

О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЭКОЛОГИЮ ГОРОДОВ

Предложено пересмотреть критерии оценки токсичного влияния автотранспортных средств на качество атмосферного воздуха городов с учётом системы факторов, включающих такие показатели как состав отработавших газов ДВС, моторных масел, моторных топлив, продуктов износа автомобильных шин и состав асфальтовых покрытий. Показана необходимость введения показателя токсичности автотранспорта на экологию городов, определяемого методами, доступными эксплуатационным автотранспортным организациям.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания (ДВС), отработавшие газы (ОГ), качество атмосферного воздуха, критерии технического состояния автомобиля, присадки топлива и моторных масел, показатель токсичности.

Влияние состава отработавших газов ДВС на качество атмосферного воздуха городов

Традиционно техническое состояние автомобиля оценивают по концентрациям оксида углерода, углеводородов, а также по дымности в составе ОГ ДВС относительно их рекомендуемых параметров, утвержденных заводом-изготовителем для данного типа двигателя (ГОСТ Р 52033-2003, ГОСТ Р 52160-2003, ГОСТ Р 54942-2012). Современные измерительные устройства состава отработавших газов, находящиеся в распоряжении эксплуатирующих автотранспорт организаций и постов ДПС, также ориентированы на определение именно этих показателей.

Диссонансом к этой отработанной системе оценки технического контроля являются исследования экологов по токсическому влиянию автотранспортных потоков на качество приземного слоя атмосферы городов.

Например, аттестованными методиками химического контроля показано, что в часы пик городской воздух загрязнен 69 химическими элементами, из которых 32 отнесены к токсичным и особо вредным [1], [2].

При этом оказалось, что большинство из этих химических соединений не характерны для типового состава отработавших газов бензиновых и дизельных двигателей или выбросов близлежащих промышленных предприятий. Частичное объяснение возникшего противоречия между автомобильными и гигиеническими стандартами дали исследования, связанные с химизмом вторичных и третичных взаимодействий ингредиентов состава отработавших газов под воздействием озона воздуха и ультрафиолетовой инсоляции. При этом наибольшую опасность в обра-

зовании токсичных компонентов смогов представляют кислородсодержащие соединения, олефиновые и ароматические углеводороды состава несгоревших моторных масел [3].

Наши специальные исследования состава отработавших газов различного типа двигателей с использованием особых криогенных ловушек («Способ отбора проб высокотемпературных газов и устройство для его реализации» – заявка на изобретение №2013110591, дата подачи заявки 11.03.2013, заявители Вольнов А.С., Третьяк Л.Н., Герасимов Е.М.), исключающих контакт ОГ ДВС с атмосферным воздухом, в значительной мере «реабилитировали» двигатели внутреннего сгорания, так как выявили узкий и строго определенный перечень химических соединений, источником происхождения которых являются непосредственно автомобили.

Это означает, что для экологического «оздоровления» атмосферы городов требуется не столько техническая модернизация автомобилей, сколько устранение других более значимых источников загрязнения приземного слоя. При этом мы считаем, что метод контроля технического состояния автомобиля и его экологическая «опасность» по концентрациям оксида углерода в ОГ ДВС перестали быть актуальными, так как концентрации оксида углерода в приземном слое атмосферы минимальны (оксид углерода существенно легче воздуха и способен накапливаться только в закрытых помещениях). Более достоверным показателем токсичности ОГ ДВС автотранспорта на экологию городов мы предлагаем считать показатель «концентрация бенз(α)пирена» [4], [5]. Среди совокупности полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) бенз(α)пирен является наиболее стойким

и опасным канцерогеном. Так если считать, что степень вредности каждого из 14 наиболее распространённых ПАУ равна степени вредности бенз(α)пирена и выполнить расчёт суммарной вредности ОГ ДВС с учётом фактических концентраций всех 15 ПАУ и нормируемых в настоящее время компонентов (СО, СН, NO_x, РМ), то оказывается, что доля вредности нормируемых компонентов составляет не более 1% от суммарной вредности ОГ ДВС. Поэтому предлагаемый показатель токсичности «концентрация бенз(α)пирена» более представительен, чем «концентрация оксида углерода», так как, с одной стороны, бенз(α)пирен является наиболее токсичным представителем ОГ ДВС, способным накапливаться в придорожной зоне, потенциально угрожая человеческой популяции, а с другой стороны, адсорбируется на частицах газовой сажи, измерив концентрации которой, можно оценить степень полноты сгорания топлива в двигателе, что может служить индикатором технического состояния автомобиля, качества моторных топлив и масла, а также «отрегулированности» топливно-воздушной системы.

Нами были определены концентрации бенз(α)пирена для трёх видов автотранспортных средств (таблица 1) согласно методике выполнения измерений массовой концентрации бенз(α)пирена в атмосферном воздухе населённых мест и в воздухе рабочей зоны методом ВЭЖХ с использованием жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ» с флуориметрическим детектированием (М 02-14-2007). Метод измерения основан на последовательном проведении этапов анализа: улавливание бенз(α)пирена на аэрозольный фильтр (время отбора 3 мин); извлечение его гексаном; концентрирование экстракта; ВЭЖХ-определении бенз(α)пирена с использованием жидкостного хроматографа «ЛЮМАХРОМ» с флуориметрическим детектором (рисунок 1).

Исследования показали, что автотранспортным предприятиям необходимо проводить мероприятия по контролю и снижению выбросов ПАУ с ОГ ДВС, используя концентрации бенз(α)пирена как показатель токсичности ОГ ДВС автотранспорта на экологию городов.

Таблица 1. Результаты измерения концентрации бенз(α)пирена для трёх видов автотранспортных средств

Название исследуемого автомобиля	Номер фильтра	Площадь пика нг/см ³	Концентрация, мг/м ³ (время отбора пробы 3 мин)	ПДК раб. зоны, мг/м ³ (ГН 2.2.5.1313-03)	ПДКс.с. населённых мест, мкг/100м ³ ГН 2.1.6.1338-03
ГАЗ 3307 1987 г (пробег 389431 км)	1	49,9	0,0001	0,00015	0,1
КАВЗ 423800 2007 г (пробег 198631 км)	2	1,53	0,000003		
КАМАЗ 55102 1995 г (пробег 565487 км)	3	61,37	0,000123		

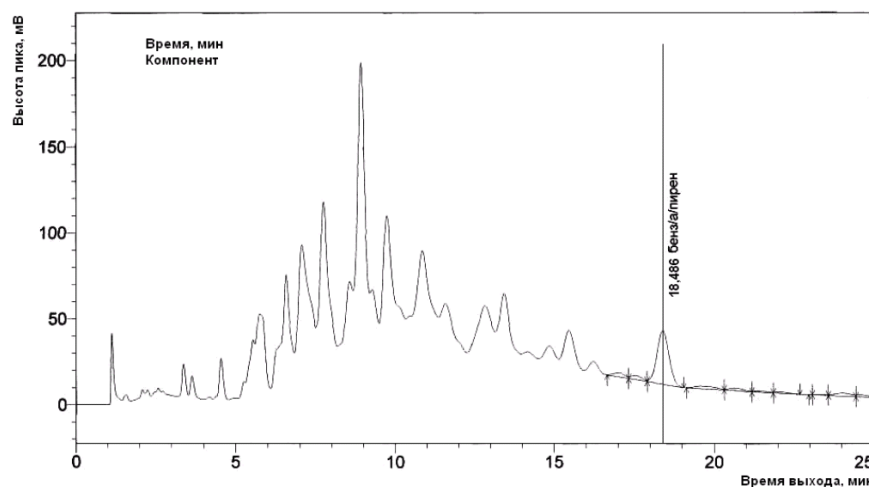


Рисунок 1. Хроматограмма бенз(α)пирена, отобранного из выхлопной трубы автобуса КАВЗ 423800 с дизельным двигателем Cummins 6 ISBe 210

Влияние состава моторных масел и моторных топлив на качество атмосферного воздуха городов

В соответствии с одобренной Правительством РФ концепцией развития отечественного автомобилестроения автомобильные заводы приступили в 2004 году к выпуску автомобилей, отвечающих требованиям Евро-3 и Евро-4. Однако, несмотря на высокие темпы роста автопарка, 50% машин имеют «возраст» более 10 лет, 31% – от 5 до 10 лет и менее 5 лет – 19%. При этом по экологическим характеристикам доля автотранспортных средств, соответствующих Евро-0, составляет 90%, Евро-1 – 5%, Евро-2 – 4%, Евро-3 – только 1%. Это обусловлено не только техническим состоянием автотранспортных средств, но и качеством моторных топлив и масел. К основным показателям, обуславливающим токсичные свойства бензинов, относят содержание свинца, ароматических углеводородов, в том числе концентрации бензола, олефиновых углеводородов, серы и испаряемость топлива [6].

Бензины и дизельное топливо, изготавливаемые и применяемые на территории РФ, должны соответствовать требованиям технического регламента «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (постановление Правительства РФ от 27.02.2008 №118 (с изменениями 7 сентября 2011 г.)), а также ГОСТ Р 51866-2002 (EN 228:1999), ГОСТ 305-82.

По данным проведенного в 2010 году ФГУП «НАМИ» технико-экологического обоснования перевода автомобильного парка города Москвы на моторные топлива 4-го экологического класса, выброс бенз(α)пирена легковыми АТС составляет 760 кг/год (расчёт по объему потребленного топлива). Оценка эффективности меры по переходу на использование топлива экологического класса 4 взамен экологического класса 3, выраженная в снижении выбросов бенз(α)пирена, составляет 148 кг в год [7].

Наибольшее количество бенз(α)пирена образуется при 800–900°С. Основным источником его поступления в атмосферу – отработавшие газы двигателей. Газотурбинные двигатели выбрасывают бенз(α)пирена 40–400 мг/кг топлива; карбюраторные – 3–20 мг/кг; дизельные – 5–30 мг/кг топлива. На переменных режимах – при ускорении и торможении – количество выбрасываемого бенз(α)пирена повышается примерно в 10 раз и еще в 10 раз – при запуске холодного двигателя. Таким образом, более 50% концентраций бенз(α)пирена поступают в атмосферу при холодном (15°С) пуске и прогреве двигателя. В таблице 2 представлены данные по результатам испытаний грузовых автомобилей и автобусов при работе на бензине, дизельном топливе и на газе в соответствии с Правилами ЕЭК ООН R-49 (грузовые автомобили) по оценке эффективности антиоксидантных систем.

Как видно из таблицы 2, применение нейтрализаторов отработавших газов весьма эффективно для снижения в отработавших газах содержания бенз(α)пирена. Однако, эффективное ис-

Таблица 2. Выбросы вредных веществ с ОГ ДВС автотранспортных средств [8]

Вид топлива	Выбросы вредных веществ (г/кВт·ч)					
	СО	СН _x	NO _x	PM	Бенз(α)пирен	Альдегиды
При работе на дизельном топливе						
Без нейтрализатора	3,5–4,5	2,0–3,0	11,0–4,0	0,3–0,4	0,00075	0,080
С нейтрализатором	1,0–1,5	0,7–1,0	10,0–14,0	0,2–0,3	0,00015	0,025
С сажевым фильтром	3,5–4,5	2,0–3,0	11,0–14,0	0,05–0,07	0,00060	0,080
При работе на бензине						
Без нейтрализатора	85,0–95,0	8,0–10,0	15,0–17,0	0,050	0,07500	0,65–1,0
С нейтрализатором	15,0–17,0	1,0–1,2	14,0–16,0	0,045	0,01000	0,12
При работе на сжатом природном газе						
Без нейтрализатора, воспламенение от искры	2,0–3,0	2,0–3,0	8,5–9,5	0,07–0,1	0,00025	0,045
Газодизель без нейтрализатора	10,0–2,0	8,0–0,0*	11,0–13,0	0,15–0,2	0,00035	0,055
Газодизель с нейтрализатором	2,0–3,0	1,1–1,22	11,0–13,0	0,1–0,15	0,00015	0,035

* - за вычетом метана

пользование нейтрализаторов возможно только с разработанными в комплексе с двигателями внутреннего сгорания устройствами электронной регулировки впрыска топлива, зажигания, состава рабочей смеси, и устройствами газовыхлопных трактов. Большинство двигателей муниципального транспорта не соответствует этим требованиям. Способами снижения содержания вредных веществ в ОГ ДВС также могут быть предварительная обработка топлива путем его фильтрации через пористые полимерные фильтры или применение присадок [8].

Оптимальным, но взрывоопасным моторным топливом остается водород, дающий минимальные показатели токсичности ОГ ДВС. Все попытки воздействовать на углеводородное топливо, включая попытки разрыва углеводородной цепочки сильным магнитным полем, также перспективны, так как неизбежно ведут к снижению токсичности ОГ ДВС за счёт более полноценной утилизации в камерах внутреннего сгорания.

Моторные масла, в силу неполноценного пиролиза в камерах двигателя, являются основным поставщиком наиболее токсичных компонентов состава отработавших газов ДВС. При этом процессы старения и полимеризации масел приводят к накоплению в них смол, способствующих замазучиванию газоотводящих систем [9].

Не спасают угрожающего положения и Еuronормы на состав и качество моторных топлив и масел: вновь вводимые Еuronормы (ожидается выпуск стандарта SAE (Society of Automotive Engineers) и ISO (International Organization for Standardization) на нормирование выбросов из картера) включают запрет сброса картерных газов в атмосферу, что неизбежно приведет к существенному повышению канцерогенной токсичности отработавших газов ДВС за счет увеличения доли продуктов пиролиза моторных масел.

Картерные газы, испарения и протечки топливных баков относятся к мало изученным источникам загрязнения приземного слоя атмосферы. Ведущий российский гигиенист Буштуева К.А. считает методы исследования состава картерных газов одной из актуальных исследовательских проблем.

Величина массового расхода картерных газов может достигать 20 г/ч при допуске производителями двигателей не более 0,5 г/ч. Дизели большой мощности (280–450 кВт) имеют объемный расход картерных газов 140–300 л/мин на режиме номинальной нагрузки, что в 4 раза боль-

ше расхода на режиме холостого хода. На величину расхода картерных газов дизелей влияют многочисленные факторы, основными из которых являются степень износа поршневых колец и цилиндра [10]. Хотя выброс картерных газов в общем объеме выбросов отработавших газов составляет всего 6–12%, по химическому составу они являются наиболее неполно сгораемыми и в наибольшей степени токсичными. В картерных газах дизеля основными токсичными компонентами являются: NO_x (45–80%), альдегиды (до 30%) и продукты старения масла в виде смол [11].

Перспективным моментом, влияющим на снижение токсичности ОГ ДВС, является не только использование модернизированных и пленкообразующих моторных масел, но и нанесение на внутреннюю поверхность цилиндров пористого покрытия, способного удерживать моторные масла, снижая трение поршневой пары.

Влияние состава автомобильных шин на качество атмосферного воздуха городов

Измерения состава воздуха вблизи шоссе с умеренным движением автомобильного транспорта показали присутствие от 3800 до 6900 отдельных фрагментов шин в каждом кубическом метре воздуха, более 58% из них имеют размер около 10 мкм, которые легко проникают в дыхательные пути человека. Высокая экологическая опасность шин обусловлена токсичными свойствами применяемых при их изготовлении материалов и содержащихся в них примесей, а также свойствами более ста видов химических веществ, выделяющихся в воздушную и водную среды при эксплуатации, обслуживании, ремонте и хранении шин [12].

В числе химических веществ, выделяющихся в наибольших количествах из шинных резин, выявлены: ароматические углеводороды (бензол, ксилол, стирол, толуол), алифатические амины, сероуглерод, формальдегид, фенолы, диоксид серы, углеводороды неароматического ряда.

В общем объеме отработавших газов двигателя за каждые 13 минут городского ездового цикла доля выделений продуктов износа из шин составляет всего один процент по объему, но за это время из шин выделяется больше канцерогенных веществ (56%), чем из отработавших газов двигателя (44%); в том числе бенз(α)пирена (57% из шин против 43% из двигателя); причем резиновая пыль содержит сажи 26% против 74%

состава ОГ ДВС; вклад шин (39%) в образование N-нитрозаминов сопоставим с вкладом отработавших газов (61%) (таблица 3).

Таким образом, выделение ПАУ шинами более значительное (55–60%), чем выхлопными газами. В воздухе г. Москвы характерное содержание полиароматических углеводородов (по бенз(α)пирену) составляет 20 ПДК, а содержание летучих N-нитрозаминов – около 4 ПДК. Основным источником нитрозаминов являются антиоксиданты, некоторые модификаторы и ускорители вулканизации. Представленные данные показывают необходимость полностью исключить использование различных отходов других производств в качестве «полезных» добавок в резины.

Влияние состава асфальтовых покрытий на качество атмосферного воздуха городов

Городской асфальт представляет собой смесь битумов (13–60%) с тонкоизмельченными минеральными накопителями. От природного асфальта он отличается наличием парафина и большим содержанием нефтяных масел, относящихся к полициклическим, гетероциклическим и ароматическим углеводородам (ГОСТ 22245-90). Элементарный состав асфальта известен: углерод 80–86%, водород – 7–9%, кислород – 2–10%, сера – до 10%, азот – до 2%. Кроме этого, в его составе имеются тяжелые металлы: никель,

ванадий до 0,2%, железо, медь, магний содержатся в очень малых концентрациях. При приготовлении асфальтобетонной смеси в нее добавляют до пяти пластификаторов и различные добавки.

Украинские специалисты оценили вклад асфальта в загрязнение городского воздуха в 10–15% от общего количества антропогенных выбросов содержащих бензол, триметилбензол, диэтилбензол, толуол и гетероциклические соединения. В асфальт пытаются добавить различного типа отходы, например, гальванические металлосодержащие шламы. Данные исследования проводились в Польше и России. Во Франции в асфальт пытались закатать золу от мусоросжигательных заводов, решая проблему утилизации токсичных отходов, но не исключая опасности выделения в воздух металлов, введенных в асфальтовую смесь [13].

В исследованиях, финансируемых в 90-е годы Агентством по охране окружающей среды США («Evaluation of VOC emissions from heated roofing asphalt», EPA-600/2-91-061), приводятся данные об объеме эмиссии летучих органических веществ при нагреве асфальта до пластификации. По этим данным 1 м² асфальтовых покрытий при нагреве выбрасывает в атмосферу около 40 мг/м²·час толуола, более 90 мг/м²·час бензальдегида, а также ряд других углеводородов (например, около 66 мг/м²·час декана, 470 мг/м²·час тридекана). На основе этих данных, с учетом суммарной длительности жарких дней в Москве, оценено, что объем

Таблица 3. Профили (относительные концентрации) ПАУ (относительно концентраций бенз(α)пирена) шинных протекторных резин в сравнении с профилями этих веществ в выхлопе карбюраторных и дизельных двигателей. [10]

Вещество	Класс опасности вещества	Шины	Выхлоп карбюраторного двигателя	Выхлоп дизельного двигателя
Фенантрен	3	22,22–44,42	–	35,8
Флуорантен	3	8,89–44,42	9,9–75,6	23,3
Пирен	3	2,13–4,44	13,8–14,3	22,5
Перилен	3	0,20–1,06	0,3	0,2
Бензаантрацен	2А	0,36–1,11	1,1–7,4	0,9–4,0
Хризен	3	2,26–3,11	4,4–15,2	2,6
Бенз(к)флуорантен	2В	0,93–1,35	9,1	1,0–1,1
Бенз(б)флуорантен	2В	2,41–7,89	1,4–7,4	–
Бенз(е)пирен	3	1,17–2,13	1,5–2,6	4,9
Дибенз(а,h)антрацен	2А	0,14–0,35	0,6	0,6
Дибенз(а,с)антрацен	3	0,28–1,28	–	–
BeH3(g,h,i)perKuieH	3	0,70–2,11	1,9–8,7	0,4–2,0
Дибенз(а,h)пирен	2В	0,15–0,19	–	–
Коронен	3	0,14–0,38	1,1	0,1
Циклопента(с)пирен			–	0,5
Антрацен			–	0,1–1,5
Инденс(ghi)пирен			1,0–5,2	1,4

эмиссий с одного млн м² асфальтового покрытия может достигать 665 тонн/год, включая эмиссии толуола и бензальдегида.

Кроме бенз(α)пирена, значимые результаты получены и для ряда других специфических, не характерных для выбросов большинства антропогенных источников, загрязняющих веществ: при укладке асфальта в Москве выделение нафталина составляет 21% от выброса промпредприятий, свинца – 64% [7].

В свете доказанных фактов негативного влияния асфальтовых покрытий на здоровье населения становится понятной тенденция западных мегаполисов заменить асфальтовое покрытие дорог и тротуаров на брусчатку и тротуарную плитку. Администрацию мегаполисов не останавливает факт, что эти новые покрытия стоят в восемь раз дороже асфальтовых.

Проведенный нами проблемно-тематический обзор современных исследований показал, что экологическое нормирование и текущий эксп-

луатационный контроль состояния автомобильного транспорта необходимо расширить, кроме показателей технического состояния автомобилей по меньшей мере, еще на несколько номенклатурных показателей, включая, требования к моторным топливам и маслам, составу автомобильных шин, составу асфальтовых покрытий, при этом должен быть утвержден показатель токсичности состава отработавших газов ДВС «концентрация бенз(α)пирена», определяемый методами, доступными эксплуатационным автотранспортным организациям. Предлагается контролировать состав закупаемых автомобильных шин и асфальтовых покрытий, учитывая токсичные свойства применяемых при их изготовлении материалов и содержащихся в них примесей. Нормирование концентраций бенз(α)пирена и разработка мероприятий по снижению их концентраций в ОГ ДВС позволят обеспечить системный подход к оценке влияния автотранспортных средств в процессе эксплуатации на экологию городов.

30.10.2013

Список литературы:

- 1 Другов, Ю.С. Методы анализа загрязнения воздуха / Ю.С. Другов, А.Б. Беликов, Г.А. Дьякова, В.М. Тульчинский. – М.: Химия, 1984. – 384 с.
- 2 Другов, Ю.С. Пробоподготовка в экологическом анализе / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – СПб.: Анатолия, 2002. – 755 с.
- 3 Григорьев, М. Л. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях / М.Л. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1970. – 270 с.
- 4 Щурин К.В. Пути нормативного регулирования в сфере экологической безопасности автомобильного транспорта / К.В. Щурин, Л.Н. Третьяк, Е.В. Бондаренко, А.С. Вольнов // «Вестник Оренбургского государственного университета». – 2012. – №10. – С. 176–181.
- 5 Щурин К.В. Гармонизация стандартов Европейского союза и Российской Федерации по оценке влияния автотранспорта на экологические системы городов / К.В. Щурин, Л.Н. Третьяк, Е.М. Герасимов, А.С. Вольнов // «Грузовик: Строитель-но-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай» – №9. – 2012. – С. 36-44.
- 6 Карпов, С. А. Применение моющих и многофункциональных присадок для повышения экологических характеристик автомобильных бензинов / С. А. Карпов // Экология и промышленность России, 2007. – №4. – С. 8-11.
- 7 Так являются ли асфальтовые покрытия источником эмиссий вредных примесей в жаркую погоду? / От первоисточника // ГПБУ «Мосэкомониторинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mosecom.ru/refutation/article3.php> – Дата обращения 24.08.13.
- 8 Сердюк В.В. Пути снижения содержания бенз- α-пирена в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания. / В.В. Сердюк, Л.А. Ашкинази // Журнал ГСМ №6. Нефтехимические технологии, 2005 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apris.org.ua/?page=dynamic§ion=53&article=147> – Дата обращения 30.10.13.
- 9 Остриков, В.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / В.В. Остриков и [др.]: ред. Е.С. Мордасова, учеб. пособие. – изд-во Тамбов: ТГТУ. – 2009 с.
- 10 Волков, М. Ю. Расход картерных газов быстроходных дизелей / М.Ю. Волков, А.А Гаврилов // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы XI Междунар. науч. –практ. конф. / под ред. А.Н. Гоца. Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2008. – С. 126-128.
- 11 Горбунов, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев. – Изд-во РУДН, 1998. – 214 с.
- 12 Третьяков, О.Б. Воздействие шин на окружающую среду и человека / О.Б. Третьяков, В.А. Корнев, Л.В. Кривошеева. – М.: НЕФТЕХИМПРОМ, 2006. – 154 с.
- 13 Как делают наши дороги /Автоэнциклопедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autotat.ru/autoentsiklopediya/?ID=14376> – Дата обращения 24.08.13.

Сведения об авторах:

Вольнов Александр Сергеевич, аспирант кафедры метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета, e-mail: Volnov_AS@mail.ru

Третьяк Людмила Николаевна, доцент кафедры метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент 460018, пр-т Победы, д.13, ауд. 4409, тел. (3532) 372560, e-mail: tretyak@house.osu.ru