

УДК 629.33

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ МЕНЕЕ 10 МИКРОН, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ ГОРОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ*

В.К. Азаров, С.В. Гайсин, В.Ф. Кутенёв

ФГУП «НАМИ»
д. 2, ул. Автомоторная, Москва, 125438, Россия
тел.: +7(495)456-40-60; e-mail: vakutenev@nami.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.10-12.63-70

Заключение совета рецензентов: 10.04.19 Заключение совета экспертов: 15.04.19 Принято к публикации: 19.04.19

Рассмотрена проблема загрязнения воздуха при эксплуатации транспорта в крупных городах и мегаполисах Европы и Российской Федерации, приводящей к образованию смога. Создание и развитие автотранспортных средств для обеспечения жизнедеятельности человека сопровождается не только улучшающимися условиями жизни и передвижения населения, но имеет и негативные последствия, связанные с весьма существенным загрязнением воздушной среды мегаполисов до опасных уровней для здоровья населения.

Приведены результаты экспериментальных исследований, которые выявили повышенный уровень выбросов твердых частиц менее 10 микрон (мкм) в основном от износа шин и асфальто-дорожного полотна, а не с отработавшими газами автотранспортных средств с дизельными двигателями.

Проведенные исследования показали, что основной выброс твердых частиц от износа шин и дорожного полотна составляют частицы размером от 0,5 мкм до 5 мкм. В связи с этим позиция Европейских производителей шин (ETRMA), отраженная в документах 2013–2015 гг., которые были представлены на сессиях Международной рабочей группы по загрязнению и экономии энергии (GRPE) и в которых утверждалось, что основной выброс состоит из частиц размером от 4 мкм до 350 мкм со средним значением 105 мкм, является ошибочной или искаженной.

С учетом регистрируемых Всемирной организацией здравоохранения ежегодно увеличивающихся случаев рака легких по всему миру, показана необходимость разработки мероприятий и принятия дополнительных экстренных мер по снижению выбросов твердых частиц от износа шин и дорожного полотна в крупных городах и мегаполисах.

Ключевые слова: альтернативные виды топлива; водород; выбросы вредных веществ; твердые частицы; загрязнение городского воздуха; износ шин и дорожного полотна.

ASPECTS OF ALTERNATIVE FUELS APPLICATION TO REDUCE EMISSIONS OF PARTICULATE MATTERS LESS THAN 10 MICRONS POLLUTING THE URBAN ATMOSPHERE DURING VEHICLE OPERATION

V.K. Azarov, S.V. Gaysin, V.F. Koutenev

FSUE "NAMI"
2 Avtomotornaya Str., Moscow, 125438, Russia
tel.: +7(495)456-40-60; e-mail: vakutenev@nami.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.10-12.63-70

Referred 10 April 2019 Received in revised form 15 April 2019 Accepted 19 April 2019

*Азаров В.К., Гайсин С.В., Кутенёв В.Ф. К вопросу о применении альтернативных видов топлива с целью снижения выбросов твердых частиц менее 10 микрон, загрязняющих воздушную среду городов при эксплуатации автомобилей // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;10-12:63-70.



The paper deals with a problem of air pollution from vehicles operation in cities and megalopolises leading to smog formation both in Europe and in the Russian Federation. Creation and development of vehicles in order to support human life and activities is followed not only by improvement of living and transport conditions for the population but also by negative effects connected with highly significant contamination of the air environment in cities to the levels dangerous for the health of the population.

The pilot studies results are given revealing the increased level of emissions of particulate matters (PM) less than 10 microns basically from wear of tyres and asphalt roadway, but not from exhaust gases of the vehicles with diesel engines.

The studies conducted have shown that the main emission of particulate matters from wear of tyres and roadway consists of the particles from 0.5 to 5 microns in size. Therefore, the position of the European tyre manufacturers (European Tyre & Rubber Manufacturers' Association – ETRMA) shown in 2013-2015 in the submitted documents at sessions of the International Working Party on Pollution and Energy (GRPE) where ETRMA has stated that the main PM emission consists of the particles from 4 to 350 microns in size with the average value of 105 microns is wrong.

Based on the new cases of lung cancer registered by the World Health Organization, which number is annually increasing worldwide, development of activities and acceptance of additional emergency measures on reduction of emissions of particulate matters from wear of tyres and roadway in cities and megalopolises are necessary.

Keywords: alternative fuels; hydrogen; hazardous substances emissions; particulate matters; urban air pollution; tyre and roadway wear.



*Вадим Константинович
Азаров
Vadim Azarov*

Сведения об авторе: канд. техн. наук, начальник управления Центра бизнес-планирования ФГУП «НАМИ».

Образование: Финансовая академия при Правительстве Российской Федерации (2011 г.); Блумсбургский университет Пенсильвании (США) (2012 г.).

Область научных интересов: экологические и экономические характеристики двигателей транспортных средств на альтернативных видах топлива и энергоносителях.

Публикации: 20.
h-index: 7.

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Business Planning Center Department Head, FSUE "NAMI".

Education: Finance Academy under the Government of the Russian Federation, 2011; Bloomsburg University of Pennsylvania (USA), 2012.

Research interests: environmental and economic characteristics of vehicle engines powered by alternative types of fuel and energy sources.

Publications: 20.



*Сергей Владимирович Гайсин
Sergey Gaysin*

Сведения об авторе: генеральный директор ФГУП «НАМИ».

Образование: Московский государственный технический университет им Баумана (1991 г.).

Область научных интересов: транспортные средства на альтернативных видах топлива.

Публикации: 20, включая 4 патента.
h-index: 4

Information about the author: Chief Executive Officer at FSUE "NAMI".

Education: Bauman Moscow State Technical University, 1991.

Research interests: vehicles powered by alternative types of fuel.

Publications: 20, including 4 patents.



*Вадим Фёдорович Кутенёв
Vadim Koutenev*

Сведения об авторе: док. тех. наук, профессор, председатель Экспертного совета ФГУП «НАМИ», Заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Образование: Ярославский технологический институт (1961 г.).

Область научных интересов: применение альтернативных видов топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Публикации: 163.
h-index: 14.

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Expert of Council Chairman at FSUE "NAMI", Honored Worker of Science of the Russian Federation.

Education: Yaroslavl State Technical University, 1961.

Research interests: use of alternative fuels in internal combustion engines.

Publications: 163.

1. Введение

В 2012 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) вышла с предложением о запрете исполь-

зования в городах Европы автомобилей с дизельными двигателями по причине повышенного выброса ими твёрдых частиц размером менее 10 микрон, весьма опасных для здоровья населения.



По оценкам специалистов ВОЗ, в конце прошлого столетия загрязнение воздуха в среде обитания человека ежегодно становилось причиной трёх миллионов случаев смерти людей во всем мире. За последние 40 лет заболеваемость раком лёгких значительно возросла в развитых и развивающихся странах по всему миру. Максимальные показатели заболеваемости зарегистрированы в Европе и США, минимальные – в странах Востока [1].

Однако делать вывод о том, что причиной образования смога являются только автомобили с дизельными двигателями, по мнению авторов данной статьи, преждевременно и необоснованно, так как исследованиями, выполненными в период 1980–2013 гг., отмечались повышенные выбросы твёрдых частиц размером от 0,5 мкр до 350 мкр ввиду износа шин и асфальто-дорожного полотна [2–4].

Список обозначений	
Аббревиатуры	
DME	Диметилвый эфир
EVE	Этилбутиловый эфир
ETRMA	Европейская ассоциация производителей шин
GRPE	Международная рабочая группа по загрязнению и экономии энергии
MBE	Метилбутиловый эфир
ATC	Автотранспортные средства
ВВ	Вредные вещества
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ДВС	Двигатель внутреннего сгорания
ДЧШ	Дисперсные частицы от износа шин
ДЧТС	Дисперсные частицы от износа тормозных систем
ДЧДП	Дисперсные частицы от износа дорожного полотна
ДЧОГ	Дисперсные частицы в отработавших газах ДВС
ЕЭКООН	Европейская Экономическая Комиссия Организации Объединенных Наций
КЭУ	Комбинированные энергетические установки
ОГ	Отработавшие газы
ПГ	Парниковые газы
ТЧ	Твердые частицы
ТЭ	Топливный элемент

2. Теоретический анализ

За последние 30 лет международное законодательство и производители автомобилей выполнили большой объем работ по снижению выбросов вред-

ных веществ (ВВ) и твердых частиц (ТЧ) от автомобилей. На рис. 1 приведены результаты исследований по изменению выбросов ВВ: CO, CH, NOx и ТЧ с ОГ автомобилей на примере роста парка АТС в Российской Федерации (РФ) [2–4].

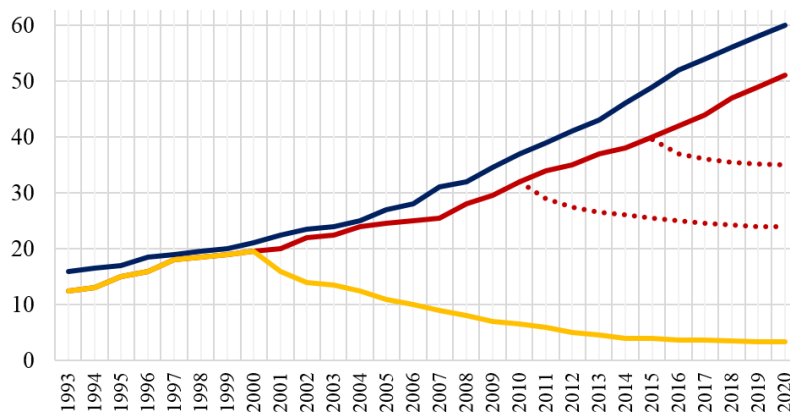


Рис. 1 – Рост автомобильного парка РФ и изменение выбросов ВВ:

— рост автомобильного парка РФ, млн шт; — реальные до 2000 г. и прогнозные выбросы ВВ от автомобилей РФ, соответствующих (только нормам Евро-0) в млн т; — выбросы от новых автомобилей в РФ при введении нормативов в 2000 г. от Евро-0 до Евро-5 млн т в настоящий период; ••••• – реальные выбросы ВВ от всех автомобилей с учетом обновления парка от 10 до 15 лет в млн т

Fig. 1 – Fleet growth and change of HS emissions by the RF vehicle fleet:

— Russian Federation vehicle fleet growth, mln pcs; — actual (until 2000) and forecasted emissions of hazardous substances by the Russian Federation vehicles complying only with Euro-0 standards, mln tons; — emissions by new vehicles in the Russian Federation at introduction in 2000 of Euro-0 to Euro-5 standards currently; ••••• - actual emissions of hazardous substances by all vehicles taking into account the vehicle fleet renewal duration from 10 to 15 years, mln tons

Как видно из баланса общих выбросов вредных веществ (см. рис. 1), своевременное оснащение автотранспорта антитоксичными системами и особенно системами нейтрализации отработавших газов двигателей, в соответствии с требованиями от ЕВРО-0 до ЕВРО-5, явилось бы эффективным мероприятием и позволило бы снизить выбросы ВВ парком автотранспорта РФ к 2019 г. в пять раз (желтая кривая), но так как обновление парка происходит от 10 до 15 лет (пунктирные кривые), то реально выбросы ВВ снизились не более чем в 2 раза.

В связи с этим дальнейшее развитие двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и повышение их эффективности остается по мнению многих специалистов основным направлением их совершенствования и развития. Прогнозируется, что электрические и комбинированные энергетические установки (КЭУ) останутся главными перспективными решениями по

снижению выбросов парниковых газов (ПГ) – CO₂ в окружающую среду.

Проблему с выбросом ПГ решить гораздо сложнее, так как она зависит от разработки и внедрения новых энергосберегающих технологий производства новых видов топлива и энергоэффективных конструкций транспортных средств.

На рис. 2 и 3 показаны предпринимаемые меры и направления решений проблемы с уменьшением выбросов ПГ – CO₂, однако внедрение в массовое производство таких технологий, как автомобили с комбинированными энергоустановками, позволяющие уменьшить выбросы ПГ на 30–35 % по отношению к автомобилям с традиционными ДВС, и электромобили (50–65 %), приводят к значительным экономическим затратам и при производстве, и при эксплуатации [5, 6].

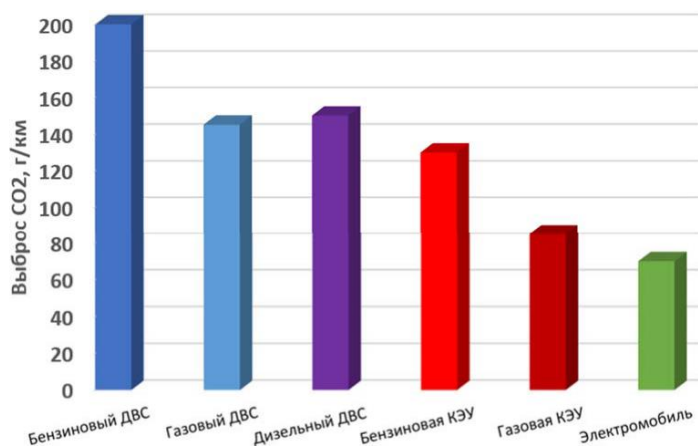


Рис. 2 – Выбросы CO₂ от автомобилей с различными энергетическими установками на разных энергоносителях (кг/км)
Fig. 2 – The CO₂ emissions of vehicles with various power units using different power supplies (kg/km)

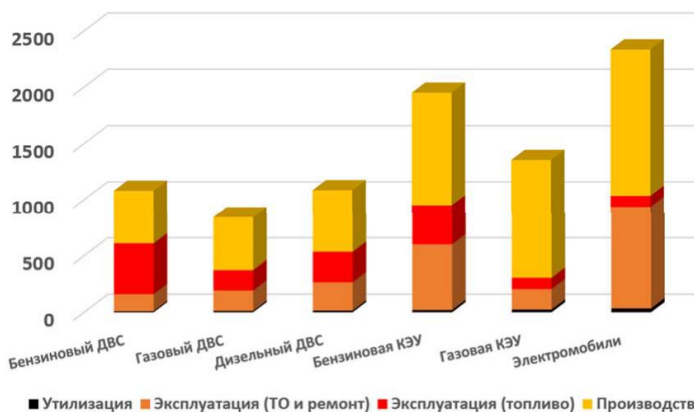


В то же время существует специальная международная программа Advanced Motor Fuels «Перспективные автомобильные топлива» (AMF), которая включает в себя научно-исследовательские проекты по различным альтернативным видам топлива. Программа реализуется с целью улучшения характеристик, применяемых в транспортном секторе перспек-

тивных автомобильных топлив, таких как: спирты (этанол, метанол); простые эфиры, например, диметиловый эфир (DME), этилбутиловый эфир (ЕВЕ), метилбутиловый эфир (МВЕ); сложные эфиры; синтетические виды топлива; газообразные топлива, например, природный газ, сжиженный нефтяной газ, биогаз и особенно водород.

Рис. 3 – Экономические затраты в полном жизненном цикле автомобилей с различными энергетическими установками при работе на разных энергоносителях (тыс. руб.)

Fig. 3 – Economic expenditures measured in total life cycle of vehicles with different power units at operation with different energy sources (thousands of rubles)



В первую очередь различные виды топлива сопоставляются между собой по их удельной теплоте сго-

рания, показывающей, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг,



МДж/кг. Удельная теплота сгорания различных видов топлива приведена на рис. 4 [7].

Безусловно, водород следует рассматривать как одно из наиболее экологически чистых видов топлива, так как при его сгорании не выбрасываются парнико-

вые газы (CO₂) и, что особенно важно, ТЧ. Однако остается небольшая проблема с выбросом оксидов азота. Поэтому сначала нашего столетия развернулись весьма интенсивные исследовательские работы по созданию автомобилей на топливных элементах (ТЭ).

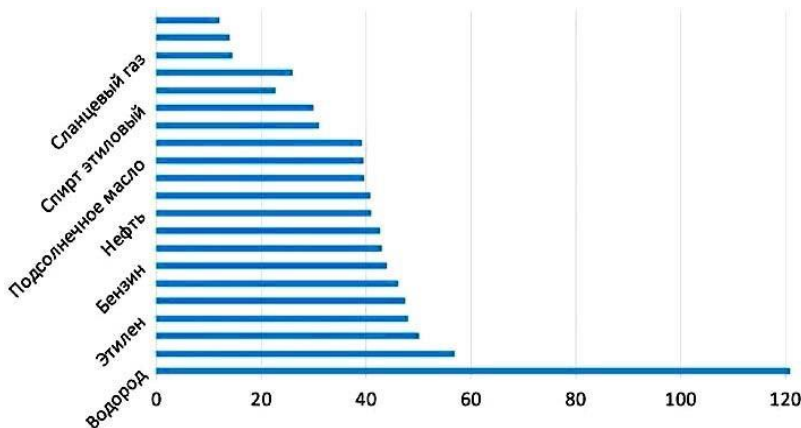


Рис. 4 – Удельная теплота сгорания веществ в воздухе, МДж/кг
Fig. 4 – Specific heat of substances in the air, MJ/kg

Первый прототип легкового автомобиля на топливных элементах NeCar1 был представлен в 1994 г. С тех пор изготавливались многочисленные прототипы и автомобилей, и автобусов, так как большинство автомобилестроительных фирм инициировали свои программы разработок.

Многие автомобильные концерны США, Японии, Германии и Южной Кореи в состоянии наладить масштабное производство автомобилей на ТЭ. По оценкам американских экспертов, такие автомобили появятся на рынке не раньше, чем через 10–20 лет проведения разработок. По прогнозам японских экспертов, мировой рынок автомобилей на ТЭ за 10 лет должен вырасти до 30 млрд долларов, что может привести к сокращению спроса на бензин к 2030 г. до 60 %. По расчетам экспертов аналитической ком-

пании "Deloitte Tohmatsu Consulting", экономический эффект от перехода с бензина на водородные ТЭ может достичь к 2025 г. 27 млрд долларов [8].

3. Экспериментальная часть

Отмеченные выше явные экономические успехи автомобилей с ТЭ не решают экологические проблемы, так как выброс ТЧ менее 10 микрон в последние годы происходит в основном ввиду износа дорожного полотна и шин, что и было зафиксировано позже в обобщенных исследованиях выбросов ТЧ от различных источников при эксплуатации парка АТС в г. Москве в период с 2002 г. по настоящее время и прогноз их выбросов до 2030 г. [9] (рис. 5).

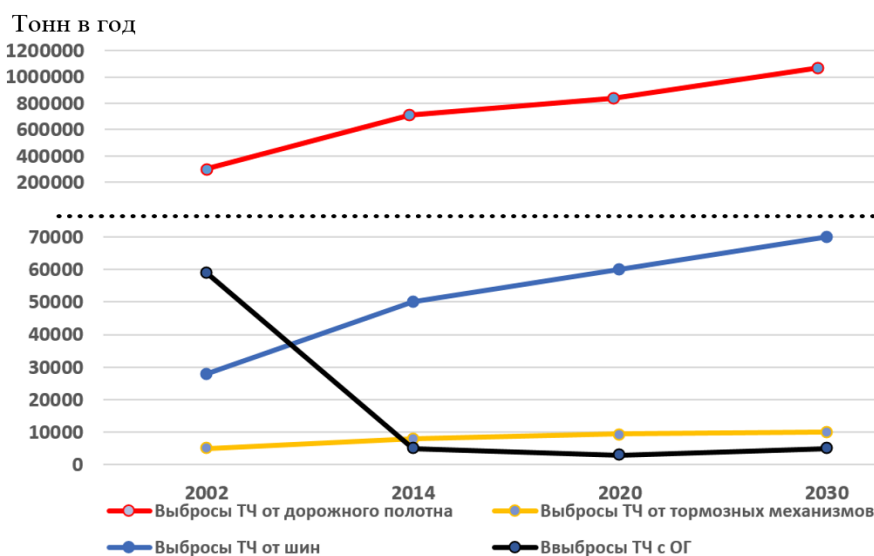


Рис. 5 – Изменение и прогноз ежегодных выбросов ТЧ с отработавшими газами от износа шин, тормозных механизмов и дорожного полотна в г. Москве (тонны)
Fig. 5 – Dynamic and forecast for annual particulate matter emissions with exhaust gases and caused by wear of tyres, brakes and roadway in Moscow (in tons)

Ввиду загрязнения воздуха ежегодно регистрируется более 1 млн новых случаев рака лёгких по всему

миру. Следует особо отметить, что дисперсные частицы, образующиеся от износа шин и дорожного

полотна, содержат весьма опасные канцерогенные вещества, являющиеся источником заболевания раком лёгких.

На основании выполненных во ФГУП "НАМИ" исследований в 2011–2012 гг. был представлен Доклад от Российской Федерации на 161 сессии Всемирного форума по конструкции транспортных средств Комитета (WP-29) внутреннего транспорта ЕАКООН № 161-22 в 2013 г., в котором было отмечено, что, резко ограничивая по нормативам от Евро-1 до Евро-6 выбросы ТЧ с ОГ для дизельных двигателей с 1990 г. по настоящее время, законодатели не обращали должного внимания на другие вредные вещества и частицы, выбрасываемые автомобилями в процессе их эксплуатации за счёт износа шин и асфальто-дорожного полотна [10, 11].

На основании дискуссий, возникших в 2014–2015 гг. в Международной группе по загрязнению (GRPE), представители Европейской ассоциации

производителей шин (ETRMA) констатировали, что размеры частиц от износа шин на асфальтовом покрытии находятся в пределах от 4 мкм до 350 мкм при среднем размере 80–100 мкм, поэтому они оседают на поверхности дорожного полотна и не представляют опасности для здоровья человека. Но поскольку эти представители ссылались только на результаты одного исследования [12], по мнению ETRMA, ТЧ от 4 мкм до 80 мкм выпали из анализа выбросов ТЧ от автомобилей, эксплуатирующихся в крупных городах, хотя более 30 зарубежных исследований ещё в 2009 г. констатировали, что выбросы ТЧ от износа шин имеют в основном размеры от 0,05 мкм до 1,5 мкм [13].

В 2017–2018 гг. в НАМИ были проведены специальные дополнительные исследования по определению дисперсности и количеству выбросов ТЧ менее 10 микрон в характерных режимах городского движения автомобилей (рис. 6).



Рис. 6 – Дисперсность и количество выбросов ТЧ при движении автомобиля в городе
 Fig. 6 – Dispersibility and amount of PM emissions at urban vehicle driving

4. Результаты исследований

На основании ранее выполненных и дополнительно проведенных экспериментальных исследований (см. рис. 6) определено, что основную массу выбросов ТЧ от износа шин и дорожного полотна составляют частицы дисперсностью от 0,3 мкм до 5 мкм, то есть меньше 10 микрон, которые признаны особо опасными для здоровья человека.

В табл. приведены результаты зарубежных и российских исследований [14] по оценке глобальных выбросов от автобусов и троллейбусов с учетом отработавших газов и затрат на получение электричества от ТЭЦ или ГЭС и исследований авторов дан-

ной статьи с учетом выбросов дисперсных частиц от износа шин, тормозных накладок и дорожного полотна с дополнением этих показателей по троллейбусам и трамваям.

Исходя из данных табл. 1 можно сделать вывод о том, что необходимо проводить исследования по снижению количества гудрона (мазута) в технологии изготовления дорожного полотна, как это делают на Западе, совершенствовать рецептуру при изготовлении шин и использовать больше трамваев, хотя бы вместо троллейбусов, на уже выделенных полосах движения.



Таблица

Сравнительные характеристики удельных (г/км) выбросов различных вредных веществ и дисперсных (твёрдых) частиц от городских видов транспорта (автобус, троллейбус, трамвай).

Table

Comparative characteristics of different hazardous substances and disperse particles (particulate matters) specific emissions (g/km) by urban transport (bus, trolleybus, tram).

Загрязняющие вещества	Выбросы с ОГ г/км			Глобальный выброс г/км				
	Автобус	Троллейбус	Трамвай	Автобус	Троллейбус		Трамвай	
					№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
CO	0,47	0	0	4,8	0,61	0,31	0	0
NO _x	23,6	0	0	24,2	1,31	0,66	0	0
CH	0,12	0	0	0,14	0	0	0	0
ДЧ _{ОГ}	0,47	0	0	0,5	0,25	0,13	0	0
SO ₂	1,07	0	0	1,7	0,86	0,43	0	0
CO ₂	1204	0	0	1314	912	456	912	456
ДЧ _Ш	1,2	1,2	0	1,4	1,4	1,4	0	0
ДЧ _{ДП}	0,16	10,6	0	12	12	12	0	0
ДЧ _{ТС}	0,16	0,11	0,11	0,2	0,13	0,13	0,16	0,16

Если дополнительно к преимуществам трамвая по экологическим показателям как по выбросам с ОГ, так и по выбросам ТЧ от износа шин и дорожного полотна, кроме выбросов ТЧ от систем торможения, оценить затраты на преодоление сил сопротивления движению, то трамвай окажется в большом выигрыше: почти в 10–15 раз экономичнее автобуса и троллейбуса, так как коэффициент сопротивления качения металлического колеса по рельсам равен 0,001, а коэффициент сопротивления качению шины автобуса и троллейбуса по дорожному полотну находится в пределах 0,010–0,015.

Проведенный анализ результатов исследований показывает, что единственным претендентом на роль экологически чистого транспортного средства для условий транспортных артерий крупных городов является трамвай.

5. Заключение

Основной выброс твердых частиц от износа шин и дорожного полотна составляют частицы от 0,3 мкм до 5 мкм, поэтому позиция Европейских производителей шин (ETRMA), продемонстрированная в 2013–2015 гг. в представленных документах на сессиях Международной рабочей группы по загрязнению и экономии энергии (GRPE) Комитета внутреннего транспорта ЕЖКООН, является ошибочной или искажающей результаты ранних (1980–2000 гг.) зарубежных и российских исследований, поскольку опирается только на одну работу, выполненную в 2010 г.

Проводимые мероприятия по применению альтернативных видов топлива, включая в первую очередь водород, и новых силовых установок в ближайшее время не окажут существенного влияния на

снижение выбросов особо опасных для здоровья населения городов твердых частиц менее 10 микрон с отработавшими газами, так как в настоящее время выбросы ТЧ от износа дорожного полотна превышают выброс ТЧ с отработавшими газами более чем в 100 раз, а от износа шин – более чем в 10 раз, то есть являются преобладающими.

Список литературы

- [1] Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения: Качество атмосферного воздуха и здоровье. – Сентябрь, 2016.
- [2] Трофименко, Ю.В. Оценка загрязнения воздуха аэрозольными частицами менее 10 мкм от транспортных потоков на городских автомагистралях / Ю.В. Трофименко, В.С. Чижова // Экология и промышленность России. – 2012. – сентябрь. – С. 41–45.
- [3] Чижова, В.С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее 10 мкм: Диссертация канд. техн. наук. – М., 2015.
- [4] Азаров, В.К. Проблемы создания экологически чистого автомобиля / В.К. Азаров, В.Ф. Кутенёв, А.М. Сайкин // Автомобильная промышленность. – 2013. – № 10. – С. 5–7.
- [5] Азаров, В.К. Анализ возможностей повышения энергетической эффективности и улучшения экологических показателей современного легкового автомобиля массового производства применением новых энергетических установок / В.К. Азаров [и др.] // Труды НАМИ. – 2012. – № 249. – С. 15–22.
- [6] Азаров, В.К. Экономика современных и перспективных конструкций автомобилей в их полном



жизненном цикле / В.К. Азаров и [др.] // Ассоциация автомобильных инженеров. – 2013. – №1 (78). – С. 46–48.

[7] Петров, Р.А. Экологическая оценка мирового автотранспорта и прогнозы развития / Р.А. Петров // Ассоциация автомобильных инженеров. – 2014. – № 6 (89). – С. 54–58.

[8] Нагайцев, М.В. Электромобили / М.В. Нагайцев, А.А. Эйдинов. – М., 2014. – 514 с.

[9] Азаров В.К. К вопросу о комплексной безопасности автомобилей / В.К. Азаров, С.В. Гайсин, В.Ф. Кутенёв // Известия МГТУ «МАМИ». – 2016. – № 2 (28). – С. 46–54.

[10] Азаров, В.К. Разработка комплексной методики исследований и оценка экологической безопасности автомобилей: Диссертация канд. техн. наук. – М., 2014.

[11] Азаров, В.К. Автомобиль и его влияние на систему «Дорога - окружающая среда-человек» / В.К. Азаров, В.Ф. Кутенёв, А.М. Сайкин // Труды НАМИ. – 2013. – № 254. – С. 47–57.

[12] Kreider, M.L. Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies / M.L. Kreider [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2010. – Vol. 408. – P. 652–659.

[13] Нцахристос Л., Боутлер П. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов. – 2009.

[14] Сафонов, А.И. Особенности режимов нагружения и направления развития тяговых трансмиссий троллейбусов журнал / А.И. Сафонов // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 8–15.

References

[1] Bulletin of the World Health Organization: Ambient (outdoor) air quality and health (Vsemirnoi organizatsii zdoravoohraneniya: Kachestvo atmosfernogo vozduha i zdorov'e). September, 2016 (in Russ.).

[2] Trofimenko Yu.V., Chizhova V.S. Assessment of air pollution by aerosol particles less than 10 microns from traffic flows on city highways (Otsenka zagryazneniya vozduha aerazol'nymi chastitsami menee 10 mkm ot transportnyh potokov na gorodskih avtomagistralyah). *Ecology and Industry of Russia Magazine*, 2012;September:41–45 (in Russ.).

[3] Chizhova V.S. Improvement of ecological safety of vehicles' complex by means of decreasing air pollution with disperse particles less than 10 microns in size (Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti avtotransportnogo kompleksa putem snizheniya zagryazneniya vozduha dispersnymi chastitsami razmerom menee 10 mkm). Ph.D. diss. in Engineering; Moscow, 2015 (in Russ.).

[4] Azarov V.K. Azarov V.K., Kutenyov V.F., Saykin A.M. Problems of creation of ecologically clean

vehicle (Problemy sozdaniya ekologicheskii chistogo avtomobilya). *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2013;10:5–7 (in Russ.).

[5] Azarov V.K. Azarov V.K. Analysis of opportunities to improve energy efficiency and environmental performance of modern mass-production passenger vehicle by means of application of new energy power plants (Analiz vozmozhnostei povysheniya energeticheskoi effektivnosti i uluchsheniya ekologicheskikh pokazatelei sovremennogo legkovogo avtomobilya massovogo proizvodstva primeneniem novykh energeticheskikh ustanovok). *Trudy NAMI*, 2012;249:15–22 (in Russ.).

[6] Azarov V.K., Azarov V.K., Kozlov A.V., Kutenev V.F., Terenchenko A.S. Economics of modern and advanced designs of vehicles in their full life cycle (Ekonomika sovremennykh i perspektivnykh konstruktssii avtomobiley v ih polnom zhiznennom tsikle). *Association of Automotive Engineers (AAE)*, 2013;1(78):46–48 (in Russ.).

[7] Petrov R.A. Ecological assessment of world vehicles and development forecasts (Ekologicheskaya otsenka mirovogo avtotransporta i prognozy razvitiya). *Association of Automotive Engineers (AAE)*, 2014;6(89):54–58 (in Russ.).

[8] Nagaitsev M.V., Eidinov A.A. Electric vehicles (Elektromobili). Moscow, 2014; 514 p. (in Russ.).

[9] Azarov V.K., Azarov V.K., Gaysin S.V., Kutenev V.F. Integrated vehicle safety (K voprosu o kompleksnoi bezopasnosti avtomobiley). *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2016;2 (28):46–54 (in Russ.).

[10] Azarov V.K. Development of comprehensive procedure for research and assessment of environmental safety of vehicles (Razrabotka kompleksnoi metodiki issledovaniy i otsenka ekologicheskoi bezopasnosti avtomobiley). Ph.D. diss. in Engineering. Moscow, 2014 (in Russ.).

[11] Azarov V.K., Azarov V.K., Kutenev V.F., Saykin A.M. Vehicle and its influence on Road - Environment – Humans system (Avtomobil' i ego vliyanie na sistemu "Doroga – okruzhayushchaya sreda – chelovek"). *Trudy NAMI*, 2013;254:47–57 (in Russ.).

[12] Kreider M.L., Kreider M.L., Panko J., McAtee B.L., Sweet L.I. Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies. *Science of the Total Environment*, 2010;408:652–659.

[13] Ntsakhristos L., Boutler P. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (Rukovodstvo EMEP/EAOS po inventarizatsii vybrosov), 2009 (in Russ.).

[14] Safonov A.I. Feature of loading modes and directions of improvement of trolleybus traction transmissions (Osobennosti rezhimov nagruzheniya i napravleniya razvitiya tyagovykh transmissii trolleibusov). *Avtomobil'naya promyshlennost' (Automotive industry)*, 2015;4:8–15 (in Russ.).

Транслитерация по BSI

