

УДК 614.715

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛЬЮ РАБОЧИХ МЕСТ ПРИ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТАХ

Моисеенко А. Ю.¹, Батманов В.П.², Кленин И.С.³, Давудов Р.И.⁴

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г.

Волгоград, ул. Академическая, 1;

¹e-mail: alla_babskaya@mail.ru, ² e-mail: vbatmanov@mail.ru, ³e-mail: Kleninivan01@mail.ru ,

⁴e-mail :ravan.davudov@rambler.ru

Аннотация: В данной статье с помощью микроскопического метода и программы SpotExplorer были получены экспериментальные значения интегральной функции распределения массы частиц по диаметру при отделочных работах в жилом помещении.

Ключевые слова: аппроксимация, концентрация твердых частиц, корреляция, диаметр частиц, пыль, микроскопическим методом, дисперсность, распределение массы частиц.

ВВЕДЕНИЕ

Атмосфера вне помещения часто контролируется, и ее можно рассматривать как единственный источник вдыхаемых токсинов; тем не менее, люди проводят больше времени в закрытых помещениях, как на работе, так и дома. Это оказывает значительное влияние на людей и их здоровье и качества жизни и может быть причиной увеличения числа отмеченных заболеваний как у молодых, так и у людей среднего возраста. Это связано с тем, что в долгосрочной перспективе пребывание в помещении дома и на работе способствует повышенному воздействию токсичных и вредных веществ. В атмосфере внутри помещения эти вещества откладываются на различных поверхностях вместе с другими компонентами, такими как споры плесени, клещи, их экскременты или выделения. Эти вещества могут попадать в организм человека при выполнении обычных повседневных задач с использованием предметов, на которых они отложились или поглощены [1-2].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Основной базой исследования являются фундаментальные и прикладные исследования ученых, посвященные проблеме загрязнения воздуха рабочей зоны пылью. В процессе исследования существующих литературных источников, был осуществлен анализ научных публикаций таких, ученых как Коузов П.А., Скрябина Л.Я., Бобровников Н.А., Богуславский Е.И., Бруевич А. Н., Евтянов С. И, Азаров В.Н. [1, 2, 3].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель статьи - обосновать алгоритм аппроксимации интегральной функции распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам дисперсного состава пыли.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Нами были проведены исследования загрязнения рабочей зоны при штроблении стен. Отбор проб проводился после часа от начала строительных работ. Забор пыли был произведен на расстоянии от пола 1,5 метра и в семи самых запыленных участках помещения. По данным полученных эмпирическим методом, можно сделать вывод, что РМ 2,5 не превышает 0,75% от общей массы, а РМ 10 не превышает 40 % от общей массы [3].

С помощью микроскопического метода и программы SpotExplorer мы получали экспериментальные значения интегральной функции распределения массы частиц по эквивалентному диаметру (Рисунок – 1, ИФРМЧД для первой комнаты). По оси абсцисс отложены значения диаметров частиц ($d_1, d_2, d_3 \dots d_N$) и, соответственно, логарифмы диаметров ($x_1, x_2, x_3 \dots x_N$), а по оси ординат представлены квантили интеграла вероятностей от значений ИФРМЧД ($D_1, D_2, D_3 \dots D_N$) и, соответственно, значения ИФРМЧД ($y_1, y_2, y_3 \dots y_N$). А также получили

таблицу Excel, именуемые как «Сводка», откуда мы взяли необходимые данные, а именно диаметр частиц(d) и их доли (D) (Таблица - 1 Данные для комнаты).

Таблица 1.
Данные для комнаты, где проходит штробление стен.

| X | d | D | Y |
|----------|----------|-------------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0,231641 | 1,704672 | 0,009505839 | 3 |
| 0,563745 | 3,662222 | 0,156939997 | 2,96 |
| 0,626214 | 4,22877 | 0,201809372 | 2,86 |
| 0,656563 | 4,534851 | 0,247585712 | 2,82 |
| 0,691381 | 4,913387 | 0,305188726 | 2,74 |
| 0,723124 | 5,285963 | 0,390964389 | 2,66 |
| 0,761262 | 5,771148 | 0,471520904 | 2,59 |
| 0,799879 | 6,307817 | 0,567656469 | 2,53 |
| 0,840888 | 6,932475 | 0,756887257 | 2,43 |
| 0,874506 | 7,490416 | 1,026710185 | 2,32 |
| 0,926564 | 8,444315 | 1,312526133 | 2,22 |
| 0,964561 | 9,216391 | 1,805988138 | 2,09 |
| 0,995901 | 9,906069 | 2,375922937 | 1,98 |
| 1,040866 | 10,98667 | 2,893055276 | 1,9 |
| 1,074339 | 11,86696 | 3,711741554 | 1,78 |
| 1,142926 | 13,89716 | 5,04073297 | 1,64 |
| 1,175968 | 14,99575 | 6,651335613 | 1,5 |
| 1,19576 | 15,69495 | 8,553855382 | 1,37 |
| 1,222079 | 16,67552 | 10,86460586 | 1,24 |
| 1,251424 | 17,8412 | 12,76495086 | 1,14 |
| 1,291167 | 19,55092 | 15,31668478 | 1,02 |

Посмотрим аппроксимацию кривую на примере пыли, взятой с комнаты, где проходило штробление стен. Для начала разобьем нашу кривую на 3 участка, из них две прямые и одна парабола для этого примем узловые точки, для этого примем узловые точки $X_0=1$ ($d=10$ мкм) и $X_{кр}=1,63$ ($d=43$ мкм) для согласования наших трех участков. Тогда для каждой i -той частицы разделится на 3 группы на первом участке все x_i , такие что $x_i < x_0$, на втором участке все x_i , такие что $x_0 \leq x_i < x_{кр}$, на третьем участке все x_i , такие что $x_i \geq x_{кр}$. значения являющимися координатами вектора y находим, как обратную функцию от интеграла вероятности.

Теперь, опишем каждый из участков функцией, где k_1, k_2, k_3 коэффициенты характеризующие прямые и параболу наклона прямых, запишем уравнение аппроксимации для каждой частиц.

Имеем уравнение ломаной, которое описано системой уравнений для частиц на каждом из трех участков [4-5].

$$\begin{aligned}
 y_i &= y_0 + k_1(x_i - x_0) + \epsilon_i, \text{ при } x_i < x_0, \\
 y_i &= y_0 + k_2(x_i - x_0) + \epsilon_i, \text{ при } x_0 \leq x_i \\
 y_i &= y_0 + k_2(x_{кр} - x_0) + k_3(x_i - x_{кр})^2 + \epsilon_i, \text{ при } x_i \geq x_{кр}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Теперь для нахождения аппроксимационной ломанной нам требуется найти 4 параметров: y_0, k_1, k_2, k_3 . Это вектор Θ тогда систему уравнений (1) можно свести к нахождению вектора Θ удовлетворяющей $y = F \cdot \Theta + E$ при котором сумма квадратов координат вектора E будет минимальной [6-7].

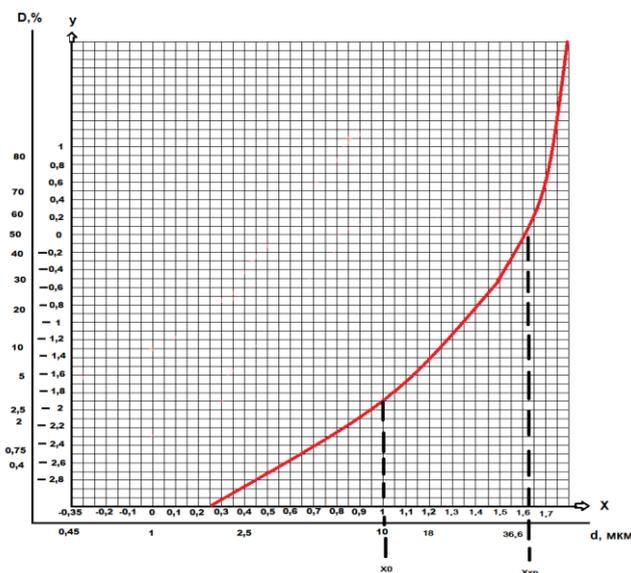


Рис. 1. ИФРМЧД для комнаты, где проходит штробление стен

$$\Theta = \begin{pmatrix} y_0 \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Решение данной сводится к тому, что нам нужно найти вектор
Где E- вектор отклонений будет минимален.

В нашем случае матрица Ф будет иметь вид. Решение

$$\Theta = (F^T * F)^{-1} F^T * Y \quad (3)$$

Где F^T – транспонированная матрица F

$(F^T * F)^{-1}$ – обратная матрица произведения матрицы F и F транспонированной

Вектор Y составляем с помощью справочника обратной функции от интеграла вероятности [8-9]. Для соответствующего численного значения D подставляем значения из справочника и получаем вектор Y (Таблица - 1).

Теперь для решения данной задачи нам нужно составить матрицу F (Таблица – 2).

Все элементы первого столбца равны единице [10]. Элементы второго столбца равны разности $\lg(d) - \lg(X_0)$. Столбец заполняется значениями разности до значения точки согласования прямых (X_0).

Элементы третьего столбца равны разности $\lg(d) - \lg(X_{кр})$, а последние два значения $\lg(X_{кр}) - \lg(X_0)$. Элементы столбца, соответствующие значениям первого участка принимают значение равное 0, а в интервале от X_0 до $X_{кр}$ заполняется разностью логарифмов.

Элементы четвертого столбца равны разности логарифмов $\lg(d) - \lg(X_{кр})$. Элементы столбца, соответствующие значениям первого и второго участка принимают значение равное 0.

Общий вид матрицы F:

$$\begin{pmatrix} 1 & X_1 + X_0 & 0 & 0 \\ 1 & X_2 + X_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & X_n + X_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & X_{n+m} + X_0 & 0 \\ 1 & 0 & X_{кр} + X_0 & (X_{n+m+1} - X_{кр})^2 \\ 1 & 0 & X_{кр} + X_0 & (X_n + X_{кр})^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

После выполнения выше приведенных математических операций, мы получаем вектор Θ . Затем, имея значение вектора Θ , мы можем найти значение вектора y, подставив все данные в формулу: $y = F * \Theta + E$. Таким образом, получаем вектор y (Таблица 1). Далее для построение графика нам требуется значения X, чтобы его найти, нужно прологарифмировать значения диаметра (d) $X = \lg(d)$ [11-12]. Теперь, зная значения X и Y (Таблица 1), мы можем построить график интегральной функции распределения массы частиц по диаметру после аппроксимации (Рисунок 2).

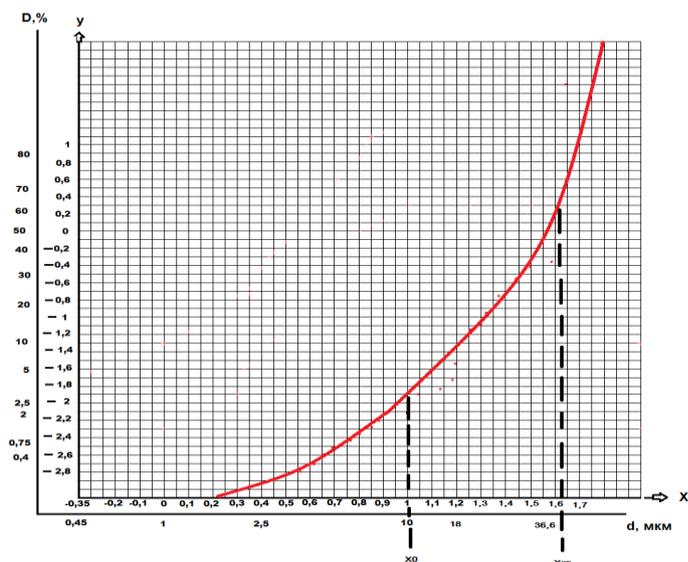
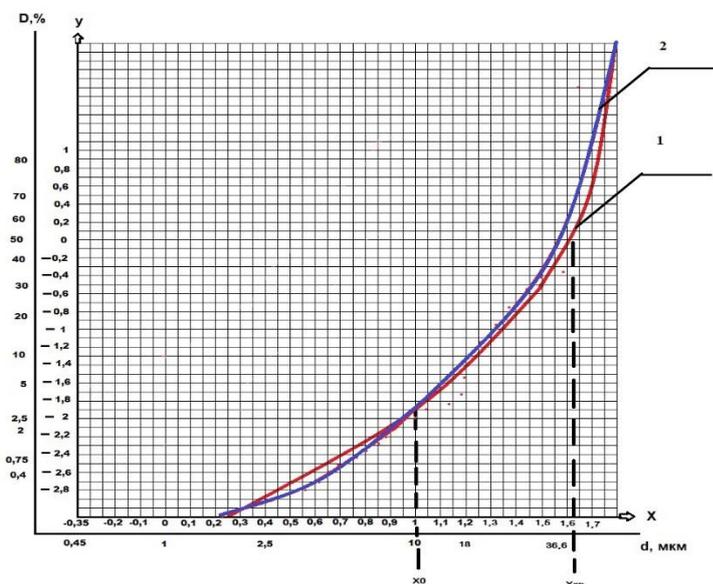


Рис. 2. График интегральной функции распределения массы частиц по диаметру после аппроксимации.



1- Теоретическая кривая; 2- Экспериментальные данные

Рис. 3. Общий график интегральной функции распределения массы частиц по диаметру после аппроксимации и с экспериментальными данными.

ВЫВОДЫ

Представлен алгоритм аппроксимации интегральной функции распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам дисперсного состава пыли. Коэффициент корреляции экспериментальных данных полученных аппроксимацией составил 0,956.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров, В.Н. Об исследовании загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью с использованием аппарата случайных функций [Текст] / В.Н. Азаров, Н.С. Барикаева, Д.А.Николенко, Т.В. Соловьева // Инженерный вестник Дона. – 2015. – (ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350).
2. Азаров, В.Н. О совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде [Текст] / В.Н. Азаров, В.А. Ребров, Е.Ю. Козловцева, А.В. Азаров Д.Р. Добринский, И.В. Тертишников, И.В. Поляков, Б.А. Абухба // Инженерный

вестник Дона, Дона – 2018. – (ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/4976).

3. Азаров, В. Н. Исследование скорости оседания кремниевой пыли методом VFB [Текст] / В. Н. Азаров, Д. Р. Добринский., А. А. Сахарова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. – Вып. 4(81). – С. 127—138.

4. Азаров, В.Н. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в воздушной среде [Текст] / В.Н. Азаров, И.В. Тertiшников., Е.А. Калюжина., Н.А. Маринин // Вестник ВолГАСУ, сер. Строительство и архитектура.- 2011. – Вып.25 (44). – С. 402-407.

5. Алифанова, А. И. Исследование применимости формул для аналитического описания кривых распределения промышленных пылей [Текст] / А. И. Алифанова, Л. А. Куцев // Междунар. конф. “Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций”.– Белгород, 1995. – С. 122 – 123.

6. Козловцева, Е. Ю. Источники образования пылевых частиц при исследовании загрязнения воздушной среды помещений общественных зданий [Текст] / Е. Ю. Козловцева., Е.О. Килик // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура - 2017. – Вып. 50(69). – С. 235—244.

7. Мерщев, А. А. Моделирование загрязнения приземного слоя атмосферы аэрозолями пыли при строительстве объектов [Текст] / А. А Мерщев., К. В Гармонов //Научный вестник Воронежского государственного, архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология, 2015. – Вып.1. – С.217 – 294.

8. Методика микроскопического анализа дисперсионного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) // Перечень методик измерений концентраций загрязняющих веществ в выбросах промышленных предприятий, допущенных к применению в 2014 году. Волгоград: ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой» – СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера»; 2013. — С. 1–3.

9. Мухин, В. В. К вопросу об определении свободного диоксида кремния в различных промышленных аэрозолях при осуществлении гигиенического контроля [Текст] / В. В.Мухин, О.Н. Путилина, Н. Н. Алтухова // Український журнал з проблем медицини праці. — 2010. — Т. 21. — №1.—6. С. 43-53.

10. Щербицкая С. Б. Снижение уровня загрязнения окружающей среды при ведении строительных работ на территории города [Текст] / С. Б. Щербицкая // Вестник самарского государственного архитектурно-строительного университета. Градостроительство и архитектура. – 2014.— Вып. 2. С 77 – 84.

11. Latorre Rovirosa Miquer S.A., Tornos Casanovas Mireia. Изучение рассеяния атмосферных загрязнений. Studio de dispersion de contaminant atmosfericos en la planta de Els Monjos de Uniland Cementera-Cem. – hormigon, 2002. № 807. P . 115 – 128.

12. Yiqun H., Zhu T. Health effects of fine particles (PM2.5) in ambient air // Science China Life Sciences. – 2015. №58. P. 624 – 626.

INVESTIGATION OF FINE DUST CONTAMINATION OF WORKPLACES DURING FINISHING WORKS

Moiseenko A.Y., Batmanov V.P., Klenin I.S., Davudov R.I.

Volgograd State Technical University, Volgograd

Annotation. In this article, using the microscopic method and the SpotExplorer program, experimental values of the integral function of the particle mass distribution by diameter were obtained during finishing works in a residential building.

Keywords: approximation, concentration of solid particles, correlation, particle diameter, dust, microscopic method, dispersion, particle mass distribution.