

Зависимость концентрации мелкодисперсной пыли на бордюре проезжей части от воздействия внешних факторов

*О.П. Сидельникова, Ю.П. Иванова, О.О. Иванова, А.А. Сахарова,
Р.А. Лясин, М.Д. Азарова*

Волгоградский Государственный Технический Университет

Аннотация: В статье рассматривается концентрационная зависимость пылевых частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} на бордюрном камне от ряда влияющих параметров. По данным проведённых натурных замеров составлено уравнение квадратичной регрессии, по которому были определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на распространение мелкодисперсной пыли вблизи проезжей части. Результаты математической обработки экспериментальных данных представлены в виде графика доверительной области наблюдаемых и предсказанных значений, построенных с помощью программного продукта *STATISTICA*.

Ключевые слова: PM_{10} , $PM_{2,5}$, мелкодисперсная пыль, проезжая часть, линейный город, концентрационная зависимость.

Загрязнение атмосферного воздуха и придорожных территорий линейных городов первостепенно связано с чрезмерной концентрацией промышленных предприятий, населения и транспорта. В настоящее время ввиду растущей автомобилизации населения, транспортные средства становятся основным источником загрязнения придорожных территорий мелкодисперсной пылью и оксидом углерода [1-3].

Постепенное увеличение автомобильного парка и расширение городских территорий оказывают возрастающее влияние на воздушную среду придорожных территорий. Поэтому исследование, направленное на определение зависимости концентрации от влияющих факторов, будет наиболее актуальным [4-6].

Для оперативного прогноза содержания мелкодисперсной пыли в атмосфере придорожных территорий линейного города методом множественной корреляции было получено уравнение квадратичной регрессии, устанавливающее связь между концентрацией $PM_{2,5}$ и PM_{10} (англ. *Particulate Matter*, сокращ. *PM*) на бордюре проезжей части и основными

влияющими факторами. Среди рассматриваемых параметров можно выделить следующие: φ - относительная влажность воздуха %; t - температура воздуха, °С; L - длина участка, м; J_1 - интенсивность легковых автомобилей, авт/час; J_2 - интенсивность грузовых автомобилей, авт/час; V_v - скорость ветра, м/с; V_a - средняя скорость движения транспортного потока, авт/час; α - продольный уклон проезжей части, градусы; θ - угол ветра к дороге, градусы [7,8].

Первостепенно при рассмотрении линейной регрессии были вычислены коэффициенты корреляции, которые для мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} соответственно равны 0,47 и 0,32. Это говорит о слабой корреляционной зависимости, поэтому в обоих случаях рассматривалась квадратичная регрессия [9].

Посредством обработки полученных выборок данных программным обеспечением *STATISTICA* удалось получить уравнения квадратичной регрессии для $PM_{2,5}$ и PM_{10} формула (1,2) [10]:

$$PM_{2,5} = 0,0000323\varphi^2 - 0,040913L \cdot \alpha + 0,023589L \cdot t - 0,002095\alpha \cdot t + 0,007246\alpha \cdot V_v - 0,001255\varphi \cdot t \quad (1)$$

$$PM_{10} = 0,0430t - 0,00402V_v^2 - 0,000627t^2 + 0,00002J_2 \cdot V_v + 0,003026\alpha \cdot V_v - 0,000536\varphi \cdot t \quad (2)$$

При этом коэффициент множественной корреляции в обоих уравнениях $R = 0,98$ близок к 1, что характеризует высокую степень зависимости переменной $PM_{2,5}$ и PM_{10} от значимых переменных, включённых в уравнение регрессии.

Значимость уравнения регрессии проверялась по критерию Фишера-Снедекора [11]. Уравнение регрессии значимо на уровне α , если фактически наблюдаемое значение статистики - формула (3):

$$F = \frac{R^2(n-p-1)}{(1-R^2)p} > F_{\alpha, k_1, k_2} \quad (3)$$

где: F_{a,k_1,k_2} - табличное значение критерия Фишера-Снедерока, определённое на уровне значимости a при $k_1 = p$ и $k_2 = n - p - 1$ степенях свободы; p - число оцениваемых параметров уравнения регрессии; n - число наблюдений. Для рассматриваемых случаев:

$$R^2=0,979; p = 6; n = 95; \alpha = 0,05; k_1 = 6; k_2 = 88; F = 338,245; F_{0,05; 6; 88} = 2,617$$

Так как $F > F_{a,k_1,k_2}$ то полученное уравнение регрессии значимо:
рис.1,2.

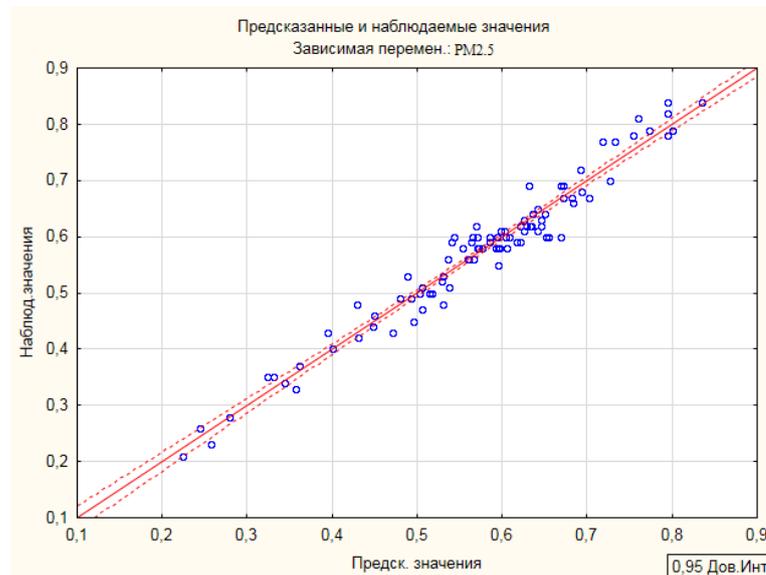


Рис. 1. - Доверительная область наблюдаемых и предсказанных значений

$PM_{2,5}$

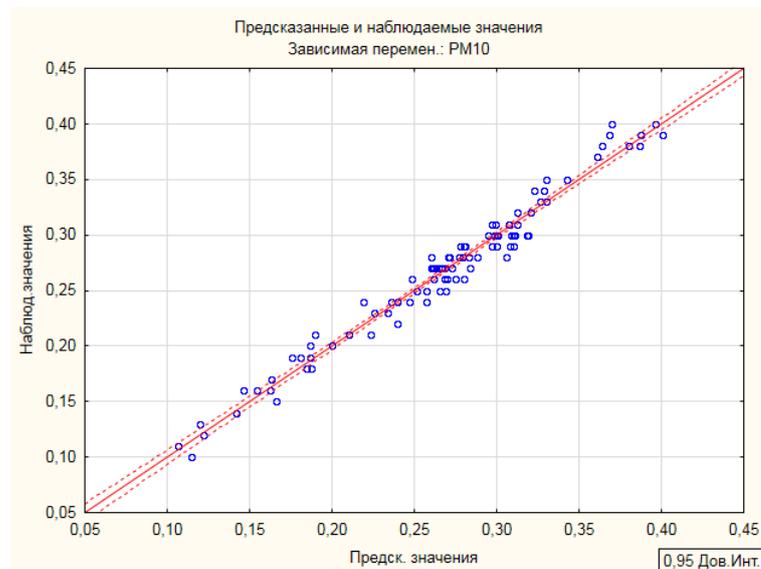


Рис. 2. - Доверительная область наблюдаемых и предсказанных значений

$$PM_{10}$$

Анализ уравнений регрессии показал, что концентрация мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ в атмосфере линейного города на бордюре проезжей части главным образом зависит от следующих факторов: продольного уклона дороги со скоростью ветра, температуры воздуха, длины участка; влажности. При этом интенсивность и средняя скорость движения транспорта, угол ветра к дороге не оказывают значительного влияния на концентрацию в бордюрной зоне.

Для мелкодисперсных частиц PM_{10} факторами, определяющими изменение концентрации, являются: скорость ветра с продольным уклоном, интенсивность грузовых автомобилей; температура воздуха с влажностью. Такие факторы, как средняя скорость движения транспорта, угол ветра к дороге, интенсивность легковых автомобилей, длина участка не влияют на концентрацию.

Литература

1. Николенко Д.А., Васильев А.Н., Иванова Ю.П., Сахарова А.А., Иванова О.О., Азаров В.Н., Чернущенко А.А. // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441.

2. Vlasov, D.; Ramírez, O.; Luhar, A. Road Dust in Urban and Industrial Environments: Sources, Pollutants, Impacts, and Management. Atmosphere 2022, 13, 607. URL: doi.org/10.3390/atmos13040607.

3. Semerjian, L.; Okaiyeto, K.; Ojemaye, M.O.; Ekundayo, T.C.; Igwaran, A.; Okoh A.I. Global Systematic Mapping of Road Dust Research From 1906 to 2020: Research Gaps and Future Direction. Sustainability 2021, 13, 11516. URL: doi.org/10.3390/su132011516.

4. Азаров В. Н., Елфимов К. А., Давудов Р. И., Васильев А.Н., Симаков В.С. Об использовании случайных функций для анализа пылевого

загрязнения пешеходных зон // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 2(87). С. 171-177. URL: elibrary.ru/item.asp?id=48821403.

5. Донченко В.В., Чинова В.С., Недре А.Ю., Азаров В.Н. Организация экологического контроля на автомобильном транспорте на основе использования средств дистанционного зондирования выбросов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 3(88). С. 241-254. URL: elibrary.ru/item.asp?id=49331324.

6. Елисеева Т.П., Ежова И.М., Лакирбая И.Д. Исследование воздействия техногенных факторов на окружающую среду с целью обоснования управленческих решений по обеспечению экологической безопасности регионов России. // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361.

7. Иванова Ю.П., Надер Б.Ю., Мишаков В.А., Шаповалова Ю.А., Иванова О.О., Азаров В.Н. // Инженерный вестник Дона, 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263.

8. Иванова Ю.П., Азаров В.Н. О влиянии автотранспорта на экологическую обстановку г. Волгограда// Актуальные вопросы современной науки: сборник статей по материалам XX международной научно-практической конференции (11 апреля 2019 г., г. Томск). В 3 ч. Ч. 3. Уфа: Дендра, 2019. С. 194—198.

9. Гмурман В.Б. Теория вероятностей и математическая статистика /М.:Высш.шк., 2007г. - 456с.

10. Боровиков А. В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере / Санкт-Петербург: Изд. дом «Питер», 2001 – 656 с.

11. Яновский Т.А, Яновский А.Г. Многомерный регрессивный анализ и его приложения на основе пакета STATISTICA: учеб. пособие: ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 64 с.

References

1. Nikolenko D.A., Vasiliev A.N., Ivanova Yu.P., Sakharova A.A., Ivanova O.O., Azarov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441.

2. Vlasov, D.; Ramirez, O.; Luhar, A. Atmosphere 2022, 13, 607. URL: doi.org/10.3390/atmos1304060.

3. Semerjian, L.; Okaiyeto, K.; Ojemaye, M.O.; Ekundayo, T.C.; Igwaran, A.; Okoh A.I. Sustainability 2021, 13, 11516. URL: doi.org/10.3390/su132011516.

4. Azarov V. N., Efimov K. A., Davydov R. I., Vasiliev A.N., Simakov V.S. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2022. № 2(87). pp. 171-177. URL: elibrary.ru/item.asp?id=48821403.

5. Donchenko V.V., Chizhova V.S., Nedre A.Yu., Azarov V.N. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2022. № 3(88). pp. 241-254. URL: elibrary.ru/item.asp?id=49331324.

6. Eliseeva T.P., Ezhova I. M., Lakirbaya I. D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2361.

7. Ivanova Yu.P., Nader B.YU., Mishakov V.A., Shapovalova YU.A., Ivanova O.O., Azarov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 1, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263.

8. Ivanova Yu.P., Azarov V.N. Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki: sbornik statey po materialam XX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (11 aprelya 2019 g., g. Tomsk). V 3 ch. Ch. 3. Ufa: Dendra, 2019. pp. 194-198.



9. Gmurman V.B. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statisti. [Probability theory and mathematical statistics]. M.: Vyssh. shk., 2007. 456 p.

10. Borovikov A. V. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere. [STATISTICA. The Art of data analysis on a computer]. Sankt-Peterburg: Izd. dom «Piter», 2001. 656 p.

11. Yanovsky T.A., Yanovsky A.G. Mnogomernyy regressivnyy analiz i ego prilozheniya na osnove paketa STATISTICA [Multidimensional regression analysis and its applications based on the STATISTICA package]: ucheb. posobie: VolgSTU. Volgograd, 2015. 64 p.