing labor costs for their maintenance and repair, increasing fuel efficiency, significantly improving environmental performance.

Хазин Марк Леонтьевич – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации горного оборудования (тел: +007 343 283 0956, e-mail: Khasin@ursmu.ru).**Mark L. Khazin** (Author ID in Scopus: 6506526940) – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Mining Equipment Operation (tel: +007 3432 83 09 57, e-mail: Khasin@ursmu.ru).

Введение

В горнодобывающей промышленности эксплуатируется огромное количество оборудования: карьерные самосвалы, экскаваторы, буровые станки и другие горные машины, оборудованные в основном двигателями внутреннего сгорания. Повышение производительности горного оборудования, увеличение глубины карьеров вызывает необходимость применения все более мощных двигателей для технологического транспорта, основным видом которого являются карьерные самосвалы [1–5].

Кроме горных машин значительную долю в загрязнение окружающей среды вредными выбросами выхлопных газов вносят стационарные дизель-электрические станции. Выбросы дизельных двигателей оборудования содержат многие тяжелые металлы (бериллий, кадмий, ртуть и др.), которые попадают в почву, поверхностные и грунтовые воды [6] и оказывают значительное влияние на общую концентрацию черного углерода (сажевых частиц) [7, 8].

Выхлопные газы дизельных двигателей оказывают значительное влияние на производительность работ за счет увеличения перерывов в работе вследствие загазованности атмосферы карьеров, ухудшения видимости на дорогах и здоровья персонала [9–12].

Концентрации вредных газов от дизельных двигателей горных машин, внедорожной и специальной техники в рабочих зонах стали достаточно угрожающими из-за специфических условий работы: присутствие большого количества людей на ограниченной площади. В некоторых районах это приводит к полной остановке работы, пока содержание вредных веществ в воздухе, а также видимость на дорогах не вернутся к норме [4, 9–11]. Возникает необходимость дополнительных затрат на проветривание карьера [13, 14] и применения средств индивидуальной защиты для водителей и другого персонала [15, 16].

Постоянное воздействие выхлопных газов на организм приводит к развитию иммунодефицита, бронхита, повреждению сосудов головного мозга, нервной системы и других органов [17, 18]. Формальдегиды и другие углеводороды в выхлопных газах дизельных двигателей, возможно, вызывают рак у людей при воздействии в течение года. Например, рак легких диагностирован у горнорабочих, которые подвергались действию выхлопных газов дизельных двигателей на протяжении 10–20 лет [19–21].

Цель работы – анализ экологических проблем использования горных машин и оборудования с дизельными двигателями.

Методология проведения работы

Одним из основных источников загрязнения атмосферы карьеров является технологический автотранспорт: внедорожная техника и карьерные самосвалы [4, 3, 9, 11, 22]. Проблема экологичности автомобилей возникла еще в середине XX в., когда машины стали массовым продуктом. Европейские страны, находясь на сравнительно небольшой территории, раньше других стали вводить различные экологические нормативы. Они существовали в отдельных странах и включали различные требования по содержанию вредных веществ в выхлопных газах двигателей автомобилей.

На сегодняшний день экологические требования к двигателю автомобиля являются приоритетными [22–24]. Развитие двигателей горных машин направлено на повышение их производительности, уменьшение затрат труда на их техническое обслуживание и ремонт; повышение топливной экономичности и значительное улучшение экологических характеристик.

Экологические стандарты Евросоюза

Для внедорожной техники, тягачей и карьерных самосвалов, в том числе и дизельных генераторов, действует серия европейских стандартов Stage (Директива 97/68/ЕС), которые регламентируют максимальное содержание в выхлопных газах четырех токсичных составляющих – оксидов азота (NO_x) и углерода (CO), углеводородов (CH) и твердых частиц или сажи (PM) [25, 26].

Первый стандарт Stage 1 был введен в 1999 г. Более жесткие нормы Stage 2 вступали в действие поэтапно с 2001 по 2004 г., в зависимости от полезной мощности двигателей. С января 2001 г. под их действие попали двигатели мощностью 18–37 кВт, а затем и дизели мощностью от 130 до 560 кВт, которыми оборудуются строительные и горные машины массой от 20 до 100 т (табл. 1).

Одним из направлений улучшения экологических характеристик дизельных топлив является уменьшение в его составе соединений серы. Требования к их содержанию постоянно ужесточаются: от 500 млн^{-1} (в 1996 г.) до 50 млн^{-1} (в 2005 г.). В 2010 г., в соответствии с европейскими стандартами Euro 5, максимальное содержание серы в бензине и дизельном топливе должно составлять 10 млн^{-1} [6].

Таблица 1

Нормы Евросоюза Stage по токсичности выхлопных газов дизельных двигателей внедорожных машин (EU Stage emission standards for nonroad diesel engines)

Норма	Полезная мощность, кВт	Категория	Год	Содержание токсичных веществ в выхлопных газах, г/(кВт·ч)			
				CO	CH	NO _x	Сажа
Stage 1	75...130	–	1999	5,0	1,3	9,2	0,70
	130...560	–		5,0	1,3	9,2	0,54
Stage 2	75...130	–	2003	5,0	1,0	6,0	0,3
	130...560	–	2002	3,5	1,0	6,0	0,2
Stage 3A	75...130	<i>I</i>	2007	5,0	4,0	–	0,3
	130...560	<i>H</i>	2006	3,5	4,0	–	0,2
Stage 3B	75...130	<i>M</i>	2012	5,0	0,19	3,3	0,025
	130...560	<i>L</i>	2011	3,5	0,19	2,0	0,025
Stage 4	56...130	<i>R</i>	2014	5,0	0,19	0,4	0,025
	130 ... 560	<i>Q</i>	2014	3,5	0,19	0,4	0,025

Примечание: * – под действие Stage 2 с 31 декабря 2006 г. также попадают двигатели, работающие при постоянной частоте вращения.

Нормы Stage 3 постепенно вступали в силу с 2006 по 2013 г., а действие Stage 4 введено в 2014 г. Эти стандарты дополнительно к тем категориям двигателей, которые попадают под действие норм Stage 1 и Stage 2, ограничивают токсичность выхлопных газов двигателей железнодорожных локомотивов и водных судов, используемых на внутренних водных транспортных артериях. Под действие норм Stage 3–4 (см. табл. 1) попадают только новые транспортные средства и оборудование, а машины, уже находящиеся в эксплуатации, можно продолжать использовать, если двигатели соответствуют нормам Stage 1 и Stage 2.

Стандарт Stage 4 ограничивает предельное содержание сажи (твердых частиц) в пределах 0,020...0,025 г/кВт·ч. Системы выпуска двигателей, чтобы обеспечить соответствие этим нормам (приблизительно 90%-ное уменьшение содержания токсичной составляющей по сравнению с нормами Stage 2), по-видимому, придется оборудовать сажевыми фильтрами. Для некоторых двигателей может также потребоваться нейтрализация выхлопных газов при помощи каких-либо устройств в системе выпуска, например, избирательная каталитическая нейтрализация выхлопных газов с аммиачным реагентом (SCR), чтобы обеспечить соответствие очень жестким нормам Stage 4 по NO_x – 0,4 г/кВт·ч.

На основе директив Евросоюза разрабатываются национальные стандарты государств-членов. Следом за Евросоюзом другие государства также стали вводить подобные экологические нормативы.

Экологические стандарты США

Двигатели всех транспортных средств (легковые и большегрузные автомобили, а также внедорожная техника) в США попадают под действие стандартов Tier [25, 26].

Всеобъемлющий характер стандартов Tier проявляется даже в принятой классификации двигателей по мощности: 0–18; 19–55; 56–129; 130–560 и более 560 кВт, тогда как европейские нормы охватывают всего лишь дизельные двигатели мощностью 56–129 и 130–560 кВт. Для каждой группы установлены свои ограничения вредных выбросов.

Федеральные стандарты Tier 1 для дизельных двигателей мощностью свыше 37 кВт (50 л.с.) внедорожных машин были приняты в 1994 г. и вступали в действие поэтапно, в период с 1996 по 2000 г.

В 1996 г. между Управлением по защите окружающей среды США (EPA), Советом по природным ресурсам Калифорнии (ARB) и компаниями-производителями (Caterpillar, Cummins, John Deere, Detroit Diesel, Deutz, Isuzu, Komatsu, Kubota, Mitsubishi, Navistar, New Holland, Wis-Con и Yanmar) было подписано Соглашение о принципах (Statement of Principles – SOP), которое регламентирует нормы выброса токсичных веществ дизельными моторами внедорожных машин. В 1998 г. были введены стандарты Tier 1 для моделей мощностью ниже 37 кВт (50 л.с.) и более жесткие Tier 2 и Tier 3 (табл. 2) для всех моделей. Стандарты Tier 2 и Tier 3 вводили в действие поэтапно – с 2000 по 2008 г.

Двигатели всех типоразмеров также должны соответствовать нормам дымности: 20 % непрозрачности на режиме разгона, 15 % – при торможении двигателем, 50 % – при максимальной мощности. Нормы предусматривают проверку по нескольким другим контрольным величинам, получаемым путем пересчета: осреднение, объединение и обмен значений содержания токсичных веществ, а также по максимальным величинам. «Предел по токсичности семейства двигателей» (FEL) служит критерием осредненных показателей токсичности выхлопных газов всего семейства двигателей.

Таблица 2

Нормы США Tier по токсичности выхлопных газов дизельных двигателей внедорожных машин (US Tier emission standards for nonroad diesel engines)

Норма	Мощность двигателя, кВт (л.с.)	Год	Содержание токсичных веществ в выхлопных газах, г/(кВт·ч) (г/л.с.-ч)				
			СО	СН	NMHC + NO _x	NO _x	Сажа
Tier 1		1997	–	–	–	9,2 (6,9)	–
Tier 2	75...130 (100...175)	2003	5,0 (3,7)	–	6,6 (4,9)	–	0,30 (0,22)
Tier 3		2007	5,0 (3,7)	–	4,0(3,0)	–	–*
Tier 1		1996	11,4(8,5)	1,3 (1,0)	–	9,2 (6,9)	0,54 (0,40)
Tier 2	130...225 (175...300)	2003	3,5 (2,6)	–	6,6 (4,9)	–	0,20 (0,15)
Tier 3		2006	3,5 (2,6)	–	4,0(3,0)	–	–*
Tier 1		1996	11,4 (8,5)	1,3 (1,0)	–	9,2 (6,9)	0,54 (0,40)
Tier 2	225...450 (300...600)	2001	3,5(2,6)	–	6,4 (4,8)	–	0,20 (0,15)
Tier 3		2006	3,5 (2,6)	–	4,0 (3,0)	–	–
Tier 1		1996	11,4 (8,5)	–	–	9,2 (6,9)	0,54 (0,40)
Tier 2	450...560 (600...750)	2002	3,5 (2,6)	–	6,4 (4,8)	–	0,20 (0,15)
Tier 3		2006	3,5 (2,6)	–	4,0 (3,0)	–	–*
Tier 1	Более 560 (более 750)	2000	11,4 (8,5)	1,3 (1,0)	–	9,2 (6,9)	0,54 (0,40)
Tier 2		2006	3,5 (2,6)	–	6,4 (4,8/)	–	0,20 (0,15)
Tier 4	56...130 (75...175)	2012–2014	5,0 (3,7)	0,19 (0,14)	–	0,4 (0,3)	0,02(0,015)
	130...560 (175...750)	2011–2014	3,5 (2,6)	0,19 (0,14)	–	0,4 (0,3)	0,02(0,015)
	Более 900 (1223)	2014	3,5 (2,6)	0,40 (0,30)	–	3,5 (2,6)	0,10 (0,07)
Tier 4 Final	130...560 (175...750)	–	3,5 (2,6)	0,19 (0,14)	–	0,4 (0,3)	0,02(0,015)

Примечание: * – не установлены; нормы Tier 4 по уровню содержания сажи двигателя должны соответствовать таковым Tier 2; NMHC – неметановые углеводороды.

Таблица 3

Нормы РФ по токсичности выхлопных газов дизельных двигателей внедорожных машин (RF emission standards for nonroad diesel engines)

Норма	Диапазон мощности	Полезная мощность, кВт	Оксид углерода СО	Углеводороды СН	Оксиды азота NO _x	Вредные частицы РМ
ГОСТ Р 41.96-99	–	75 ≤ P < 130	5	1,3	9,2	0,70
	–	P ≥ 130	5	1,3	9,2	0,54
ГОСТ Р 41.96-05	–	75 ≤ P < 130	5	1,3	9,2	0,70
	–	P ≥ 130	5	1,3	9,2	0,54
	F*	75 ≤ P < 130	5,0	1,0	6,0	0,3
	E*	130 ≤ P ≤ 560	3,5	1,0	6,0	0,2
ГОСТ Р 41.96-11	F	75 ≤ P < 130	5,0	1,0	6,0	0,3
	E	130 ≤ P ≤ 560	3,5	1,0	6,0	0,2

Нормы Tier 4 (см. табл. 2), введенные в действие поэтапно (с 2008 по 2015 г.), предусматривают значительное сокращение NO_x и сажи, а также более строгие ограничения содержания СН. Нормы содержания СО остались без изменений – такими же, как в Tier 2 и Tier 3.

Нормы Tier 4 предусматривают оценку по предельно допустимым нормам (NTE). Для двигателей большинства категорий по нормам NTE допускается превышать уровень содержания каждой токсичной составляющей выхлопных газов в 1,25 раза относительно указанного в стандарте. Двигатели должны соответствовать требованиям норм NTE как при сертификации, так и в период всего срока эксплуатации.

Если сравнить количественные нормы, то последние редакции американских стандартов соответствуют европейским (см. табл. 1 и 2). Что касается ограничения количества серы в дизельном топливе, то впервые этот показатель на обоих континентах начинает лимитироваться в стандартах Euro 3 и Tier 3.

Экологические стандарты России

Россия в основном не отстает от стандартов Евросоюза по нормированию выбросов выхлопных газов. Экологические нормы для тяжелой внедорожной техники регулируются ГОСТ [27–29]. Первый стандарт ГОСТ Р41 96-99, равнозначный Stage I (Tier 1), был принят в 1999 г., а затем введены более жесткие нормы – ГОСТ Р41 96-05 и ГОСТ Р41 96-11 (табл. 3).

27 февраля 2008 г. утвержден (постановлением правительства РФ № 118 с изменениями, утвержденными от 30 декабря 2008 г. постановлением № 1076) и с 27 августа 2008 г. вступил в силу технический регламент, устанавливающий содержание серы в дизельном топливе от 10 до 500 ppm в зависимости от класса. Однако примерно в течение трех лет (для топлива разных классов даты различаются, 2011–2014 гг., а для топлива класса 5 срок не ограничивается) допускается выпуск в оборот дизельного топлива, содержащего 2000 ppm

серы. Поэтому использование низкосортного дизельного топлива, от которого отказались все развитые страны, продлится еще немало лет. Во многих карьерах России все еще используются карьерные самосвалы, экскаваторы и буровые станки, выпущенные в девяностые годы с отечественными двигателями, которые не соответствуют современным мировым нормам и находятся на уровне Stage 1–2. Для этого оборудования устаревшие марки дизельного топлива подходят лучше, а его стоимость ниже.

Экологические стандарты стран Северной и Южной Америки

Канада [25]. Правила о выбросах дорожных транспортных средств и двигателей (SOR/2003-2) согласованы со стандартами США, но с некоторым отставанием, что создает разницу в стандартах Канады и США на этапе перехода.

Мексика [25]. Первые нормы выбросов для мощных дизельных двигателей NOM-044-ECOL-1993 вступили в силу в 1993 г. Эти стандарты были основаны на экологических нормах США. С февраля 2003 г. в качестве альтернативы двигатели могут также соответствовать европейским стандартам. В 2006 г. были приняты новые нормы по выбросам для двигателей тяжелых грузовиков в соответствие со стандартами США 2004 г. или эквивалентные стандарту Euro 4. В 2018 г. нормы выбросов были приведены в соответствие с Tier 5 / Евро 5.

В странах Южной Америки [25] нормативно-правовая база для ограничения уровня вредных выхлопов от дизельных двигателей также основывается на европейских и американских стандартах.

Аргентина. Стандарты выбросов двигателей для тяжелой внедорожной техники основаны на европейских правилах условий эксплуатации.

В *Бразилии* первый стандарт был введен в 1988 г. В основном эти нормы соответствовали европейским, однако действующий стандарт PROCONVE L6, хотя и является аналогом Euro 5, не включает в себя обязательное наличие фильтров для фильтрации твердых частиц или количества выбросов в атмосферу.

Чили. В тех случаях, когда существуют двойные стандарты, двигатели должны соответствовать требованиям ЕС или США.

Перу. С 1 января 2003 г. все новые сверхмощные двигатели должны соответствовать нормам Euro 2, а с 2007 г. – Euro 3.

Экологические стандарты стран Азии

В странах Азии [25] нормативно-правовая база для ограничения уровня вредных выхлопов

от дизельных двигателей представляет собой совокупность европейских и американских стандартов с учетом местных особенностей.

В *Китае* программы по контролю выбросов загрязняющих веществ автомобилями появились в восьмидесятые годы, а общенациональный стандарт (CNS) был принят в конце девяностых годов прошлого века. Постепенно Китай начал применять более строгие стандарты выбросов выхлопных газов для легковых и тяжелых грузовых автомобилей в соответствии с европейскими нормами. Эквивалентом Euro 1 стал China 1, Euro 2 – China 2 и т. д. Эти нормы уже введены на территории таких крупных городов, как Пекин, Шанхай и Гуанчжоу [30, 31]. Текущий национальный стандарт по содержанию токсичных веществ в выхлопных газах автомобилей в Китае – China 5. Министерство экологии и окружающей среды уделяет повышенное внимание разработке China 6 – нового стандарта, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах. Стандарты China 5 и 6 одинаковы для всех видов топлива и более жесткие, чем Euro 6.

В Японии действует своя нормативно-правовая база, лимитирующая уровень вредных выхлопов от дизельных двигателей. Последняя редакция стандартов 2009 г. по своему значению представляет собой что-то среднее между Tier 4 и Euro 5. По этим нормам пределы выбросов оксидов азота дизельными двигателями мощностью от 56 до 560 кВт должны быть сокращены до 0,4 г/кВт ч. Для двигателей мощностью 56–130 кВт стандарты вступили в силу в 2015 г., а дизельные двигатели большей мощности попали под их действие еще в 2014 г. Для дизельных двигателей внедорожной техники и электростанций разработаны MOT/MOC standards, которые достаточно близки европейским и американским нормам Stage 4 и Tier 4, но не во всем соответствуют им. Кроме того, все транспортные средства в Японии попадают под действие «Программы эффективного использования топлива». Это первая программа в мире, охватывающая не только легковые, но и большегрузные транспортные средства. На дизельное топливо в Японии распространяется закон «О контроле качества бензина и других видов топлива» и промышленный стандарт K 2204 «Дизельное топливо».

Индия с 2000 г. начала вводить европейские нормы выбросов и топлива для транспортных средств малой и большой грузоподъемности. По всей стране действуют нормы Bharat Stage 3, но в Дели и еще 11 крупных городах уже введены нормы Bharat Stage 4.

На территории *Малайзии, Индонезии, Филиппин, Вьетнама и Таиланда* пока действуют стандарты, основанные на Euro 2.

Нормы Евросоюза Stage 5 по токсичности выхлопных газов дизельных двигателей внедорожных машин и генераторных установок (EU Stage 5 emission standards for nonroad diesel & generator set engines)

Тип двигателя	Диапазон мощности нетто, кВт	Дата «выхода на рынок»	Содержание токсичных веществ в выхлопных газах, г/(кВт ч)				
			CO	CH	NO _x	PM (масса частиц)	PN (количество частиц), 1/кВт·ч
Все	130...560	2019	3,5	0,19 ^c	0,4	0,015	1·10 ¹²
Все	> 560	2019	3,5	0,19 ^d	3,5	0,045	–
Генераторные установки	> 560	2019	3,5	0,19 ^a	0,67	0,035	–

Южная Корея. Ранние стандарты норм выбросов для большегрузных дизельных грузовых двигателей основывались на японских стандартах, а с 2003 г. – переходят на европейские. Первые корейские стандарты по ограничению выбросов для внедорожной техники вступили в силу в 2004/2005 гг. на основе стандартов США Tier 1 и 2. В 2009 г. для строительной техники и в 2013 г. для сельскохозяйственной техники вступили в силу стандарты выбросов, основанные на Tier 3, а с 2015 г. – стандарт Tier 4.

Все экологические стандарты по содержанию вредных веществ в выхлопных газах в странах азиатского региона распространяются и на дизельное топливо, предполагая постепенное сокращение количества серы в нем. Только в Китае принятые нормы не распространяются на дизельное топливо, используемое для внедорожной техники и электростанций.

Экологические стандарты прочих стран

Большинство остальных стран перенимают нормы, принятые в США, Европе или Японии [25].

В *Австралии* и *Новой Зеландии* действуют нормы Euro, которые вступили в силу практически в то же время, что и в европейских странах. Некоторые государства напрямую признают европейские, американские или японские сертификаты. Это зависит от экономических и политических отношений с теми или иными государствами. Таким образом, на данный момент в большинстве стран мира двигатели внедорожной техники и электростанций попадают под действие ограничений, равнозначных Stage II.

Сравнение экологических стандартов

Стандарты EU Stage 4 и US Tier 4 Final – самые «свежие» действующие экологические стандарты по ограничению вредных выбросов двигателей внедорожной техники. Они схожи по номенклатуре и нормам, чтобы в условиях глобализации не было необходимости для каждого рынка создавать отдельные двигатели.

Однако в Евросоюзе уже рассматривается проект новых, более жестких норм по выбросам – Stage 5 [32–34] (табл. 4). В США это будет соответствовать стандарту Tier 5.

Предложенный стандарт Stage 5 заменит существующую многоуровневую правовую базу одним нормативным актом для всего ЕС.

Сейчас стандарт Stage 4 распространяется на двигатели мощностью от 56 до 560 кВт, а в сферу действия Stage 5 попадут все силовые агрегаты независимо от мощности: менее 19 кВт и свыше 560 кВт.

Большую озабоченность ученых вызывают выбросы дизельными двигателями дисперсных частиц (particulate matter – PM). В чистом виде сажа является нетоксичной. Однако частицы сажи, имея высокую адсорбционную способность, несут на своей поверхности токсичные вещества. Наибольшую опасность представляют наночастицы диаметром менее 50 нм, глубоко проникающие в легкие человека и способствующие развитию сердечно-сосудистых и раковых заболеваний [7, 17, 35, 36]. Сажа может долгое время находиться во взвешенном состоянии в воздухе, увеличивая этим время действия токсичных веществ на человека [6, 8]. Причем новые, более современные модели дизелей выделяют большее количество мелких частиц, чем дизели, изготовленные по старой технологии [37].

В октябре 2014 г. Европейская комиссия приняла «Директиву по качеству топлива», требующую от дистрибьюторов топлива для автомобильного транспорта сократить к 2020 г. на 6 % интенсивность выброса выхлопных газов [38]. Поэтому в нормах Stage 5 будут введены актуальные ограничения по наличию в отработавших газах двигателей твердых частиц (сажи) не только по массе (PM), но и по количеству (PN), а также по содержанию оксидов азота NO_x (см. табл. 4). Норма PN введена для того, чтобы технологии фильтрации твердых частиц (сажи), например фильтры с активной (управляемой) регенерацией, гарантированно использовались на всех двигателях, попадающих под действие данных норм.

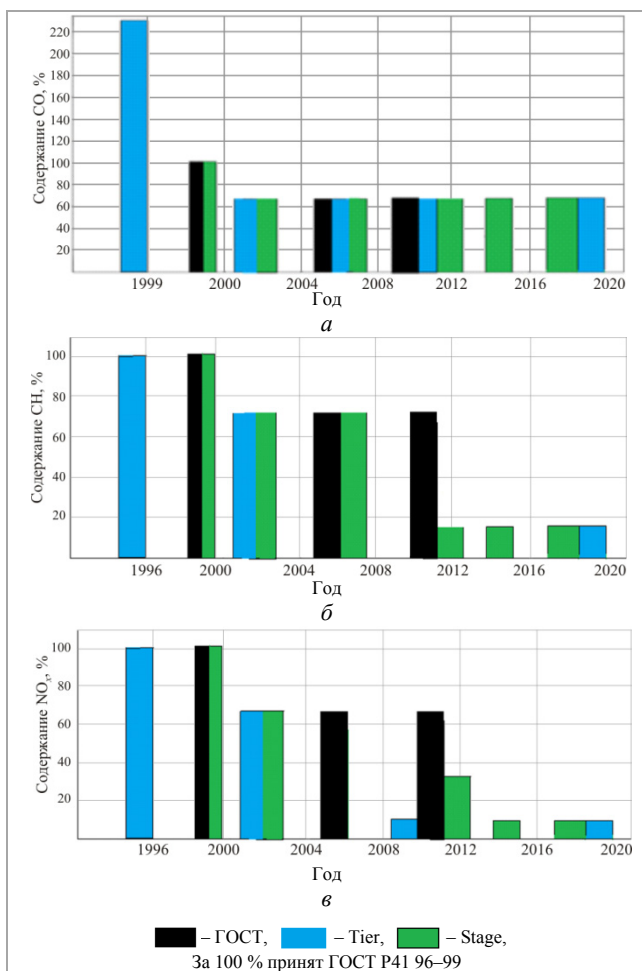


Рис. 1. Динамика изменения содержания экологических требований по содержанию: а – CO; б – CH; в – NO_x

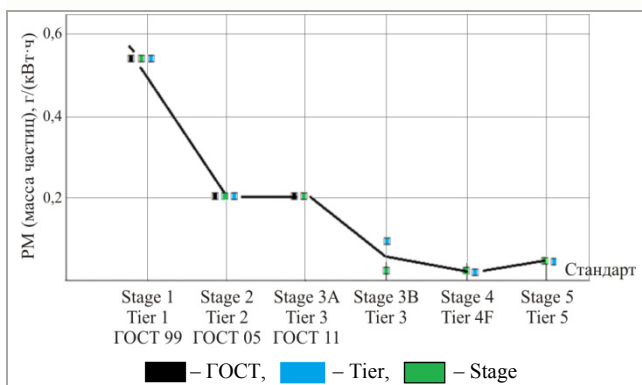


Рис. 2. Изменение содержания массы частиц в отработанных газах дизельного двигателя в зависимости от стандарта

Следует отметить, что для установки соответствия Tier 5 нормам Stage 5 в экологические стандарты США придется внести принципиальные изменения. Дело в том, что в Stage 5 ограничивается количество твердых частиц (PN) в выбросах, и для выполнения этих требований необходимо обязательно использовать сажевый фильтр (DPF), в то время как нормы Tier 4 могут быть выполнены без использования такового.

Охрана окружающей среды является одной из важнейших проблем человечества, так как от ее решения зависит жизнь людей, их здоровье и благосостояние. В условиях глобализации проблема загрязнения атмосферы вредными веществами, содержащимися в выхлопе автомобилей, перестает быть актуальной лишь для развитых стран, а становится глобальной. Для ее решения требуются совместные усилия многих стран. Поэтому экологические требования к качеству двигателей и топлива постоянно ужесточаются (рис. 1).

Американские стандарты Tier 4 и Tier 4 Final соответствуют более низким пределам содержания твердых частиц для двигателей внедорожной техники по сравнению со стандартами EU Stage 3B и 4 соответственно. Однако стандарты США не требуют применения сажевых фильтров дизельного топлива. EU Stage V предлагает новый, более низкий предел содержания твердых частиц (до 0,015 г / кВт ч для двигателей мощностью от 130 кВт до 560 кВт). Это на 25 % ниже, чем требование Tier 4 Final. Пределы содержания твердых частиц, а также новые требования по PN, предложенные ЕС, приведут к повышению вероятности использования дизельных сажевых фильтров для значительного уменьшения выбросов сажи от внедорожных двигателей в диапазоне мощности от 19 до 560 кВт [25, 39]. Предложенный стандарт внедорожного двигателя Stage V может стать новой и лучшей практикой для остального мира.

Предельное значение PM для стандарта Stage 5 на 97 % ниже, чем для стандарта Stage 1, а предел совместного содержания для углеводородов (CH) и оксидов азота (NO_x) ниже на 94 % (рис. 2). При использовании дизельных двигателей NRE в диапазоне от 130 до 560 кВт предел PM снижается до 0,015 г/кВт-ч – снижение на 40 % по сравнению с предыдущим пределом выбросов Stage 4 (0,025 г/кВт-ч).

Увеличение содержания частиц в стандартах Stage 5 (Tier 5) связано с тем, что предыдущие стандарты распространялись на двигатели мощностью до 560 кВт, а Stage 5 (Tier 5) ориентируется на двигатели мощностью более 560 кВт.

Сближение стандартов по регулированию содержания токсичных веществ в выхлопных газах двигателей между странами обусловлено не только стремительно развивающимися международными экономическими отношениями, но и необходимостью бороться за чистоту окружающей среды.

За последние два десятилетия ЕС принял серию из семи директив, касающихся выбросов от внедорожных двигателей. Действующее в ЕС

регулирование выбросов от этих двигателей состоит из различных приложений, в которые были внесены изменения восемь раз с момента принятия в 1997 г. Эти директивы оставляли на усмотрение отдельных стран-членов ЕС возможность изменять стандарты для достижения намеченных результатов, в результате чего в настоящее время приняты 28 национальных стандартов.

В дополнение к 28 национальным стандартам региональные поправки устанавливают дополнительные требования к двигателям, продаваемым и используемым в целевых областях, что отражает более строгие требования, чем европейское законодательство. Так, Германия [40], Австрия [41] и Нидерланды [42] приняли национальные стандарты, требующие обязательного применения дизельных сажевых фильтров на мощной строительной технике.

Заключение

Здоровье людей, охрана окружающей среды являются важнейшими для человечества. Проблема загрязнения атмосферы вредными веществами отработанных газов горных и внедорожных машин в условиях глобализации перестает быть актуальной для отдельных стран, а становится всеобщей. Поэтому необходимы совместные усилия многих стран. Евросоюз в этом плане является своеобразным авторитетом: он наиболее часто обновляет данные показатели и внедряет жесткое правовое регулирование. Большинство стран мира ориентируются на сходные нормы по содержанию вредных веществ в выхлопных газах, следуют за такой тенденцией и также обновляют нормы выбросов.

Библиографический список

1. Humphreys D. Mining productivity and the fourth industrial revolution // *Mineral Economics*. – 2019. – P. 1–11. DOI.org/10.1007/s13563-019-00172-9
2. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 206. – P. 1696–1702. DOI.org/10.1016/j.proeng.2017.10.700
3. Da Cunha Rodovalho E., Lima H. M., De Tomi G. New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations // *Journal of environmental management*. – 2016. – Vol. 172. – P. 177–185. DOI.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.048
4. Koptev V.Y., Kopteva A.V. Developing an Ecological Passport for an Open-Pit Dump Truck to Reduce Negative Effect on Environment // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing. – 2017. – Vol. 66, № 1. – P. 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/66/1/012009
5. 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, № 3. – P. 2565–2573. DOI: 10.1109/TIA.2014.2372046

6. Бойченко С.В. Шкильнюк И.А. Экологические аспекты использования моторных топлив (Обзор) // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2014. – № 5–6. – С. 35–44.
7. Анализ влияния выбросов автотранспорта на уровень загрязнения атмосферного воздуха: региональный аспект / В.А. Никифорова, Е.А. Видищева, Д.Д. Видищева, В.С. Глеба // *Устойчивое развитие регионов России: от стратегии к тактике*. – Новосибирск, 2017. – С. 114–119.
8. Холод Н.М., Малышев В.С., Эванс М. Снижение выбросов черного углерода карьерными самосвалами // *Горная промышленность*. – 2015. – № 3 (121). – С.72–76.
9. Эколого-экономическая оценка использования карьерных самосвалов / М.Л. Хазин, П.И. Тарасов, В.В. Фурзиков, А.П. Тарасов // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2018. – № 7. – С. 85–94. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-7
10. Шешко О.Е. Эколого-экономическое обоснование возможности снижения нагрузки на природную среду от карьерного транспорта // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2017. – № 2. – С. 241–252.
11. Хазин М.Л., Тарасов А.П. Эколого-экономическая оценка карьерных троллейбусов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 66–80. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6
12. Dallmann T., Menon A. Technology pathways for diesel engines used in non-road vehicles and equipment // *International Council on Clean Transportation (ICCT)*. – Washington, DC, USA, 2016.
13. Козырев С.А., Амосов П.В. Пути нормализации атмосферы глубоких карьеров // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. – 2014. – Т. 17, № 2. – С. 231–237.
14. Старостин И.И., Бондаренко А.В. Проветривание карьеров струйными вентиляторами в комплексе с устройством для аэрации // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2015. – № 1. – С. 32–41. DOI: 10.7463/0115.0755210
15. Кулешов А.Н., Андреев Л.Н. Влияние параметров микроклимата салонов грузовых автомобилей на условия труда и методы его улучшения // *Современные тенденции развития науки и технологий*. – 2016. – № 12–3. – С. 68–71.
16. Кутенев В.Ф., Сайкин А.М. Исследование влияния условий эксплуатации карьерных самосвалов на загрязнение воздуха кабин водителей // *Журнал автомобильных инженеров*. – 2009. – № 4 (57). – С. 17–19.
17. Workplace exposure to diesel and gasoline engine exhausts and the risk of colorectal cancer in Canadian men / L. Kachuri, P.J. Villeneuve, M-É. Parent, K.C. Johnson // *Environmental Health*. – 2016. – Vol. 15, № 1. – P. 4–16. DOI.org/10.1186/s12940-016-0088-1
18. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // *Toxicological Sciences*. – 2017. – Vol. 158, № 2. – P. 243–251. DOI.org/10.1093/toxsci/kfx110
19. 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, № 11. – P. 1045–1060. DOI: org/10.1080/10962247.2016.1158751
20. Diesel motor emissions and lung cancer mortality-Results of the second follow-up of a cohort study in potash miners / A. Neumeyer-Gromen, O. Razum, N. Kersten, A. Seidler, H. Zeeb // *International journal of cancer*. – 2009. – Vol. 124, № 8. – P. 1900–1906. DOI: org/10.1002/ijc.24127
21. Occupational Exposure to Diesel and Gasoline Engine Exhausts and the Risk of Kidney Cancer in Canadian Men / C.E. Peters, M-É. Parent, S.A. Harris [et al.] // *Annals of work exposures and health*. – 2018. – Vol. 62, № 8. – P. 978–989. DOI.org/10.1093/annweh/wxy059
22. Osorio-Tejada J. L., Llera-Sastresa E., Scarpellini S. A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 42. – P. 169–186. DOI: org/10.1016/j.jngse.2017.02.046
23. Frey H. C. Trends in onroad transportation energy and emissions // *Journal of the Air & Waste Management*

Association. – 2018. – Vol. 68, № 6. – P. 514–563. DOI: 10.1080/10962247.2018.1454357

24. Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport / D.C. Quiros, J. Smith, A. Thiruvengadam, T. Huai // *Atmospheric Environment*. – 2017. – Vol. 168. – P. 36–45. DOI.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.066

25. Emission Standards [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dieselnet.com/standards/> (дата обращения: 19.08.2019).

26. EU: Nonroad Engines [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#intro> (дата обращения: 19.08.2019).

27. ГОСТ Р 41.96-1999. Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями: введ. 2001-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 61 с.

28. ГОСТ Р 41.96-2005. Единообразные предписания, касающиеся двигателя с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями: введ. 2008-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 61 с.

29. ГОСТ Р 41.96-2011. Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями: введ. 2013-01-03 взамен ГОСТ Р 41.96-2005. – М.: Стандартинформ, 2013. – 61 с.

30. Energy consumption and greenhouse gas emissions of diesel/LNG heavy-duty vehicle fleets in China based on a bottom-up model analysis / H. Song, X. Ou, J. Yuan, C.I. Wang // *Energy*. – 2017. – Vol. 140. – P. 966–978. DOI: org/10.1016/j.energy.2017.09.011

31. The characteristics of greenhouse gas emissions from heavy-duty trucks in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region in China / Y. Xing, H. Song, M. Yu [et al.] // *Atmosphere*. – 2016. – Vol. 7, № 9. – P. 121–132. DOI: org/10.3390/atmos7090121

32. European Commission «Cutting emissions and cutting red tape: a new regulation for off-road engines» (2014). [Электронный ресурс]. – URL: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-1044_en.htm (дата обращения: 19.08.2019).

33. European Parliament and Council «Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements related to gaseous and particulate pollution emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery» (2016). [Электронный ресурс]. – URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628> (дата обращения: 19.08.2019).

34. Shao Z., Dallmann T. European stage v non-road emission standards [Электронный ресурс]. – URL: <https://theicct.org/publications/european-stage-v-non-road-emission-standards> (дата обращения: 19.08.2019).

35. Characteristics of particle number and mass emissions during heavy-duty diesel truck parked active DPF regeneration in an ambient air dilution tunnel / S. Yoon, D.C. Quiros, H.A. Dwyer, J.F. Collins // *Atmospheric Environment*. – 2015. – Vol. 122. – P. 58–64. DOI: org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.032

36. Yamada H., Inomata S., Tanimoto H. Mechanisms of increased particle and VOC emissions during DPF active regeneration and practical emissions considering regeneration // *Environmental science & technology*. – 2017. – Vol. 51, № 5. – P. 2914–2923. DOI: org/10.1021/acs.est.6b05866

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

38. European Commission, Climate action: Reducing the carbon content of transport fuels: press release. – Brussels, 2014.

39. Cottrell J. FPT Powertrain Technologies Stage V NRMM. 8° Integer Chicago; DEUTZ. Stage V ready (2015), & Rolls-Royce power systems AG. Rolls-Royce to exhibit MTU Stage V engines at bauma 2016 (2016). [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.oemoffhighway.com/press_release/12160037/rolls-](http://www.oemoffhighway.com/press_release/12160037/rolls-royce-to-exhibit-mtu-stage-v-engines-at-bauma-2016)

[royce-to-exhibit-mtu-stage-v-engines-at-bauma-2016](http://www.oemoffhighway.com/press_release/12160037/rolls-royce-to-exhibit-mtu-stage-v-engines-at-bauma-2016) (дата обращения: 19.08.2019).

40. Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA). «Technische Regel für Gefahrstoffe 554» (2008) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-554.html> (дата обращения: 19.08.2019).

41. The Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management. «Verordnung über die Verwendung von mobilen technischen Einrichtungen, Maschinen und Geräten» (2015) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/luft-laerm-erkehr/luft/richtlinien/offroad-vo.html> (дата обращения: 19.08.2019).

42. The Inspectorate SZW [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.inspectieszw.nl> (дата обращения: 19.08.2019).

References

1. Humphreys D. Mining productivity and the fourth industrial revolution. *Mineral Economics*, 2019, pp. 1-11. DOI.org/10.1007/s13563-019-00172-9

2. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 1696-1702. DOI.org/10.1016/j.proeng.2017.10.700

3. Da Cunha Rodovalho E., Lima H. M., De Tomi G. New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations. *Journal of environmental management*, 2016, vol. 172, pp. 177-185. DOI.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.048

4. Koptev V.Y., Kopteva A.V. Developing an Ecological Passport for an Open-Pit Dump Truck to Reduce Negative Effect on Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing*, 2017, vol. 66, no. 1, 012009 p. DOI: 10.1088/1755-1315/66/1/012009

5. 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

6. Бойченко С.В. Шкильнюк И.А. Экологические аспекты использования моторных топлив (Обзор) [Environmental aspects of the use of motor fuels (Review)]. *Energotehnologii i resursoberezhenie*, 2014, no. 5-6, pp. 35-44.

7. Nilkiforova V.A., Vidishcheva E.A., Vidishcheva D.D., Gleba V.S. Analiz vliianiia vybrosov avtotransporta na uroven' zagriazneniia atmosfernogo vozdukh: regional'nyi aspekt [Analysis of the Impact of Vehicle Emissions on the Level of Air Pollution: Regional Aspect]. *Ustoichivoe razvitie regionov Rossii: ot strategii k taktike*, 2017, pp. 114-119.

8. Kholod N.M., Malyshev V.S., Evans M. Snizhenie vybrosov chernogo ugleroda kar'ernymi samosvalami [Minimizing the black carbon emission of mine dump trucks]. *Gornaia promyshlennost'*, 2015, no. 3 (121), pp. 72-76.

9. Khazin M.L., Tarasov P.I., Fuzrikov V.V., Tarasov A.P. Ekologo-ekonomicheskaiia otsenka ispol'zovaniia kar'ernykh samosvalov [Environmental and technical assessment of operation of career dump trucks in northern areas]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, 2018, no. 7, pp. 85-94. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-7

10. Sheshko O.E. Ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie vozmozhnosti snizheniia nagruzki na prirodnuuiu sredu ot kar'ernogo transporta [Ecological and economic substantiation of the possibility to reduce the load on the nature environment from open pit transport]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*, 2017, no. 2, pp. 241-252.

11. Khazin M.L., Tarasov A.P. Ekologo-ekonomicheskaiia otsenka kar'ernykh trolleivozov [Ecological and economic evaluation of quarry trolley trucks]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 66-80. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6

12. Dallmann T., Menon A. Technology pathways for diesel engines used in non-road vehicles and equipment. *International Council on Clean Transportation (ICCT)*. Washington, DC, USA, 2016.

13. Kozyrev S.A., Amosov P.V. Puti normalizatsii atmosfery glubokikh kar'erov [Ways of atmosphere normalization of deep open-pits]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, vol. 17, no. 2, pp. 231-237.

14. Starostin I.I., Bondarenko A.V. Provetrianiye kar'erov struinymi ventilatorami v komplekse s ustroystvom dlia aeratsii [Jet Fans Airing Quarries in Combination with a Device for Aeration]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni N.E. Baumana*, 2015, no. 1, pp. 32-41. DOI: 10.7463/0115.0755210

15. Kuleshov A.N., Andreev L.N. Vliianie parametrov mikroklimata salonov gruzovykh avtomobilei na usloviia truda i metody ego uluchsheniia [Influence of parameters of microclimate of interiors of trucks on working conditions and methods of its improvement]. *Sovremennye tendentsii razvitiia nauki i tekhnologii*, 2016, no. 12-3, pp. 68-71.

16. Kutenev V.F., Saikin A.M. Issledovanie vliianiia uslovii ekspluatatsii kar'ernykh samosvalov na zagriaznenie vozdukh kabin voditelei [Research of impact service conditions of career dump trucks on air pollution in cabins of drivers]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*, 2009, no. 4 (57), pp. 17-19.

17. Kachuri L., Villeneuve P.J., Parent M.-É., Johnson K.C. Workplace exposure to diesel and gasoline 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

18. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value. *Toxicological Sciences*, 2017, vol. 158, no. 2, pp. 243-251. DOI.org/10.1093/toxsci/kfx110

19. 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.

20. Neumeyer-Gromen A., Razum O., Kersten N., Seidler A., Zeeb H. Diesel motor emissions and lung cancer mortality-Results of the second follow-up of a cohort study in potash miners. *International journal of cancer*, 2009, vol. 124, no. 8, pp. 1900-1906. DOI.org/10.1002/ijc.24127

21. Peters C.E., Parent M.-É., Harris S.A. et al. Occupational Exposure to Diesel and Gasoline Engine Exhausts and the Risk of Kidney Cancer in Canadian Men. *Annals of work exposures and health*, 2018, vol. 62, no. 8, p. 978-989. DOI.org/10.1093/annweh/wxy059

22. Osorio-Tejada J.L., Llera-Sastresa E., Scarpellini S. A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2017, vol. 42, pp. 169-186. DOI: org/10.1016/j.jngse.2017.02.046

23. Frey H.C. Trends in on road transportation energy and emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2018, vol. 68, no. 6, pp. 514-563. DOI: 10.1080/10962247.2018.1454357

24. 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

25. Emission Standards, available at: <https://www.dieselnet.com/standards/> (accessed 19 August 2019).

26. EU: Nonroad Engines, available at: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#intro> (accessed 19 August 2019).

27. GOST R 41.96-1999. Edinoobraznye predpisaniia, kasaiushchiesia dvigateli s vosplamneniem ot szhatiia, prednaznachennykh dlia ustanovki na sel'skokhoziaistvennykh i lesnykh traktorakh i vnedorozhnoi tekhnike, v otnoshenii vybrosa vrednykh veshchestv etimi dvigateli. Vved. 2001-01-01 [GOST R 41.96-1999. Uniform regulations for compression ignition engines for agricultural and forestry tractors and off-road equipment regarding the emission of harmful substances from these engines. Enter. 2001-01-01]. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2001, 61 p.

28. GOST R 41.96-2005. Edinoobraznye predpisaniia, kasaiushchiesia dvigateli s vosplamneniem ot szhatiia, prednaznachennykh dlia ustanovki na sel'skokhoziaistvennykh i lesnykh traktorakh i vnedorozhnoi tekhnike, v otnoshenii vybrosa vrednykh veshchestv etimi

dvigateli. Vved. 2008-01-01 [GOST R 41.96-2005. Uniform regulations for compression ignition engines for agricultural and forestry tractors and off-road vehicles with regard to the emission of harmful substances from these engines. Enter. 2008-01-01]. Moscow: Standartinform, 2006, 61 p.

29. GOST R 41.96-2011. Edinoobraznye predpisaniia, kasaiushchiesia dvigateli s vosplamneniem ot szhatiia, prednaznachennykh dlia ustanovki na sel'skokhoziaistvennykh i lesnykh traktorakh i vnedorozhnoi tekhnike, v otnoshenii vybrosa vrednykh veshchestv etimi dvigateli. Vved. 2013-01-03 vzamen GOST R 41.96-2005 [GOST R 41.96-2011. Uniform regulations for compression ignition engines for agricultural and forestry tractors and off-road equipment regarding the emission of harmful substances from these engines. Enter. 2013-01-03 instead of GOST R 41.96-2005]. Moscow: Standartinform, 2013, 61 p.

30. Song H., Ou X., Yuan J., Wang C.I. Energy consumption and greenhouse gas emissions of diesel/LNG heavy-duty vehicle fleets in China based on a bottom-up model analysis. *Energy*, 2017, vol. 140, pp. 966-978. DOI.org/10.1016/j.energy.2017.09.011

31. Xing Y., Song H., Yu M. et al. The characteristics of greenhouse gas emissions from heavy-duty trucks in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region in China. *Atmosphere*, 2016, vol. 7, no. 9, pp. 121-132. DOI.org/10.3390/atmos7090121

32. European Commission, "Cutting emissions and cutting red tape: a new regulation for off-road engines" (2014), available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-1044_en.htm (accessed 19 August 2019).

33. European Parliament and Council. "Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements related to gaseous and particulate pollution emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery" (2016), available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R1628> (accessed 19 August 2019).

34. Shao Z., Dallmann T. European stage v non-road emission standars, available at: <https://theicct.org/publications/european-stage-v-non-road-emission-standards> (accessed 19 August 2019).

35. Yoon S., Quiros D.C., Dwyer H.A., Collins J.F. Characteristics of particle number and mass emissions during heavy-duty diesel truck parked active DPF regeneration in an ambient air dilution tunnel. *Atmospheric Environment*, 2015, vol. 122, pp. 58-64. DOI.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.032

36. Yamada H., Inomata S., Tanimoto H. Mechanisms of increased particle and VOC emissions during DPF active regeneration and practical emissions considering regeneration. *Environmental science & technology*, 2017, vol. 51, no. 5, pp. 2914-2923. DOI.org/10.1021/acs.est.6b05866

37. Chernetsov D.A. Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizelei i ikh antropogennoe vozdeistvie [Diesel exhaust gas toxicity and their anthropogenic impact]. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2010, no. 10-12, pp. 54-59.

38. European Commission, Climate action: Reducing the carbon content of transport fuels: press release. Brussels, 2014.

39. Cottrell J. FPT Powertrain Technologies Stage V NRRM. 8° Integer Chicago; DEUTZ. Stage V ready (2015), & Rolls-Royce power systems AG. "Rolls-Royce to exhibit MTU Stage V engines at bauma 2016 (2016), available at: http://www.oemoffhighway.com/press_release/12160037/rolls-royce-to-exhibit-mtu-stage-v-engines-at-bauma-2016 (accessed 19 August 2019).

40. Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA). «Technische Regel für Gefahrstoffe 554» (2008), available at: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-554.html> (accessed 19 August 2019).

41. The Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management. «Verordnung über die Verwendung von mobilen technischen Einrichtungen, Maschinen und Geräten» (2015), available at: <https://www.bmlfuw.gv.at/tumwelt/luftlaerm-erkehr/luft/richtlinien/offroad-vo.html> (accessed 19 August 2019).

42. The Inspectorate SZW, available at: <http://www.inspectieszw.nl> (accessed 19 August 2019).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Хазин М.Л. Экологические стандарты стран мира для горных машин и оборудования // Недропользование. – 2020. – Т.20, №3. – С.291–300. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.9

Please cite this article in English as:

Khazin M.L. Environmental Standards around the World for Mining Machines and Equipment. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.3, pp.291-300. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.9