К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ И НОРМИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

М.В. Графкина, А.В. Азаров*, Д.Р. Добринский, Д.А. Николенко*****

Московский политехнический университет (Политех), 107023, г. Москва, Большая Семеновская ул., д. 38;

**ООО «ПТБ ПСО Волгоградгражданстрой», 400087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, д. 10;*

***Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета (ИАуС ВолГТУ), 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1;*

****Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ), 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162*

АННОТАЦИЯ. В настоящее время при оценке негативного воздействия на окружающую среду не учитывается пылевыведение при проезде автомобильного транспорта по дорожным покрытиям различных типов. Наибольшую опасность для здоровья населения представляют мелкодисперсные частицы размером $PM_{2,5}$ и PM_{10} . Проблема расчета, контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли при проезде автотранспорта является важной для улучшения качества жизни и здоровья граждан, качества воздуха рабочих зон на предприятиях и внедрения перспективных технологий по снижению негативного воздействия источников пылевыведения на воздушную среду городов.

В данной работе в ходе проведения предварительных оценок воздействия пыления автомобилей на окружающую среду были проведены инструментальные измерения и получены максимально-разовые и среднесуточные значения концентраций взвешенных веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: выбросы, частицы, мелкодисперсные, источник, автомобильный транспорт, дорожное покрытие, пылевыведение, неорганизованный, концентрация, $PM_{2,5}$, PM_{10}

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Графкина М.В., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Николенко Д.А. К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. 373–380. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.373-380

ON THE ISSUE OF MONITORING AND NORMALIZATION OF FINE DUST EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERIC AIR DURING THE ROAD TRANSPORT MOVEMENT

M.V. Grafkina, A.V. Azarov*, D.R. Dobrinsky, D.A. Nikolenko*****

Moscow Polytechnic University (Polytech), 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, Russian Federation, 107023;

**PTB PSO Volgogradgrazhdanstroy, 1 Barrikadnaya str., Volgograd, Russian Federation, 400074;*

***Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE),
1 Akademicheskaya str., Volgograd, Russian Federation, 400074;*

****Academy of Construction and Architecture, Don State Technical University (DSTU),
162 Sotsialisticheskaya str., Rostov-on-Don, Russian Federation, 344022*

ABSTRACT. Currently, an estimation of the negative impact on the environment does not include a dust emission effect caused by the road transport movement on various road pavements. The greatest danger to the population health is the fine dust particles of $PM_{2,5}$ and PM_{10} . The problem of calculating, controlling and normalization of fine dust emissions at the road transport movement is important for improving the quality of life and health of citizens, the air quality in work facility areas and the introduction of promising technologies to reduce the negative impact of dust sources on the air environment of cities.

In this work, during the preliminary estimation of the car dusting impact on the environment, instrumental measurements were made, and the maximum and average daily concentrations $PM_{2,5}$ and PM_{10} of suspended solids in atmospheric air were obtained.

KEY WORDS: emissions, particles, fine dust, source, road transport, road pavement, dust emission, unorganized, concentration, $PM_{2,5}$, PM_{10}

FOR CITATION: Grafkina M.V., Azarov A.V., Dobrinsky D.R., Nikolenko D.A. K voprosu kontrolya i normirovaniya vybrosov melkodispersnoy pyli v atmosfernyy vozdukh pri dvizhenii avtomobil'nogo transporta [On the Issue of Control and Normalization of Fine Dust Emissions into the Atmospheric Air During the Road Transport Movement]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 4 (103), pp. 373–380. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.373-380

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются одним из основных факторов воздействия на окружающую среду и население. Масштаб этого воздействия локализован преимущественно в пределах городских и промышленных территорий, занимающих около 2 % всей площади РФ, но эти территории являются местом постоянного проживания более 70 % российского населения [1].

Загрязнение атмосферного воздуха городов происходит вследствие различных факторов: производства строительных работ, эксплуатации инженерных систем и сооружений, работы транспортной системы, работы объектов хозяйственного комплекса и промышленных предприятий. Для оценки влияния экологических факторов на здоровье человека необходимо определить существующий уровень негативного воздействия на элемент биосферы [2]. Также отмечено, что с ростом интенсивности автотранспортных потоков в городах наиболее загрязненные территории переместились из промышленных зон в места компактного проживания населения [3].

В настоящее время при разработке разделов по загрязнению атмосферного воздуха автотранспортными средствами (АТС) учитываются только выбросы, выделяемые в атмосферу при сгорании топлива в силовых агрегатах (оксид углерода, оксиды азота (в пересчете на диоксид азота), углеводороды, сажа, диоксид серы, соединения свинца, формальдегид, бензпирен). Подобный подход к оценке воздействия АТС на окружающую среду не учитывает выбросы (пыление), возникающие при проезде АТС по дорожным покрытиям различных типов.

Известно, что в результате эксплуатации АТС в РФ ежегодно выбрасывается в атмосферный воздух более 15 млн т загрязняющих веществ. Нефтепродукты; продукты износа шин, тормозных накладок и дорожного покрытия; сыпучие и пылящие грузы; антиобледенители дорожных покрытий оказывают негативное воздействие на различные элементы природной среды [4].

Таким образом, для снижения негативного воздействия на окружающую среду эксплуатируемого АТС контроль и мониторинг выбросов взвешенных веществ в атмосферный воздух имеет важное значение.

Мониторинг концентрации только суммы взвешенных веществ TSP (total suspended particulate), в

которую входят частицы большого размера, в меньшей степени подходит для эффективного регулирования качества воздуха в целях охраны здоровья населения [5], так как наиболее опасным для населения является воздействие мелких частиц размерами 0...2,5 мкм ($PM_{2,5}$) и 0...10 мкм (PM_{10}). Главным эффектом воздействия от вдыхания частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} на организм человека является их проникновение в верхние дыхательные пути и легкие, что приводит к повреждению легочной ткани, вызывает респираторные заболевания [6]. Следует отметить, что результаты ряда исследовательских проектов свидетельствуют о целесообразности нормирования мелких частиц (PM_{10} и $PM_{2,5}$) вследствие их различного действия на организм человека и длительности нахождения во взвешенном состоянии в воздухе [7, 8].

Изменения, произошедшие в российском законодательстве в области охраны окружающей среды [9], оказывают значительное влияние на деятельность по нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [10]. Так, введено в действие Дополнение № 8 к нормативу «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»¹, которое определил ПДК взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} (табл. 1).

С вводом в действие указанного дополнения определена необходимость обеспечения качества атмосферного воздуха населенных мест по таким показателям, как взвешенные частицы $PM_{2,5}$ и PM_{10} , которые подлежат государственному учету и нормированию после разработки соответствующих методик определения и гигиенических (экологических) нормативов качества атмосферного воздуха.

Однако сегодня контроль и нормирование выбросов пыли с учетом дисперсности на территории РФ реализуется крайне слабо, что связано с отсутствием утвержденных методик для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и отсутствием информации о реальном содержании частиц пыли размером $PM_{2,5}$ и PM_{10} в суммарном количестве взвешенных веществ.

Для мониторинга и контроля концентрации РМ необходима информация об ожидаемом и уже

¹ ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Табл. 1. ПДК взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} , мг/м³

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³		
	Максимальная разовая ПДК	Среднесуточная ПДК	Среднегодовая ПДК
Взвешенные частицы $PM_{2,5}$	0,16	0,035*	0,025
Взвешенные частицы PM_{10}	0,3	0,06*	0,04

* 99-я перцентиль.

изученном пространственном распределении концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В ходе проведения предварительных оценок воздействия пыления при проезде АТС на окружающую среду нами были проведены инструментальные измерения и получены максимально-разовые и среднесуточные значения концентраций взвешенных веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе на территории г. Москвы вблизи одной из асфальтированных автомобильных дорог. Также определялось фоновое значение концентрации на удалении от автомобильной дороги в границах дворовой территории.

В настоящее время за рубежом применяются различные модификации приборов для измерения содержания PM_{10} , приборы гравиметрического и бета-анализа, которые не могут фиксировать мгновенного значения, а лишь среднее за 1 ч (это приборы компаний Derenda, Thermoscientific и Horiba). При проведении мониторинга эти приборы могут фиксировать только среднее значение ПДК [11]. Выявление кратковременных колебаний концентраций PM в атмосферном воздухе и получение в сочетании с метеорологическими данными (главным образом, направлением ветра) объяснения пи-

ковых концентраций в отдельные периоды суток (эпизоды сильного загрязнения) возможно лишь при использовании прибора непрерывного автоматического мониторинга с высоким временным разрешением [5]. Подобная установка для мониторинга была изготовлена на кафедре безопасности жизнедеятельности в техносфере Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. В основе прибора лежит оптический метод. Погрешность используемых в приборе датчиков составляет $\pm 15\%$. Контрольные точки для проведения измерений выбраны в районе расположения различных участков автомобильной дороги: условно-постоянного движения, регулируемого перекрестка, транспортной развязки. Результаты инструментальных измерений представлены в табл. 2 и 3. Пространственное распределение максимально-разовых концентраций и точки проведения измерений представлены на рис. 1.

Новизна проведенных исследований заключается в получении данных о концентрации мелкодисперсной пыли $PM_{2,5}$ и PM_{10} при проезде АТС по асфальтированной автомобильной дороге на различных участках дорожной сети, определении пространственного распределения концентрации

Табл. 2. Результаты измерений концентраций взвешенных частиц $PM_{2,5}$ в районе асфальтированной автомобильной дороги в г. Москве

Номер точки	Максимально-разовая концентрация, $мкг/м^3$	Доля максимально-разовой ПДК	Среднесуточная концентрация, $мкг/м^3$	Доля среднесуточной ПДК
1	23	0,14	20	0,57
2	26	0,16	21	0,60
3	24	0,15	19	0,54
4	32	0,20	26	0,74
5	26	0,16	19	0,54
6	30	0,19	25	0,71
7	37	0,23	32	0,91
8	39	0,24	33	0,94
9	40	0,25	30	0,86

Табл. 3. Результаты измерений концентраций взвешенных частиц PM_{10} в районе асфальтированной автомобильной дороги в г. Москве

Номер точки	Максимально-разовая концентрация, $мкг/м^3$	Доля максимально-разовой ПДК	Среднесуточная концентрация, $мкг/м^3$	Доля среднесуточной ПДК
1	63	0,21	58	0,97
2	53	0,18	49	0,82
3	58	0,19	50	0,83
4	79	0,26	56	0,93
5	69	0,23	51	0,85
6	62	0,21	49	0,82
7	135	0,45	72	1,20
8	116	0,39	60	1,00
9	120	0,40	75	1,25

мелкодисперсной пыли, установлении достижимого уровня остаточной запыленности воздуха в промежутки времени с минимальной нагрузкой на дорожное покрытие, разработке рекомендаций по расчету максимально-разовых и валовых выбросов мелкодисперсной пыли по результатам определенных удельных показателей выделения оптическим методом.

Фоновые концентрации взвешенных веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} в границах дворовой территории не превышают нормативных:

- $PM_{2,5}$ — $C_{ф.м.р} = 21 \text{ мкг/м}^3$; $C_{ф.с.с} = 13 \text{ мкг/м}^3$;
- PM_{10} — $C_{ф.м.р} = 42 \text{ мкг/м}^3$; $C_{ф.с.с} = 34 \text{ мкг/м}^3$.

В соответствии с пространственным распределением можно сделать вывод, что наибольшие значения максимально-разовых концентраций на асфальтовом дорожном покрытии достигаются в зоне движения и перестроения транспортного потока с максимальной скоростью, вследствие чего происходит износ дорожного покрытия и увеличивается концентрация мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе. Пространственное распределение взвешенных веществ $PM_{2,5}$ является более равномерным, чем у PM_{10} , что связано с более низкой скоростью витания частиц размером $0...2,5 \text{ мкм}$, которые при высокой транспортной нагрузке

Рис. 1. Пространственное распределение и точки проведения измерений концентраций взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в районе асфальтированной автомобильной дороги в г. Москве: а — взвешенные вещества $PM_{2,5}$; б — взвешенные вещества PM_{10}

задерживаются в окружающей воздушной среде автомобильной дороги (рис. 1, 2).

Также следует отметить, что участок между контрольными точками 7 и 9 является выездом из тоннеля, в связи с чем загрязняющие вещества, накопление которых происходит в тоннеле, выдуваются вследствие возникающего поршневого эффекта. В данных точках зафиксированы превышения значений среднесуточной ПДК до 1,25 долей ПДК. Ранее подобные превышения фиксировались в других городах при проведении анализа дисперсного состава пыли вблизи автомобильных дорог [10].

В рамках проведения исследований был определен достижимый уровень остаточной запыленности возле автомобильной дороги при снижении интенсивности транспортного потока. На рис. 2 представлены графики изменения концентраций $PM_{2,5}$ и PM_{10} отобранных серий измерений с резким снижением интенсивности потока вплоть до отсутствия АТС.

Достижимым уровнем остаточной запыленности воздуха в районе автомобильной дороги в течение светового дня с влажностью не более 50 % и отсутствием мероприятий по обеспыливанию является: для $PM_{2,5}$ — 14 мкг/м³; для PM_{10} — 30 мкг/м³. Результаты, представленные на рис. 2, подтверждают, что концентрация частиц пыли $PM_{2,5}$ в момент отсутствия интенсивного транспортного потока почти всегда находится в пределах 14...28 мкг/м³ ввиду низкой скорости оседания частиц. В свою очередь, при снижении интенсивности транспортного потока пиковые значения концентраций частиц пыли размером PM_{10} сохраняются в про-

межутке времени 80...180 с, что зависит от предшествующей загруженности автомобильной дороги. Поэтому данный процесс (транспортная нагрузка — концентрация взвешенных веществ) требует дополнительных исследований и может быть учтен при проектировании вновь строящихся автомобильных дорог вблизи жилых кварталов.

После проведенной предварительной оценки содержания взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} представляется возможным определить перспективное расположение контрольных точек для проведения мониторинга воздушной среды вблизи расположения источника выделения — автотранспорта, проезжающего на границе жилой застройки. Точки необходимо размещать в районе участков условно-постоянного движения с максимальными скоростями транспортного потока. Особое внимание следует уделять местам выезда из тоннелей по причине выноса загрязняющих веществ, накопление которых в нем происходит.

Действительно, наибольший суммарный выброс при проезде автотранспорта происходит вследствие разрушения слоя дорожного покрытия. В соответствии с данными исследований [12] более 90 % твердых частиц выделяется при проезде АТС от асфальтового дорожного покрытия. Общая запыленность воздуха в зоне расположения автодороги может достигать десятков миллиграмм на 1 м³ в зависимости от типа покрытия [13]. Учитывая, что среднесуточные концентрации загрязняющих веществ при проезде АТС по асфальтированной дороге достигают значений в долях ПДК: $PM_{2,5}$ — 0,54...0,94; PM_{10} — 0,82...1,25, то на предпроектных и проектных стадиях необходимо проводить

Рис. 2. Достижимый уровень остаточной запыленности воздуха взвешенными частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} в районе асфальтированной автомобильной дороги в г. Москве (при проведении замеров с наветренной стороны в точке 7)

расчеты по оценке загрязнения воздушной среды при проезде АТС для объектов дорожного строительства с различными типами покрытий, с прогнозированием приземных концентраций на границе жилой застройки и санитарно-защитных зон. В соответствии со ст. 30 закона «Об охране атмосферного воздуха» обязанностью граждан, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, имеющих стационарные источники и передвижные источники, является внедрение наилучших доступных технологий, малоотходных технологий в целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха; планирование и осуществление мероприятий по сокращению или исключению таких выбросов [13]. Таким образом, необходимость учета выбросов взвешенных частиц при проезде АТС на территории обусловлена:

- нормированием выбросов мелких частиц у близлежащей жилой застройки;
- необходимостью разработки наилучших доступных технологий для снижения негативного воздействия на окружающую среду;
- обеспечением на рабочих местах водителей наземных транспортных средств оптимального качества воздушной среды [15].

Данные предложения касаются не только выбросов мелкодисперсной пыли, но и распространяются на другие выбросы твердых веществ в атмосферный воздух.

Пыление при проезде АТС по дорожному покрытию обусловлено истиранием и отрывом, уносом твердых частиц, содержащихся на поверхности. Следует отметить, что нет оснований для отнесения рассматриваемого источника загрязнения к передвижным, так как в законе передвижной источник определяется как транспортное средство, двигатель которого при его работе является источником выброса [13]. Поэтому источником выброса будет являться установленный с применением единой государственной системы координат участок дороги, количественные и качественные показатели которого зависят от транспортной нагрузки и устанавливаются в зависимости от типа дорожного покрытия.

В настоящее время в действующем методическом пособии разработаны рекомендации и формулы для расчета выбросов пыли при работе только карьерного транспорта (пыление при проезде транспорта в карьерах) [12].

Расчет валовых и максимально разовых выбросов загрязняющих веществ проводится с использованием удельных показателей, т.е. количества выделенных загрязняющих веществ, приведенных к единицам времени, влажности, типа покрытия и параметрам автотранспорта.

Выброс взвешенных веществ от дорожного покрытия при проезде АТС m_p , г/с, и M_p , т/г., определяется для конкретной автодороги, на всей про-

тяженности которой структура и интенсивность автотранспортных потоков изменяется не более чем на 20...25 %. При большем изменении автотранспортных характеристик автомагистраль разбивается на участки, которые в дальнейшем рассматриваются как отдельные источники.

При выполнении расчетов численность АТС соответствующего расчетного типа определяется на основании исследований структуры парка транспортных средств.

При использовании рекомендаций [13] расчет количества выбросов (максимально-разовых, валовых) взвешенных веществ от дорожного покрытия предлагается проводить для заранее установленного источника с учетом типа дорожного покрытия, вида АТС, количества километров, проезжаемых АТС вида n по дорожному покрытию i -го типа, количества АТС этого вида, среднего количества дней эксплуатации рассматриваемого участка, среднегодового количества дней с осадками в виде дождя, среднегодового количества дней с установившимся снежным покровом по следующим формулам:

1) максимально-разовый выброс, г/с,

$$m_i = K_\gamma K_w \frac{(q_{1i} n_{1i} N_1 + q_{2i} n_{2i} N_2 + q_{ni} n_{ni} N_n)}{3600 T_{\text{сут}}}, \quad (1)$$

где K_γ — коэффициент, учитывающий влажность дорожного покрытия; K_w — коэффициент, учитывающий максимальную скорость ветра в исследуемом районе; q_{ni} — удельное пылевыведение при проезде АТС различного вида по дорожному покрытию i -го типа, г/км; n_{ni} — количество проезжаемых километров автомобильным транспортом вида n по дорожному покрытию i -го типа, км; N_n — количество единиц АТС вида n ; $T_{\text{сут}}$ — количество часов эксплуатации АТС на рассматриваемом участке, ч/сут;

2) валовый выброс M_i , т/г.,

$$M_i = \frac{m_i 3600 T_{\text{сут}} (N_{\text{раб.дн}} - T_d - T_c)}{10^6}, \quad (2)$$

где $N_{\text{раб.дн}}$ — среднее число дней работы рассматриваемого участка в году; T_d — среднегодовое количество дней с осадками в виде дождя; T_c — среднегодовое количество дней с установившимся снежным покровом.

С учетом вышеизложенных рекомендаций возможна разработка основ классификации и установления свойств стационарных неорганизованных источников загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью при проезде АТС по дорожным покрытиям различных типов. Используя формулы (1), (2), с учетом заранее определенных удельных показателей пылевыведения мелкодисперсной пыли с использованием установки непрерывного автоматического мониторинга оптическим методом принимаются параметры для проведения расчетов приземных концентраций на границе жилой застройки и санитарно-защитных зон с последующим

установлением пространственного распределения взвешенных веществ $PM_{2,5}$ и PM_{10} посредством стандартизированных моделей расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от стационарных источников [16]. Контроль и измерения будут производиться уполномоченными орга-

нами исполнительной власти и аккредитованными лабораториями в соответствии с законодательством РФ с помощью как портативных аттестованных приборов, так и стационарных автоматизированных установок непрерывного автоматического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Графкина М.В. Теория и методы оценки геоэкологической безопасности создаваемых природно-технических систем : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2008. 338 с.
2. Графкина М.В. Концепция повышения экологической безопасности // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. № 2. С. 462–467.
3. Азаров В.Н. Об организации мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ на примере г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25 (44). С. 398–401.
4. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint-Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research. Part D. 2015. No. 36. Pp. 178–189.
5. Организация мониторинга загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами : методические указания 2.1.6.-09. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 14 с.
6. Азаров В.Н., Есина Е.Ю., Азарова Н.В. Анализ дисперсного состава пыли в техносфере. Волгоград : ВГАСУ, 2008. 46 с.
7. Азаров В.Н., Тертишников И.В., Калюжнина Е.А. и др. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$) в воздушной среде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 25 (44). С. 402–406.
8. Азаров В.Н., Маринин Н.А., Барикаева Н.С. и др. Загрязнении мелкодисперсной пылью воздушной среды городских территорий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2013. № 1. С. 30–34.
9. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года : утв. Президентом РФ Д.Ю. Медведевым 30 апреля 2012 г.
10. Графкина М.В., Сдобнякова Е.Е. Модель управления производством на принципах экологической безопасности и результаты апробации // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2014. № 3 (21). С. 65–70.
11. Азаров В.Н., Маринин Н.А., Жоголева Д.В. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$) в атмосфере городов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5–2 (38). С. 144–148.
12. Трофименко Ю.В., Чижова В.С. Оценка загрязнения воздуха аэрозольными частицами менее 10 мкм от транспортных потоков на городских автомагистралях // Экология и промышленность России. 2012. № 9. С. 41–45.
13. Об охране атмосферного воздуха (с изменениями на 13 июля 2015 года) : федеральный закон №96; принят Госдумой 02.04.1999 г.
14. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) и оценки экологического ущерба при эксплуатации различных видов карьерного, транспорта : информ. мат. М. : ИГД им. А.А. Скочинского, 1994. 50 с.
15. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Михайлов В.А. Безопасность жизнедеятельности. М. : Форум, Инфра-М, 2013. С. 415. (Высшее образование)
16. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : общесоюзный нормативный документ; введ. 01.01.1987.

Поступила в редакцию в октябре 2016 г.

Принята в доработанном виде в феврале 2017 г.

Одобрена для публикации в марте 2017 г.

Об авторах: **Графкина Марина Владимировна** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологической безопасности технических систем, **Московский политехнический университет (Политех)**, 107023, г. Москва, Большая Семеновская ул., д. 38, marina.grafkina@rambler.ru;

Азаров Артем Викторович — руководитель группы экологического проектирования, **ООО «ПТБ ПСО Волгоградгражданстрой»**, 400087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, д. 10, artazarov@mail.ru;

Добринский Даниил Ражиевич — аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, **Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета (ИАиС ВолГТУ)**, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1, dancheek92@gmail.com;

Николенко Денис Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, директор Научно-исследовательского института проблем дорожно-транспортного комплекса, **Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ)**, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162, d.a.nikolenko@mail.ru.

REFERENCES

1. Grafkina M.V. *Teoriya i metody otsenki geoekologicheskoy bezopasnosti sozdavayemykh prirodno-tekhnicheskikh sistem : dissertatsiya ... doctora tekhnicheskikh nauk* [Theory and Methods of Estimation of Geoecological Safety of the Created Natural-Technical Systems : Thesis ... Doctor of Technical Sciences]. Moscow, 2008, 338 p. (In Russian)
2. Grafkina M.V. Kontseptsiya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti [Concept of Improving Environmental Safety]. *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya* [Civil Defense Strategy: Problems and Research]. 2013, no 2, pp. 462–467. (In Russian)
3. Azarov V.N. Ob organizatsii monitoringa RM10 i RM2,5 na primere g. Volgograda [On the Organization of Monitoring PM10 and PM2.5 on the Example of Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser. : Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State Architectural and Construction University. Building and architecture]. 2011, issue 25 (44), pp. 398–401. (In Russian)
4. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint-Petersburg using European and Russian calculation models. *Transportation Research. Part D*. 2015, no. 36, pp. 178–189.
5. *Organizatsiya monitoringa zagryazneniya atmosfery vozdukh melkodispersnyimi chastitsami : metodicheskiye ukazaniya 2.1.6.-09.* [Organization of Monitoring of Atmospheric Air Pollution by Finely Divided Particles: Guidelines 2.1.6.-09.]. Moscow, Federal'nyy tsentr gigiyeny i epidemiologii Rospotrebnadzora [Rospotrebnadzor Federal Center for Hygiene and Epidemiology]. 2009, 14 p. (In Russian)
6. Azarov V.N., Yesina Ye.Yu., Azarova N.V. *Analiz dispersnogo sostava pyli v tekhnosfere* [Analysis of the Dust Distribution in the Technosphere]. Volgograd, VGASU Publ., 2008, 46 p. (In Russian)
7. Azarov V.N., Tertishnikov I.V., Kalyuzhina Ye.A., et al. Ob otsenke kontsentratsii melkodispersnoy pyli (PM10 i PM2,5) v vozduшной среде [On the Estimation of the Concentration of Fine Dust (PM10 and PM2.5) in the Air]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Building and architecture]. 2011, issues 25 (44), pp. 402–406. (In Russian)
8. Azarov V.N., Marinin N.A., Barikayeva N.S., et al. O zagryaznenii melkodispersnoy pyl'yu vozduшной среды городских территорий [On the Fine-dispersed Dust Pollution of Urban Area Air]. *Biosferaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii* [Biosphere Compatibility: People, Region, Technology]. 2013, no. 1, pp. 30–34. (In Russian)
9. *Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda : utv. Prezidentom RF D.Yu. Medvedevym 30 aprelya 2012 g.* [Fundamentals of State Policy in the Field of Ecological Development of the Russian Federation for the Period up to 2030: Enacted by President of the Russian Federation D.Yu. Medvedev 30.04.2012]. (In Russian)
10. Grafkina M.V., Sdobnyakova Ye.Ye. Model' upravleniya proizvodstvom na printsipakh ekologicheskoy bezopasnosti i rezul'taty aprobatsii [Production Management Model Based on the Principles of Environmental Safety and the Results of Approbation]. *Izvestiya MGTU «MAMI»* [Izvestiya of MGTU «MAMI»]. 2014, no. 3 (21), pp. 65–70. (In Russian)
11. Azarov V.N., Marinin N.A., Zhogoleva D.V. Ob otsenke kontsentratsii melkodispersnoy pyli (RM10 i RM2,5) v atmosfere gorodov [On the Estimation of the Concentration of Fine Dust (PM10 and PM2.5) in the City Atmosphere]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo Gosudarstvennogo Universiteta* [Izvestiya of Southwest State University]. 2011, no. 5–2 (38), pp. 144–148. (In Russian)
12. Trofimenko Yu.V., Chizhova V.S. Otsenka zagryazneniya vozdukh aerol'nymi chastitsami meneye 10 mkm ot transportnykh potokov na gorodskikh avtomagistralyakh [Estimation of Air Pollution by Aerosol Particles with Size Less than 10 µm from Urban Highway Traffic]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia]. 2012, no. 9, pp. 41–45. (In Russian)
13. *Ob okhrane atmosfery vozdukh (s izmeneniyami na 13 iyulya 2015 goda) : fed. zak. ot 2 maya 1999 g.* [On protection of atmospheric air (with changes for 13.07.2015): Fed. Act from 02.04.1999]. (In Russian)
14. *Metodika rascheta vrednykh vybrosov (sbrosov) i otsenki ekologicheskogo ushcherba pri ekspluatatsii razlichnykh vidov kar'yernogo, transporta : inform. mat.* [Methodology of Calculating Harmful Emissions (Discharges) and Estimating the Environmental Damage during the Operation of Various Types of Open-cut Transport : Inform. Mat]. Moscow, Skochinsky IMA Publ., 1994, 50 p. (In Russian)
15. Grafkina M.V., Nyunin B.N., Mikhaylov V.A. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Health and Safety]. Moscow, Forum Publ., Infra-M Publ., 2013, 415 p. (In Russian)
16. *OND-86. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfere vozdukh vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy : obshchesoyuznyy normativnyy dokument; vved. 01.01.1987* [OND-86. Procedure of Calculating the Air Concentrations of Harmful Substances Contained in the Facility Emissions: All-Union Normative Document; Introduction 01.01.1987]. (In Russian)

Received in October 2016.

Accepted in a modified form in February 2017.

Approved for publication in March 2017.

About the authors: **Grafkina Marina Vladimirovna** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Ecological Safety of Technical Systems, **Moscow Polytechnic University (Polytech)**, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, Russian Federation, 107023, marina.grafkina@rambler.ru;

Azarov Artem Viktorovich — Head of the Environmental Design Group, LLC **“PTB PSO Volgogradgrazhdanstroy”**, 1 Barrikadnaya str., Volgograd, Russian Federation, 400074; artazarov@mail.ru;

Dobrinsky Daniil Razhievich — Graduate Student of the Department of Life Safety in the Technosphere, **Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE)**, 1 Akademicheskaya str., Volgograd, Russian Federation, 400074; Dancheeek92@gmail.com;

Nikolenko Denis Alexandrovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Roads, Director of the Research Institute for Problems of the Road and Transport Complex, **Academy of Construction and Architecture, Don State Technical University (DSTU)**, 162 Sotsialisticheskaya str., Rostov-on-Don, Russian Federation, 344022; d.a.nikolenko@mail.ru.