

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами PM2.5 датчиком NOVA SDS011

П.А. Бармин, В.А. Багров, К.С. Кошкарёв, Р.А. Лясин

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Проблема загрязнения атмосферного воздуха пылевыми частицами, наряду с образованием парниковых газов, охватывает множество стран мира. Для мониторинга состояния атмосферного воздуха традиционно применяются дорогие и громоздкие станции мониторинга, за которые отвечают государственные организации. Использование недорогих сенсорных датчиков частиц, которые позволят производить измерения в реальном времени на границе санитарно-защитной зоны промышленных предприятий и на территории жилой зоны, открывает новые перспективы в области исследования состояния атмосферного воздуха. В настоящее время около 10 тысяч недорогих датчиков функционируют на территории 75 стран мира, что вызывает вовлеченность граждан в сбор данных о состоянии атмосферного воздуха. Представленная технология мониторинга концентрации мелкодисперсных твердых частиц способна заменить традиционный метод измерения, однако остается вопрос о ценности получаемых данных с точки зрения их точности. В данной статье рассмотрен фактор, влияющий на отклонение показаний недорогого датчика твердых частиц Nova SDS011. Для этого были проведены испытания датчика в реальных условиях окружающей среды, получены экспериментальные зависимости концентрации пылевых частиц не более 2,5 микрон в зависимости от влажности.

Ключевые слова: атмосферный воздух, PM2.5, датчик Nova SDS011, концентрация пылевых частиц, станции мониторинга, относительная влажность.

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха твёрдыми пылевыми частицами - глобальная проблема, охватывающая миллионы людей во множестве стран мира. Поступление пылевых частиц в воздушную среду крупных городов главным образом определяется промышленной ориентированностью, уровнем жизни населения, наличием естественных источников пылеобразования, метеорологическими параметрами.

Поступление в атмосферный воздух мелкодисперсных частиц может происходить от различных источников. Мелкодисперсные твердые частицы могут образовываться в результате: движения автомобильного транспорта (выхлопные и не выхлопные твёрдые частицы), строительных работ (возведение зданий, дорожного строительства), сжигания твёрдого и жидкого

топлива, деятельности промышленных предприятий, естественного природного загрязнения (пыльные бури) и т.п [1,2].

Воздействие мелкодисперсных пылевых частиц на организм человека исследовано во множестве работ, определено, что мелкодисперсные пылевые частицы могут вызывать респираторные (силикоз, эмфизему, рак лёгких, астму) и сердечно-сосудистые заболевания. Кроме того, эффект воздействия пылевых частиц на организм человека зависит от микроэлементного состава и наличия дополнительных факторов [1,3,4].

Анализ публикаций, материалов, методов

Исследованию недорогих датчиков частиц, в том числе, фирмы Nova (SDS011) посвящено множество работ [5 - 7]. Использование портативных датчиков пылевых частиц, представленных в работах [5 - 7], сопряжено с определенными сложностями. Так, в работе [6] определено, что представленные недорогие сенсоры для пылевых частиц PM10 показывают лишь ориентировочные значения концентрации с погрешностью более 50% по сравнению с референтными пылемерами [8]. При этом в работах авторов [9,10] отмечается тот факт, что для пылевых частиц PM2.5 показания недорогих датчиков частиц при их калибровке становятся наиболее эффективными. Представленная эффективность недорогих датчиков для частиц PM2.5 объясняется усеченной индикатрисой рассеяния лазерного излучения, неспособностью датчика захватывать более крупные частицы.

Среди факторов, оказывающих воздействие на показания датчика частиц, в работе [7] определены следующие факторы: входное напряжение, угол наклона, направление и скорость ветра, влажность, температура. В нашем случае, ввиду наличия стабилизатора напряжения, неизменного угла наклона, закрытой площадки, на которой располагается датчик, определяющим фактором, влияющим на показания сенсора Nova (SDS011), является относительная влажность.

Цель и постановка задачи исследования

Целью данного исследования является оценка влияния метеорологического параметра, а именно - относительной влажности на показания недорогого датчика частиц Nova (SDS011). Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить сезонные изменения концентрации пылевых частиц PM_{2.5} на основе открытой базы данных сообщества, созданного в рамках фонда открытых знаний Германии.

2. На основе открытых данных сообщества, созданного в рамках фонда открытых знаний Германии за 2022 год, построить разброс экспериментальных значений относительно среднего в зависимости от относительной влажности.

Основной раздел

Для практической реализации исследования влияния метеорологического параметра (относительной влажности) на показания недорогого датчика частиц, использован открытый архив сообщества сенсоров, созданного на территории Германии (г. Штутгарт). Датчик твердых частиц Nova SDS011 для измерения пылевых частиц использует принцип рассеяния, способен измерять массовую и счетную концентрацию в 2 каналах (PM_{2.5}, PM₁₀), минимальный диаметр частиц - 0,3 мкм. При аспирировании аэрозоля через представленный сенсор, твердые частицы, находящиеся в его составе, рассеивают лазерное излучение, изменения которого попадают на фотоприемник и преобразуются в электрические сигналы. Представленные сигналы имеют прямую взаимосвязь с диаметром твердых частиц [11]. На принципиальной схеме вывода сигналы отображаются в виде пиков с различной длительностью, так, для концентрации 2 мкг/м³, он составляет 4 миллисекунды.

Представленные данные получены из открытого архива измерения, для сенсоров с номерами (№39494, №39495). Где сенсор с порядковым номером №39494 – датчик частиц Nova (SDS011), №39495 - цифровой комбинированный датчик BME280 [12]. Для определения сезонного колебания концентрации PM2.5 была составлена выборка из N=59 дней (рисунок 1).

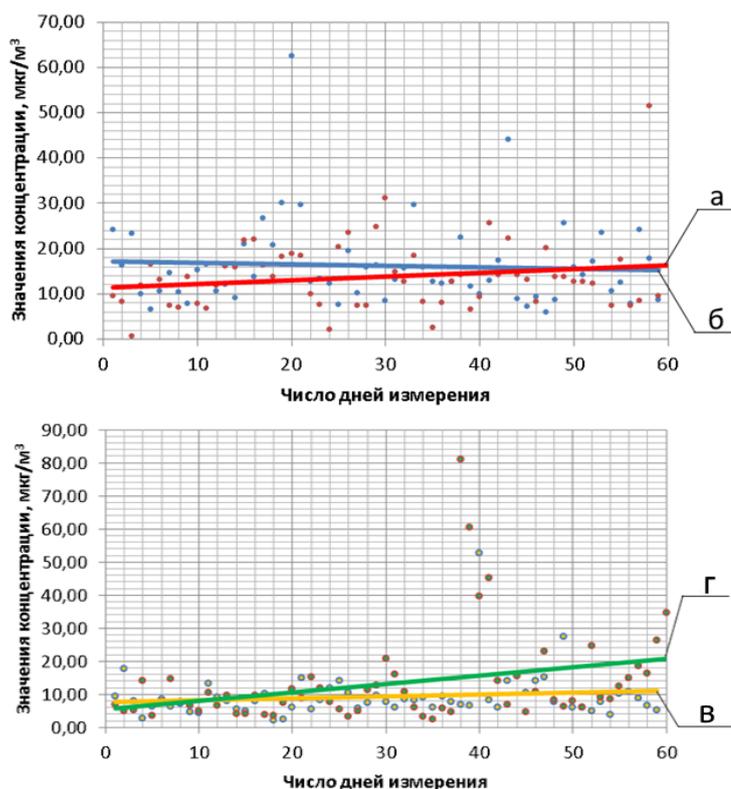


Рис.1 - Наблюдаемые концентрации пылевых частиц PM2.5 по временам года:

а – зима; б – весна; в – лето, г - осень

На основании представленной зависимости концентрации твердых частиц PM 2.5 от периода года можно определить, что максимальные значения концентрации наблюдаются осенью, минимальные медианные - летом, максимальные медианные – зимой. На представленные значения концентрации твердых частиц PM2.5 существенное влияние оказывают сезонные изменения влажности, представленные на (рисунок 2).

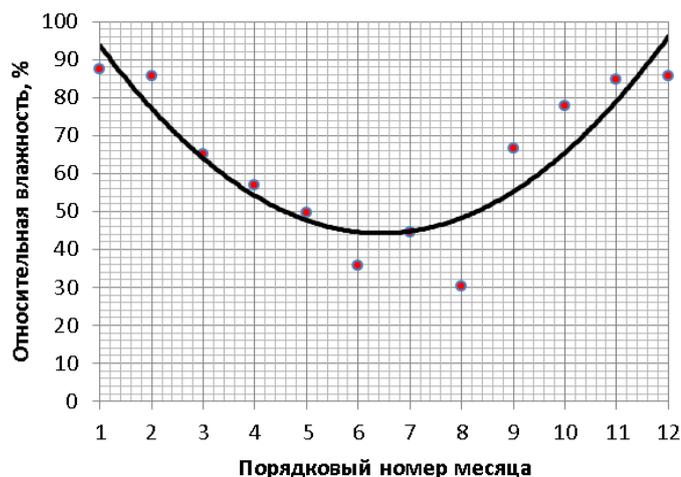


Рис.2 - Наблюдаемые значения относительной влажности в течение 2022 года (цифровой комбинированный датчик ВМЕ280)

Влияние изменения относительной влажности на концентрацию PM2.5 описывается следующими функциями, представленными на (рисунке 3).

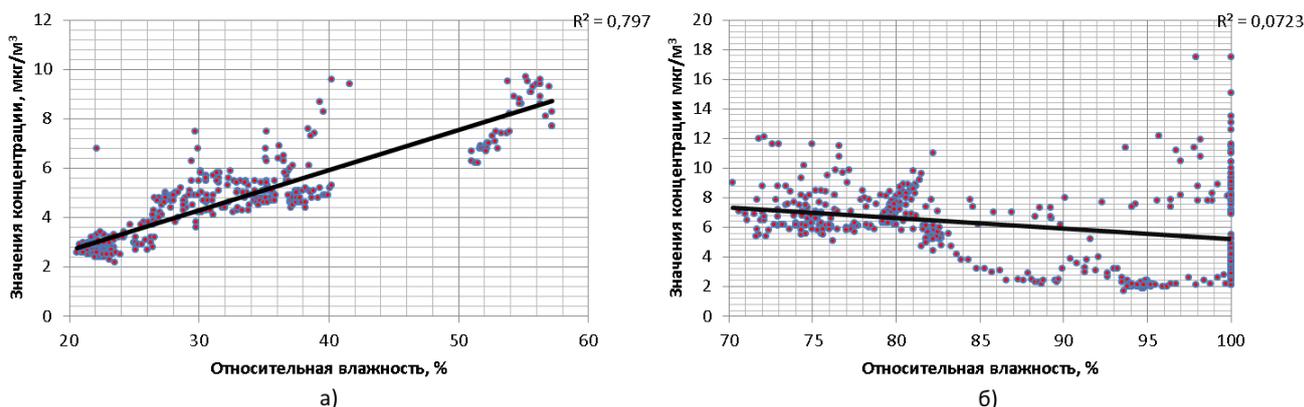


Рис.3 - Значения концентрации твердых частиц PM2.5, измеренные в течение года при:

а – низкой, умеренной влажности; б – повышенной влажности

Представленные функции, построенные по среднему значению, описывающие зависимость концентрации пылевых частиц PM2.5 от относительной влажности, позволили определить следующее: что при низкой, умеренной относительной влажности значения имеют высокую корреляцию, при повышенной влажности коэффициент корреляции стремится к нулю – отсутствует связь между переменными.

Выводы

Таким образом, по данным концентрации мелкодисперсных частиц PM_{2.5} и метеорологических параметров (относительной влажности), полученным от сообщества, созданного в рамках фонда открытых знаний Германии, удалось установить следующее:

1. Значения относительной влажности, полученные с помощью цифрового комбинированного датчика BME280, показывают сезонную картину её изменения. Так, для всего периода измерения наблюдаются следующие изменения её значений относительно сезона года: зимой и осенью среднее значение превышает 75 %, летом, весной - среднее значение не превышает 58 %.

2. Концентрация пылевых частиц PM_{2.5} при значениях относительной до 60% влажности имеет коэффициент корреляции $R^2 = 0,797$ (высокую корреляцию), при увеличении относительной влажности коэффициент корреляции $R^2 = 0,0723$ стремится к нулю – отсутствует связь между переменными. При этом увеличивается разброс значений относительно среднего (среднеквадратичное отклонение), показания становятся менее точными, происходит завышение концентрации.

Литература

1. Järnskog I., Jaramillo-Vogel. D., Rausch J., Gustafsson M., Strömvall A., Andersson-Sköld Y. Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment // Environment International. 2022. Vol. 170. 107618. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107618.

2. Dunea D., Iordache S., Liu HY, Bohler T., Pohoata A., Radulescu C. Quantifying the impact of PM_{2.5} and associated heavy metals on respiratory health of children near metallurgical facilities // Environmental science and pollution research international. 2016. Vol. 23. №15. pp. 15395–15406. DOI: 10.1007/s11356-016-6734-x.

3. Balaram S., Dipayan C. Combined effect of occupational dust exposures and cigarette smoking on pulmonary function of adults of tripura-a north eastern state of India // International journal of scientific research. 2023. Vol. 12. № 6. DOI: 10.36106/ijsr.

4. Козловцева Е.Ю., Мартынова Е.В., Кленин И.С., Гаврилова Н.С., Казанкова А.А., Дериченко А.В. Исследование характеристик качества внутреннего воздуха на примере учреждения высшего образования // Инженерный вестник Дона. 2022. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7391.

5. Jayaratne R., Liu X., Ahn K.H., Asumadu-Sakyi A., Fisher G., Gao J., Mabon A., Mazaheri M., Mullins B., Nyaku M., Ristovski Z., Scorgie Y., Thai P., Dunbabin M., Morawska L. Low-cost PM_{2.5} Sensors: An Assessment of their Suitability for Various Applications // Aerosol and Air Quality Research. 2020. Vol. 20. № 3. DOI: 10.4209/aaqr.2018.10.0390.

6. Lezina E., Misyurev M. Ambient air quality measurements in a large city: existing solutions, new opportunities and challenges // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2192. DOI: 10.1088/1742-6596/2192/1/012031.

7. Khan M., Khan N., Skibniewski M.J., Park C. Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercubic Technique // Sustainability. 2021. Vol. 13. №14. 7797. DOI: doi.org/10.3390/su13147797.

8. Литвинова Н.А., Азаров В.Н., Мартынова Е.В., Тумасян С.А., Медведева Я. Е., Гаврилова Н.С. Исследование пылевого фактора в жилых помещениях многоэтажного студенческого общежития // Инженерный вестник Дона. 2021. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7196.

9. Caplin A., Ghandehari M., Lim C., Glimcher P., Thurston G. Advancing environmental exposure assessment science to benefit society // Nature Communications. 2019. Vol. 10. №1. DOI: 10.1038/s41467-019-09155-4.

10. Caubel J.J., Cados T.E., Preble C.V., Kirchstetter T.W. Caubel, J.J., Cados T.E., Preble C.V., Kirchstetter, T.W. A Distributed Network of 100 Black Carbon Sensors for 100 Days of Air Quality Monitoring in West Oakland, California // *Environmental Science and Technology*. 2019. Vol. 53. №13. DOI: 10.1021/acs.est.9b00282.

11. Schwarz A.D., Meyer J., Dittler A. Opportunities for Low-Cost Particulate Matter Sensors in Filter Emission Measurements // *Chemical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 41. №9. pp. 1826-1832. DOI: 10.1002/ceat.201800209.

12. Kulakova E., Muravyova E. Technical Solution for Monitoring Climatically Active Gases Using the Turbulent Pulsation Method // *Sensors*. 2023. Vol. 23. №20. DOI: doi.org/10.3390/s23208645.

References

1. Järllskog I., Jaramillo-Vogel. D., Rausch J., Gustafsson M., Strömvall A., Andersson-Sköld Y. *Environment International*. 2022. Vol. 170. 107618. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107618.

2. Dunea D., Iordache S., Liu HY, Bohler T., Pohoata A., Radulescu C. // *Environmental science and pollution research international*. 2016. Vol. 23. №15. pp. 15395–15406 DOI: 10.1007/s11356-016-6734-x.

3. Balaram S., Dipayan C. *International journal of scientific research*. 2023. Vol. 12. № 6. DOI: 10.36106/ijsr.

4. Kozlovceva E.Ju., Martynova E.V., Klenin I.S., Gavrilova N.S., Kazankova A.A., Derichenko A.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2022. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7391.

5. Jayaratne R., Liu X., Ahn K.H., Asumadu-Sakyi A., Fisher G., Gao J., Mabon A., Mazaheri M., Mullins B., Nyaku M., Ristovski Z., Scorgie Y., Thai P., Dunbabin M., Morawska L. *LAerosol and Air Quality Research*. 2020. Vol. 20. № 3. DOI: 10.4209/aaqr.2018.10.0390.



6. Lezina E., Misyurev M. Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2192. DOI: 10.1088/1742-6596/2192/1/012031.
7. Khan M., Khan N., Skibniewski M.J., Park C. Sustainability. 2021. Vol. 13. №14. 7797. DOI: doi.org/10.3390/su13147797.
8. Litvinova N.A., Azarov V.N., Martynova E.V., Tumasjan S.A., Medvedeva Ja. E., Gavrilova N.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7196.
9. Caplin A., Ghandehari M., Lim C., Glimcher P., Thurston G. Nature Communications. 2019. Vol. 10. №1. DOI: 10.1038/s41467-019-09155-4.
10. Caubel J.J., Cados T.E., Preble C.V., Kirchstetter T.W. Caubel, J.J., Cados T.E., Preble C.V., Kirchstetter, T.W. Environmental Science and Technology. 2019. Vol. 53. №13. DOI: 10.1021/acs.est.9b00282.
11. Schwarz A.D., Meyer J., Dittler A. Chemical Engineering and Technology. 2018. Vol. 41. №9. pp. 1826-1832. DOI: 10.1002/ceat.201800209.
12. Kulakova E., Muravyova E. Sensors. 2023. Vol. 23. №20. DOI: doi.org/10.3390/s23208645.