

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА ЗДОРОВЬЮ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ РАЗМЕРОМ МЕНЕЕ ДЕСЯТИ МИКРОМЕТРОВ (PM10) НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДОВ

Ю.В. Трофименко, В.С. Чижова

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, ОАО "Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта"

Представлена методика оценки риска от загрязнения воздуха взвешенными частицами размером менее десяти микрометров (PM10) на улично-дорожной сети (УДС) крупного города. Она включает оценку интенсивности выделения и распространения в воздухе PM10, источниками образования которых являются отработавшие газы транспортных средств с дизельными двигателями, износ шин, износ дорожного покрытия. Дана оценка хронического и канцерогенного риска здоровью населения от воздействия PM10 в воздухе на придорожной территории. Обоснованы мероприятия по снижению риска здоровью населения от загрязнения воздуха PM10 на УДС.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, атмосферный воздух, взвешенные частицы размером менее 10 мкм (PM10), отработавшие газы дизельных двигателей, износ шин, износ дорожного покрытия, риск здоровью населения, обоснование мероприятий

Justification of Measures to Reduce the Health Risk from Air Pollution by Suspended Particles Less than Ten Micrometers (PM10) on the Urban Road Network

Yu.V. Trofimenko, V.S. Chizhova

**Moscow Automobile and Road State Technical University, 125319 Moscow, Russia
JSC "Scientific and Research Institute of Motor Transport", 125480 Moscow, Russia**

A method for assessing the risk of air pollution by suspended particles smaller than ten micrometers (PM10) on the street road network (SRN) of the large city is presented. It includes an assessment of the intensity of the release and distribution in air of PM10, the sources of which are exhaust gases from vehicles with diesel engines, tire wear, and road surface wear. An assessment is made of the chronic and carcinogenic risk to public health from exposure to PM10 in the air in a roadside area. Substantiated measures to reduce the risk to public health from PM10 air pollution in the SRN.

Keywords: street-road network, atmospheric air, suspended particles less than 10 microns in size (PM10), diesel engine exhaust gases, tire wear, road surface wear, risk to public health, justification of measures

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-48-51

Высокий уровень концентрации взвешенных частиц менее 10 микрометров (PM10) в воздухе на улично-дорожной сети (УДС) крупных городов является одной из наиболее актуальных экологических проблем. Основными источниками образования PM10 являются отработавшие газы дизельных транспортных средств (ТС), износ дорожного покрытия и шин, тормозных механизмов, а также вынос частиц грунта с колес автомобилей, выезжающих на дорогу с неза-

дернованных участков территории, причем наиболее значимыми источниками выбросов PM10 являются отработавшие газы, износ дорожных покрытий и шин [1].

По данным Всемирной организации здравоохранения, PM10 считаются наиболее опасными загрязняющими веществами, так как их повышенная концентрация в воздухе приводит к росту смертности, возникновению респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний как при краткосрочном (за 24 ч), так и при

длительном (за год) эффекте воздействия [2].

Кроме того, частицы размером менее 2,5 микрометров (PM2,5) (черный углерод), выделяемые с отработавшими газами дизельных двигателей, являются также сильным светоабсорбирующим компонентом PM10 [9]. При высоких концентрациях это может приводить к нарушению прозрачности атмосферы и образованию парникового эффекта.

Исследования по снижению выбросов PM10 транспортными

потоками на УДС с учетом разных факторов проводятся как у нас в стране, так и за рубежом [3, 4, 9–15].

Материалы и методы исследования

Блок-схема разработанной методики оценки риска здоровью от загрязнения воздуха PM10 на УДС крупного города приведена на рис. 1.

Оценка выбросов частиц с отработавшими газами дизельных автомобилей производилась с учетом интенсивности, состава транспортного потока, средней скорости ТС на 23 основных автомагистралях, численности ТС парка с разбивкой по категориям, удельных (на единицу пробега) выбросов PM10 легковыми, грузовыми автомобилями и автобусами, распределения ТС по экологическим классам, удельного расхода топлива (л/100км), средних годовых пробегов ТС [5, 7]. Интенсивность, состав, средние скорости транспортных потоков на 23 основных автомагистралях Москвы оценивались в результате натурных наблюдений в разные дни недели в летнее время.

Оценка интенсивности выделения PM10 от износа шин и дорожных покрытий производилась с использованием результатов экспериментальной оценки концентрации частиц, полученных на универсальном комплексе "Карусель" (полигон МАДИ) с использованием спектрофотометра АРМ-2, а также в результате расчетов по методике, приведенной в работе [7]. При расчете учитывались данные о массе всех используемых типов шин и их количестве, среднем годовом пробеге шин, средней эксплуатационной скорости движения ТС, численности ТС в автомобильном парке города.

Оценка концентраций PM10 на УДС проводилась расчетным и экспериментальным путем. Определение расчетных значений концентраций частиц выполнялось с использованием программного комплекса УПРЗА "ЭКО-центр". Замеры концентраций PM10 в воздухе над поверхностью дороги проводились на автомагистралях Москвы (Варшавское шоссе, Ленинский проспект, Садовое кольцо, ТТК (внешнее и внутреннее))



Рис. 1. Блок-схема методики оценки риска от загрязнения воздуха взвешенными частицами (PM10) на УДС крупного города

Fig. 1. Block diagram of the methodology for assessing the risk of airborne particulate matter (PM10) at the SRN of a large city

с использованием портативного спектрометра аэрозолей Grimm (Германия), представленного ГПБУ "Мосэкомониторинг", одновременно с замером (видеофиксацией) интенсивности, состава и скорости транспортного потока.

Для определения потенциальных эффектов неблагоприятного воздействия на здоровье людей, связанных с загрязнением воздуха PM10 на УДС, оцениваются риск хронического воздействия (ингаляционный) и канцерогенный риск по методике [6], реализованной в программе Health Risk Assessment (HRA) 2000 (версия 2.0) (USA). Методика позволяет оценить относительную опасность острого и хронического ингаляционного воздействия большой группы токсичных веществ на органы дыхания, сердечно-сосудистую и кроветворную системы.

Оценка риска определена с учетом приведенных ниже мероприятий, направленных на снижение концентрации PM10 в атмосферном воздухе, и без учета мероприятий. Риски определены для группы населения, подвергающейся воздействию PM10 со среднегодовой концентрацией 0,15 мг/м³ вблизи автомагистрали (ул. Народного ополчения) в течение 365 дней с учетом фоновых концентраций загрязнителей.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования износа шин и дорожных

покрытий разных типов проводились на универсальном комплексе "Карусель" на полигоне МАДИ (рис. 2). Испытывались шины PIRELLY 205/65 R1594H (масса шины 12,5 кг, количество шин — 4 шт.) при их движении со скоростью до 80 км/ч на разных типах дорожных покрытий. Максимальная концентрация PM10, замеренная спектрофотометром аэрозолей АРМ-2, расположенным вблизи траектории движения шин, составила 0,007 мг/м³ (рис. 2).

На основании экспериментальных значений концентраций PM10 расчетным путем определялись интенсивности выделения частиц в результате износа шин и дорожного покрытия, которые затем использовались в дальнейших расчетах по методике (см. рис. 1).

Расчет концентраций PM10 в приземном слое атмосферного



Рис. 2. Спектрофотометр АРМ-2 на легковом стенде "Карусель"

Fig. 2. Spectrophotometer ARM-2 on the passenger stand "Carousel"



Рис. 3. Расчетные концентрации PM10 в приземном слое атмосферного воздуха на авто-магистралях Москвы
Fig. 3. The calculated concentration of PM10 in the surface layer of atmospheric air on the highways of Moscow

воздуха на придорожной территории проводился с использованием измеренных характеристик транспортных потоков (интенсивность, состав, средняя скорость движения) и выбросов PM10 от дизельных ТС, износа шин и дорожных покрытий на основных автомагистралях Москвы. Его результаты представлены на рис. 3.

На рис. 3 для сравнения приведено также значение максимально-разовой концентрации PM10 на расстоянии 300 м от автомагистралей [8].

Расчеты показали, что на 17 из 23 автомагистралей может ожидается концентрация частиц PM10 выше ПДКмр. Максимальная концентрация PM10 — 0,9 мг/м³ (ЗПДКмр) отмечена в центре города (Бульварное кольцо, внешняя и внутренняя сторона). Высокая концентрация PM10 — 0,6 мг/м³ — наблюдалась на Волоколамском шоссе, проспекте Вернадского, на Профсоюзной улице в местах образования транспортных заторов,

возникающих из-за световых фар. Снижение максимально-разовой концентраций PM10 до ПДК (0,3 мг/м³) наблюдается только на расстоянии 300 м от дороги.

На рис. 4 приведены результаты сравнения концентраций PM10, полученных расчетным путем по разработанной методике, с результатами натурного эксперимента на отдельных участках УДС Москвы. Концентрации PM10, полученные в ходе измерений, отличаются от концентраций PM10, полученных расчетным путем, на величину от 1 до 19 %.

Согласно результатам расчетов по методике Health Risk Assessment, от воздействия PM10 на здоровье населения вблизи УДС имеются определенные риски возникновения болезней органов дыхания и кожи, соответственно 0,0531 и 0,0333. Уровень канцерогенного риска, определенный для населения в возрасте 44 и 70 лет, составил соответственно $1,59 \cdot 10^{-5}$ и $2,53 \cdot 10^{-5}$.

Результатами исследований было подтверждено, что основным источником образования PM10 на УДС являются отработавшие газы дизельных ТС (77 % суммарных выбросов PM10), износ дорожного покрытия (22 %) и износ шин (1 %).

Заключение

Результаты выполненных расчетов по разработанной методике показали, что основными факторами, влияющими на интенсивность выделения PM10 на

УДС, являются интенсивность, состав и скорость движения транспортных потоков, тип и материал дорожного покрытия, тип шин, природно-климатические факторы.

Так, при увеличении полной массы ТС с 1 до 20 т выброс частиц PM10 возрастает в 5 раз — с 1 до 5 мг/с. Замещение в автомобильном парке ТС экологического класса 2 на ТС экологического класса 5 приведет к снижению выбросов частиц PM10 в 19 раз при тех же объемах потребления дизельного топлива. Существенное влияние на выбросы PM10 от дорожного покрытия оказывает использование ошипованной резины в зимний период — на 37 % больше, чем при использовании зимних шин без шипов (фрикционных) того же размера. Интенсивность выделения частиц PM10 в результате износа дорожного покрытия типа В (содержание щебня в асфальтобетоне < 40 %) составляет 1,2 мг/с, что в 1,3 раза больше, чем в результате износа дорожного покрытия типа А (содержание щебня в асфальтобетоне > 50 %). С увеличением температуры воздуха с 0 до 30 °С наблюдается повышение концентрации PM10 в атмосферном воздухе в 2,5 раза (с 0,4 до 1 мг/м³), а при повышении влажности воздуха с 30 до 90 % наблюдается снижение выбросов PM10 в 3 раза (с 3 до 1 мг/м³). Следовательно, замещение в автомобильном парке ТС низких экологических классов на ТС экологических классов 5 и 6 приведет к сокращению выбросов взвешенных частиц с ОГ ДВС на 75 %; переход на изготовление дорожного покрытия с содержанием щебня в асфальтобетоне более 50 % обеспечит снижение выбросов PM10 от износа покрытия на 20–25 %; переход на фрикционные шины (липучки) сократит выброс частиц от износа шин на 43 %.

Как показали результаты расчетов, реализация предлагаемых инженерно-технических мероприятий позволит снизить риск заболевания органов дыхания на 45,5 % (до 0,0242) и кожных болезней на 19,8 % (0,0066). Канцерогенный риск может быть снижен для населения на 90 % (в возрасте 44 лет до $1,58 \cdot 10^{-6}$ и в возрасте 70 лет до $2,51 \cdot 10^{-6}$).

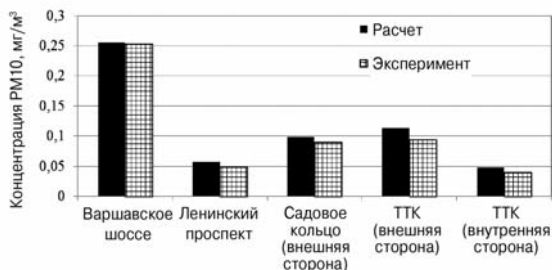


Рис. 4. Расчетные и измеренные концентрации PM10 на 5 магистралях Москвы
Fig. 4. Calculated and measured concentrations of PM10 on 5 highways of Moscow

Литература

1. Трофименко Ю.В., Чижова В.С. Оценка загрязнения воздуха аэрозольными частицами размером менее 10 мкм от транспортных потоков на городских автомагистралях. Экология и промышленность России. 2012. Сентябрь. С. 41–45.
2. Рамочный план организации мониторинга взвешенных веществ в атмосфере в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Чичерин С. ВОЗ, Европейский центр по окружающей среде и охране здоровья, Бонн, 2006. С. 8–10.
3. Wei M., et al. A Comparison Study on the Combustion and Particulate emissions of 2,5-dimethylfuran/diesel and ethanol/diesel in a diesel engine. THERMAL SCIENCE. 2018. Vol. 22. No. 3. P. 1351–1361.
4. Азаров В.К., Васильев А.В., Кутенев В.Ф. Об эффективности международных Правил ООН по проблемным вопросам экологической безопасности автомобилей. Труды НАМИ. 2018. № 1 (272). С. 69–77.
5. Трофименко Ю.В., Чижова В.С. Расчетно-экспериментальная методика оценки образования аэрозольных частиц (PM10) от автотранспортного комплекса. Экологический мониторинг промышленно-транспортных комплексов. Тольятти – Самара, ТГУ, 2013. С. 189–194.
6. Health Risk Assessment (HRA) 2000 (версия 2.0) (USA). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arb.ca.gov/toxics/hracp/hranew.htm> (дата обращения 03.04.2019).
7. Düring I., Boesinger R., Lohmeyer A. PM10 Emissionen an Außerortsstraßen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH CO. KG, Radebeul Karlsruhe, 2008.
8. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ "Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений" от 22.12.2017 № 165. [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения 03.04.2019).
9. Bond T.C., et. al. Bonding the rote of black carbon in the climate system: A scientific assessment. Submitted to the Journal of Geophysical Research-Atmospheres on 26 March. 2012. P. 1–218.
10. Duering I., Lohmeyer A., Moldenhauer A., Knörr W. Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PMx-Belastung an Straßen. 2008.
11. Kuhns H., Gillies J., Etyemezian V., Nikolich G., King J., Zhu D. Effect of Soil Type and Momentum on Unpaved Road Particulate Matter Emissions from Wheeled and Tracked Vehicles. Aerosol Science and Technology. 2010. Vol. 44. P. 187–196.
12. Kessler R. Green Walls Could Cut Street-Canyon Air Pollution. Environmental Health Perspectives. 2013. Vol. 121. N 1. P. A14.
13. Wang S., et al. Particulate Matter Emission from a Heavy Duty Diesel Engine with Three Binary Blends. THERMAL SCIENCE. 2018. Vol. 22. No. 5. P. 2056–2076.
14. Vercauteren J., Matheussen C., Wauters E., Roekens E., Grieken R., Krata A., Makarovska Y., Maenhaut W., Chi X., Geypens B. Chemkar PM10: An extensive look at the local differences in chemical composition of PM10 in Flanders, Belgium. Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. P. 108–116.
15. Zibert J., Praznikar J. Cluster analysis of particulate matter (PM10) and black carbon (BC) concentrations. Atmospheric Environment. 2012. Vol. 57. P. 1–12.

References

1. Trofimenko Yu.V., Chizhova V.S. Otsenka zagryazneniya vozdukhа aerozol'nyimi chastitsami razmerom menee 10 mkm ot transportnykh potokov na gorodskikh avtomagistralyakh. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2012. Sentyabr'. S. 41–45.
2. Ramochnyi plan organizatsii monitoringa vzveshennykh veshchestv v atmosfere v stranakh Vostochnoi Evropy, Kavkaza i Tsentral'noi Azii. Chicherin S. VOZ, Evropeiskii tsentr po okruzhayushchei srede i okhrane zdorov'ya, Bonn, 2006. S. 8–10.
3. Wei M., et al. A Comparison Study on the Combustion and Particulate emissions of 2,5-dimethylfuran/diesel and ethanol/diesel in a diesel engine. THERMAL SCIENCE. 2018. Vol. 22. No. 3. P. 1351–1361.
4. Azarov V.K., Vasil'ev A.V., Kutenev V.F. Ob effektivnosti mezhdunarodnykh Pravil OON po problemnym voprosam ekologicheskoi bezopasnosti avtomobiley. Trudy NAMI. 2018. № 1 (272). S. 69–77.
5. Trofimenko Yu.V., Chizhova V.S. Raschetno-eksperimental'naya metodika otsenki obrazovaniya aerozol'nykh chastits (RM10) ot avtotransportnogo kompleksa. Ekologicheskii monitoring promyshlenno-transportnykh kompleksov. Tol'yatti – Samara, TGU, 2013. S. 189–194.
6. Health Risk Assessment (HRA) 2000 (версия 2.0) (USA). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arb.ca.gov/toxics/hracp/hranew.htm> (дата обращения 03.04.2019).
7. Düring I., Boesinger R., Lohmeyer A. PM10 Emissionen an Außerortsstraßen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH CO. KG, Radebeul Karlsruhe, 2008.
8. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF "Ob utverzhdenii gigienicheskikh normativov GN 2.1.6.3492-17 "Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfere nom vozdukhе gorodskikh i sel'skikh poselenii" ot 22.12.2017 № 165. [Elektronnyi resurs]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii <http://www.pravo.gov.ru> (data obrashcheniya 03.04.2019).
9. Bond T.C., et. al. Bonding the rote of black carbon in the climate system: A scientific assessment. Submitted to the Journal of Geophysical Research-Atmospheres on 26 March. 2012. P. 1–218.
10. Duering I., Lohmeyer A., Moldenhauer A., Knörr W. Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PMx-Belastung an Straßen. 2008.
11. Kuhns H., Gillies J., Etyemezian V., Nikolich G., King J., Zhu D. Effect of Soil Type and Momentum on Unpaved Road Particulate Matter Emissions from Wheeled and Tracked Vehicles. Aerosol Science and Technology. 2010. Vol. 44. P. 187–196.
12. Kessler R. Green Walls Could Cut Street-Canyon Air Pollution. Environmental Health Perspectives. 2013. Vol. 121. N 1. P. A14.
13. Wang S., et al. Particulate Matter Emission from a Heavy Duty Diesel Engine with Three Binary Blends. THERMAL SCIENCE. 2018. Vol. 22. No. 5. P. 2056–2076.
14. Vercauteren J., Matheussen C., Wauters E., Roekens E., Grieken R., Krata A., Makarovska Y., Maenhaut W., Chi X., Geypens B. Chemkar PM10: An extensive look at the local differences in chemical composition of PM10 in Flanders, Belgium. Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. P. 108–116.
15. Zibert J., Praznikar J. Cluster analysis of particulate matter (PM10) and black carbon (BC) concentrations. Atmospheric Environment. 2012. Vol. 57. P. 1–12.

Ю.В. Трофименко – д-р техн. наук, зав. кафедрой, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 125319 Россия, г. Москва, Ленинградский пр. 64, e-mail: ywtrofimenko@mail.ru • В.С. Чижова – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ОАО "Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта", 125480 Россия, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев 24, e-mail: mavese@rambler.ru

Yu.V. Trofimenko – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, Moscow Automobile and Road State Technical University, 125319 Russia, Moscow, Leningradsky Pr. 64, e-mail: ywtrofimenko@mail.ru • V.S. Chizhova – Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Fellow, JSC "Scientific and Research Institute of Motor Transport", 125480 Russia, Moscow, Geroyev Panfilovtsev Str. 24, e-mail: mavese@rambler.ru