

Раздел 5. Современные инновации и технологии

УДК 628.511.1

DOI 10.37279/2519-4453-2021-4-122-127

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАССЕЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Азаров В.Н.¹, Козловцева Е.Ю.², Евтушенко А.И.³, Перницкий А.Д.⁴, Брехов А.А.⁵,
Товаренко Е.А.⁶

¹ Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, 1. e-mail: azarovpubl@mail.ru

² Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, 1. e-mail: elenakozlovitseva@gmail.com.

³ Донской государственный технический университет (ДГТУ). 344003, г. Ростов-на-Дону,
пл. Гагарина, 1; e-mail: a.evtushenko@mail.ru

⁴ Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, 1; e-mail: al_pernitsky@mail.ru

⁵ Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, 1; e-mail: bpm3@bk.ru

⁶ Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, 1; e-mail: ka.ti.tovarenko@gmail.com

Аннотация. Метод «рассечения», который применен в данной статье при анализе дисперсного состава пыли, имеющей различное происхождение, в атмосферу, позволяет представить результаты доли мелких фракций пыли, выявить законы их распределения. В статье мы предлагаем использовать этот метод для анализа дисперсного состава пыли на примере города Волгограда.

Ключевые слова: пыль, фракция, диаметр рассечения, метод рассечения, загрязнение воздуха, твердые взвешенные частицы.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение воздуха остается серьезной проблемой во многих городах, главными причинами являются такие источники загрязнения, как промышленность, движение транспорта, природная пыль и морская соль и источники органического происхождения.

Как и во многих крупных городах, особенно в городах с плотной городской застройкой, в Волгограде также существуют проблемы с загрязнением воздуха. На воздух крупных городов влияет загрязнение из таких источников, как промышленные процессы, электростанции, транспортные выбросы и переносимая ветром природная пыль. Город часто остается окруженным плотным слоем стойкого тумана, который сохраняется особенно летом, и жители и гости города очень обеспокоены воздействием взвешенных частиц выхлопных газов на здоровье, будь то дизельные или бензиновые двигатели, которые в первую очередь являются источниками черного дыма или постоянного смога.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, в результате воздействия автомобильных выхлопных газов людей погибает преждевременно больше, нежели по причине автомобильных аварий [1]. Выбросы загрязняющих веществ в развивающихся странах постоянно увеличиваются, и по мере снижения качества воздуха в городах риск для здоровья человека становится еще выше [1].

Частицы существуют в атмосфере в различных формах, от субмикронных аэрозолей до четко видимых крупинки пыли и песка. Выбросы химических загрязнителей и пылевых частиц в воздух зависят от конкретных источников выбросов. Кроме того, на химический состав пыли в воздухе влияют сосуществующие загрязнители в воздухе и продукты их превращения (вторичные химические реакции), поскольку на частичках пыли существует поверхностная адсорбция. Во многих исследованиях было указано, что в частичках пыли присутствуют частицы тяжелых металлов и углеводородов.

Особую угрозу качеству воздуха и здоровью человека представляет мелкая фракция твердых частиц (ТЧ) с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм, находящихся во взвешенном

состоянии – твердые взвешенные частицы (ТВЧ). ТВЧ – это загрязнитель воздуха, состоящий из очень мелких твердых частиц и капель жидкости, содержащих кислоты, органические химические вещества, переходные металлы и частицы пыли, которые находятся во взвешенном состоянии. Их содержание в воздухе является результатом баланса между выбросом пыли и количеством пыли, удаляемой из воздуха. Пыль обычно характеризуется диаметром от нанометров (нм) до нескольких десятков микрометров (мкм).

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Российскими и зарубежными учеными проводятся разные исследования для оценки переносимой по воздуху пыли путем отбора проб частиц, задержанных воздушными фильтрами и улавливаемых лазерными счетчиками в больших городах. При отборе пылевых частиц на фильтры пробы анализируются методами оптической микроскопии.

Так, учеными Мехико были проанализированы частицы пыли, которые попали в воздушные фильтры *Clean Air Filter (CAF)* [2]. Таким образом, были проанализированы твердые частицы (ТЧ), уловленные внутри фильтрующих волокон. Оптическая микроскопия показала, что пыль содержит органические вещества: остатки насекомых и растений, и неорганические вещества: кварцевый песок, пластмассы, полистирол и другие. Частицы пыли были классифицированы по размеру - от 10 мкм до 76 мкм. Таким образом, ТЧ больших городов классифицируются в основном агломерированными частицами и мелкими частицами (агломерация - от лат. *agglomeratio* — присоединяю, накопляю). Агломераты были механически разрушены, затем определены основные химические элементы такие, как *C, O, Si, Al, Ca* и *Fe* [2]. Частицы пыли часто ассоциировались с агломерированными ТЧ: состав был также проанализирован, и на поверхности был обнаружен, среди прочего, *Pt*. Эта работа подтверждает, что метод рассеечения - это актуальный и адекватный подход для дальнейших оценок качества городского воздуха.

В исследовании [2] говорится, что фильтры *CAF* улавливают смесь атмосферных частиц, которые можно применять для мониторинга городского воздуха. Таким образом, доступность большого количества фильтров и активность, связанная с движением автотранспорта по маршрутам, подчеркивает то, что эти исследования очень полезны для изучения зон с высоким уровнем выбросов транспортных средств в городе. Фильтры захватывают сложную смесь частиц пыли неправильной формы, которые различаются по форме, размеру и плотности.

В работе [3] содержание металлов в твердых частицах в воздухе измерялось два раза в месяц с целью определения источников и изменчивости атмосферных выбросов в городе Ла-Плата (Аргентина). Концентрации следов металлов коррелировались с поведением концентраций общего количества взвешенных частиц: с более высокими концентрациями в течение дня на центральной стационарной станции наблюдения и с более низкими концентрациями на станциях, расположенных в жилой зоне. Также была выявлена сезонная закономерность: концентрации увеличивались в зимние месяцы и уменьшались весной-летом. Анализ пыли показал преобладание антропогенных источников по сравнению с естественными источниками элементов. Важность изучения антропогенных источников подчеркивают высокие показатели таких химических элементов как *Pb, Zn, Cd* и *Cu* [3].

Многочисленные исследования по оценке дисперсного состава пыли, которая содержится в выбросах промышленных производств [4], проведенных при помощи методики микроскопического анализа [5], подтверждают тот факт, что на вид кривой, которая описывает функцию прохода, оказывает влияние доля частиц крупных фракций, не смотря на то, что мелкие фракции превосходят по количественному составу [6]. Также необходимо подчеркнуть, что присутствие в пробе крупных фракций непостоянно, т.е. носит случайный характер [7]. Данное наблюдение хорошо проиллюстрировано различными дифференциальными кривыми распределения числа и массы частиц по диаметрам [8].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мониторинг уровня запыленности атмосферного воздуха [9] практически не представляет возможным определить долю мелких частиц, поэтому при исследовании дисперсного состава пыли предлагается «рассечение», для того, чтобы оценить совокупность частиц крупных и мелких

фракций с раздельным построением функций прохода для них, т.е. применять метод «рассечения» [10].

В данной работе анализируется пыль, присутствующая в атмосфере около торгового центра, а также пыль, присутствующая внутри торгового центра, в Волгограде (ТЦ «Ворошиловский»). Находящийся в помещениях торгового центра персонал и посетители постоянно дышат воздухом, содержащим ТВЧ. Пыль в данном случае является суммой пыли, попадающей с улицы, а также присутствующей в здании пыль. Анализ дисперсного состава частиц пыли был проведен при помощи микроскопического метода [5], результатом являются интегральные кривые, представленные на рис. 1 и рис. 3.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для анализа методом «рассечения» необходимо классифицировать частицы: частицы диаметром менее 10 мкм классифицируются как PM_{10} , частицы диаметром менее 2,5 мкм определяются как $PM_{2,5}$ или мелкие частицы, частицы с диаметром от PM_{10} до $PM_{2,5}$ известны как грубая фракция. Мелкие частицы очень эффективно рассеивают свет и поэтому играют важную роль в ухудшении видимости. Они также способны проникать глубоко в дыхательную систему человека и могут всасываться в кровь, нарушая газообмен кислорода в альвеолярной области легких. Самые маленькие и самые многочисленные частицы имеют диаметр $< 0,1$ мкм и известны как ультрамелкие частицы. Как мелкие, так и ультратонкие частицы являются серьезной проблемой для здоровья человека. Воздействие ТЧ в окружающем воздухе связано с различными последствиями для здоровья: от умеренных изменений в дыхательных путях и нарушения функции легких, к повышенному риску появления симптомов, требующих оказания неотложной помощи или стационарного лечения, до повышенного риска смерти от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, или рака легких.

При методе рассечения рассматривают отдельно мелкие и крупные фракции, т.е. интегральную функцию распределения массы частиц по диаметрам заменяем на две: одна интегральная кривая D_m – для мелких фракций, другая $D_{кр}$ – для крупных фракций [10-11]. Таким образом, возникает вопрос, где же проходит граница, которая разделяет генеральную совокупность пылевых частиц на мелкие и крупные частицы. Диаметр рассечения может быть выбран несколькими методами, но на данный момент пока не сформирован единый подход к определению этой границы [11].

Для проведения анализа частиц пыли, присутствующих внутри торгового центра, проведем рассечение по диаметру 10 мкм (для удобства проведения расчёта и точного отображения полученных результатов).

Функцию прохода для совокупности мелких фракций для пыли $D_m(d_q)$ опишем следующей математической зависимостью, где d_p – диаметр рассечения, d_q – диаметр частицы:

$$D_m(d_p) = \begin{cases} \frac{100}{D(d_p)} D(d_q), & \text{если } d_q \leq d_p \\ 0, & \text{если } d_q > d_p \end{cases} \quad (1)$$

для крупных фракций выражение имеет вид:

$$D_{кр}(d_q) = \begin{cases} 0, & \text{если } d_q \leq d_p \\ 100 - \left[100 \frac{100 - D(d_q)}{100 - D(d_p)} \right], & \text{если } d_q > d_p \end{cases} \quad (2)$$

Далее мы построили интегральные функции распределения массы частиц отдельно для пыли до 10 мкм и пыли более 10 мкм. Проведем это «рассечение» для каждой из кривых рисунка 1 и представим полученные значения интегральных функций распределения массы частиц по диаметрам (ИФРМЧД) на рисунке 2.

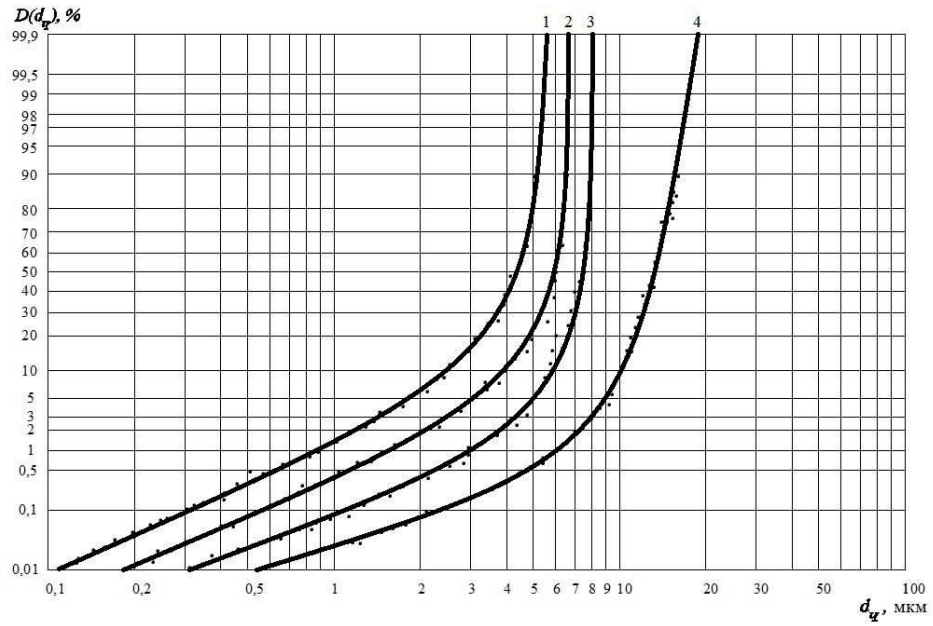


Рис. 1. Результаты исследования дисперсного состава частиц пыли, присутствующей в воздухе торгового центра в городе Волгограде: 1-4 – ИФРМЧД

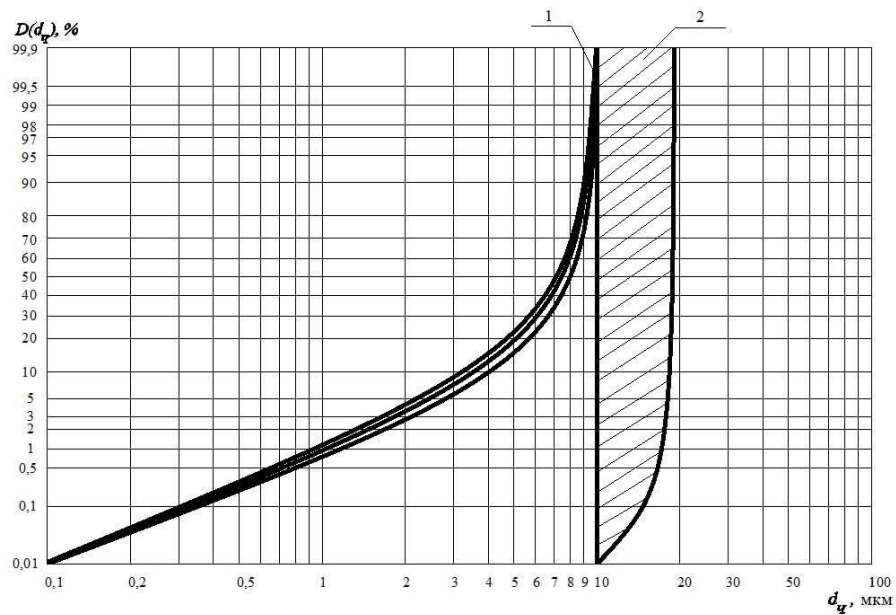


Рис. 2. ИФРМЧД в воздухе торгового центра в городе Волгограде:
1 – для мелких частиц; 2 - вероятностный коридор распределения крупных фракций

Те же операции были проведены для частиц пыли, присутствующей в атмосфере около торгового центра, рассечение проведем по диаметру 20 мкм. Результаты представлены на рисунке 3 и рисунке 4.

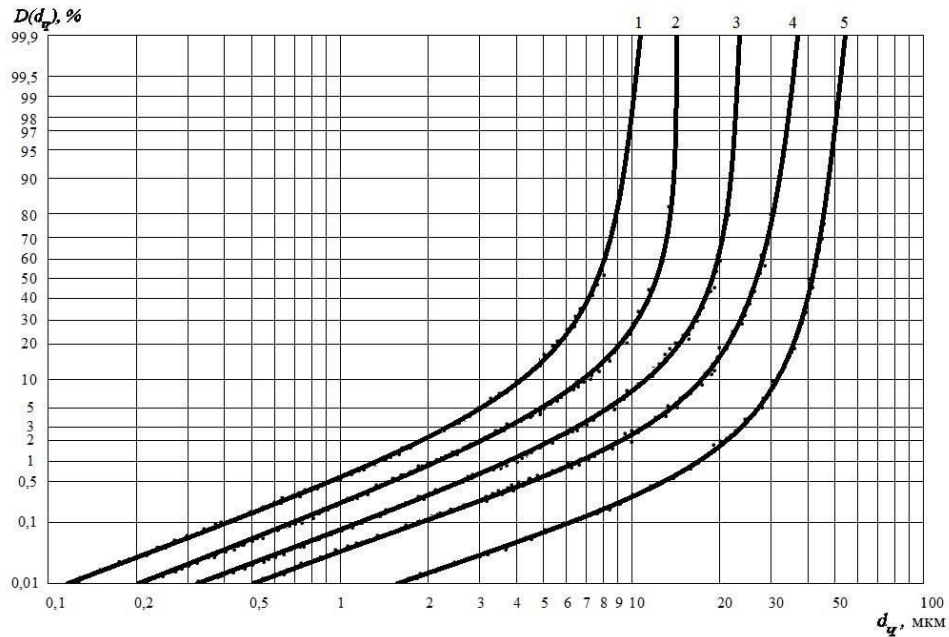


Рис. 3. Результаты исследования дисперсного состава частиц пыли, присутствующей в атмосфере около торгового центра: 1-5 – ИФРМЧД

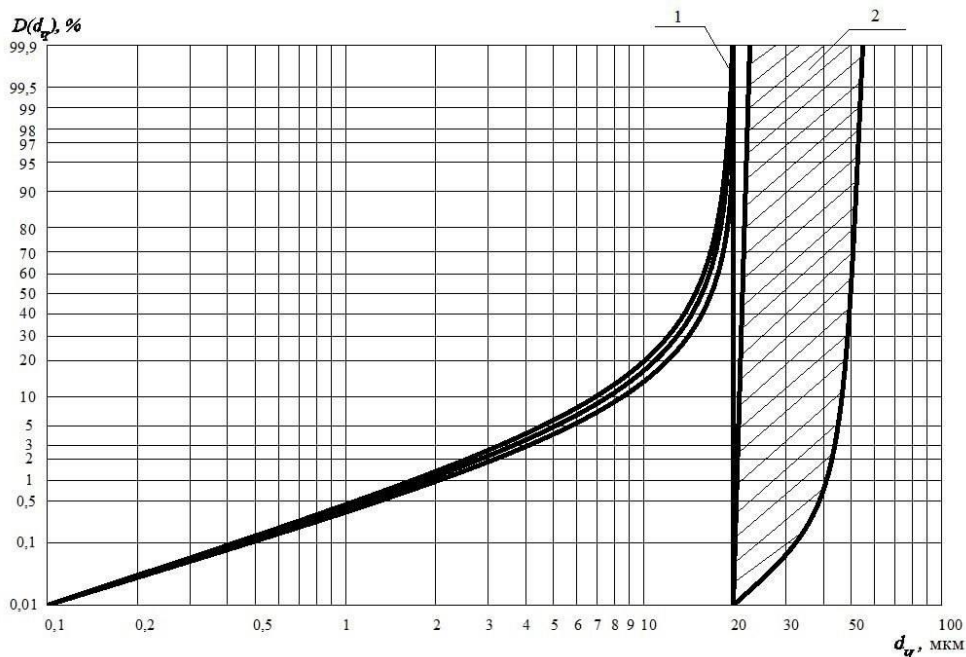


Рис. 4. ИФРМЧД в воздухе торгового центра в городе Волгограде:
1 – для мелких частиц; 2 - вероятностный коридор распределения крупных фракций

ВЫВОДЫ

Таким образом, мелкая пыль, содержащаяся в воздухе торгового центра и рядом с ним в атмосфере, может быть описана детерминированной кривой, а совокупность крупных частиц - вероятностным коридором их распределения. После проведения метода рассеяния из графика можно определить концентрации пыли PM_{10} и $PM_{2.5}$. Полученные результаты делают возможным использование их для обеспечения задач экологической безопасности на территории торговых центров и прилегающих территорий.

Размер частиц или аэродинамический диаметр не только определяет происхождение частиц, их перенос в атмосфере, но и то, как они оседают в дыхательной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирная организация здравоохранения, 2018 г.
2. Rodriguez, Martin & Rivera, Birmania & Rodriguez-Heredia, Melvin & Heredia, Birmania & Segovia, Rodolfo. (2019). A study of dust airborne particles collected by vehicular traffic from the atmosphere of southern megalopolis Mexico City. *Environmental Systems Research*. 8. 10.1186/s40068-019-0143-3.
3. Bilos C., Colombo J.C., Skorupka C.N., Rodriguez Presa M.J. Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina. *Environ Pollut*. 2001; 111(1):149-58. – doi: 10.1016/s0269-7491(99)00328-0. – PMID: 11202709.
4. Азаров В.Н., Есина Е.Ю. О дисперсном составе пыли в системах обеспыливающей вентиляции строительных производств // *Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура*. 2008. – Вып. 11(30). – С. 119-122.
5. Азаров В.Н., Юркьян О.В., Сергина Н.М., Ковалева А.В. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) // *Законодательная и прикладная метрология*. 2004. – №1. – С. 46-48.
6. Николенко М.А., Неумержицкая Н.В., Сергина Н.М., Белоножко М.В. О результатах оценки воздействия на качество атмосферного воздуха и об определении необходимой степени очистки пылевых выбросов асфальтобетонных заводов // *Инженерный вестник Дона*, 2015, – №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3191/.
7. Азаров В.Н., Жемчужный А.М. Оценка вероятности появления крупных частиц при дисперсном анализе пыли в системах аспирации [Текст] / В.Н. Азаров, А.М. Жемчужный // *Всероссийская научная конференция «Аэрозоли в промышленности и в атмосфере»*. Пенза: ПДНТП, 2001. – С. 61.
8. Азаров В.Н., Николенко М.А., Кошкарёв С.А. Снижение выбросов систем обеспыливания с использованием дисперсионного анализа пыли в стройиндустрии [Текст] / В.Н. Азаров, М.А. Николенко, С.А. Кошкарёв // *Инженерный вестник Дона*, 2015, – Вып. 1. – Ч. 2.
9. Pasquill F. Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling: Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values. EPA-600/4-76-030b. U.S. Environmental Protection Agency. 1976. 44 p.
10. Азаров В.Н., Тетерева Е.Ю., Маринин Н.А. Метод «рассечения» как способ оценки дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах строительных производств [Текст] / В.Н. Азаров, Е.Ю. Тетерева, Н.А. Маринин // *Международная научная конференция «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды»*. Самарканд-Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. – С. 120-126.
11. Азаров В.Н., Есина Е.Ю., Азаров А.В. Применение метода «рассечение» при анализе дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны предприятий стройиндустрии и машиностроения [Текст] / В.Н. Азаров, Е.Ю. Есина А.В., Азаров // *Международная научная конференция «Машиностроение и техносфера XXI века»*. Донецк: ДонГТУ, 2009. – Т.1. – С. 30-33.

THE USE OF "SECTIONING" METHOD IN ANALYSIS OF DISPERSE STRUCTURE OF DUST OF THE URBAN ENVIRONMENT

¹Azarov V.N., ²Kozlovtsseva E.Yu., ³Evtushenko A.I., ⁴Pernitsky A.D., ⁵Brekhov A.A.,
⁶Tovarenko E.A.

^{1,2,4,5,6}Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

³Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. "Sectioning" method, which is used in this article in the analysis of the dispersed composition of dust, which has a different origin, into the atmosphere, allows you to present the results of the fraction of fine dust fractions, to identify the laws of their distribution. In the article we propose to use this method to analyze the dispersed composition of dust on the example of the city of Volgograd.

Keywords: dust, fraction, dissection diameter, dissection method, air pollution, solid suspended particles.