

## Исследование пылевого фактора в жилых помещениях многоэтажного студенческого общежития

Н.А. Литвинова<sup>2</sup>, В.Н. Азаров<sup>1</sup>, Е.В. Мартынова<sup>1</sup>, С.А. Тумасян<sup>1</sup>, Я. Е. Медведева<sup>1</sup>, Н.С. Гаврилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет, Волгоград  
<sup>2</sup>Тюменский индустриальный университет, Тюмень

**Аннотация:** Данная статья посвящена исследованию пылевого фактора в жилых помещениях студенческого общежития при ремонтных работах, в том числе оценке закономерностей распределения твердых взвешенных частиц по эквивалентным диаметрам (PM<sub>0.5</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>5</sub> и PM<sub>10</sub>) и определению их концентраций.

**Ключевые слова:** пылевое загрязнение, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, твердые взвешенные частицы, мелкодисперсные фракции пыли, студенческое общежитие.

Твердые взвешенные частицы (ТВЧ) являются широко распространенными загрязнителями воздуха, состоящими из смеси твердых и жидких частиц, взвешенных в воздухе. ТВЧ и особенно мелкодисперсные фракции пыли оказывают значительное воздействие на человека. Показателями, которые описывают воздействие твердых взвешенных частиц на здоровье человека, являются частицы диаметром менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>), а также мелкодисперсные частицы фракцией 2,5 мкм (PM<sub>2.5</sub>).

В твердых взвешенных частицах содержатся биологические компоненты, такие как аллергены и микробные соединения [1, 2]. Исследования зарубежных ученых [3 – 5] подтверждают, что органические пары и вещества, которые адсорбируются на вдыхаемой пыли, попадая в дыхательную систему вместе с мелкодисперсными частицами, могут оседать глубоко в легких и взаимодействовать с клетками легких.

Эпидемиологические обследования показывают [2 – 4], что высокое содержание мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе может быть причиной проблем со здоровьем, таких как поражение сердечно-сосудистой системы и дыхательных путей, а также повышения общей заболеваемости и смертности [6, 7, 8].

В настоящее время проведено большое количество исследований, посвящённых изучению дисперсного состава атмосферных аэрозолей [9, 10], однако число работ на тему оценки качества воздуха в замкнутых помещениях остается недостаточным [11]. Содержание, состав и распределение по размерам взвешенных твердых частиц в воздухе помещений сильно зависят от таких факторов, как: имеющиеся в помещении источники пылевыделения, кратность воздухообмена, подвижность воздуха и относительная влажность. Кроме того, уже осевшие частицы могут быть повторно подняты в воздух в результате различных видов деятельности людей и впоследствии попасть в дыхательные пути человека [1, 3]. Поэтому исследование дисперсного состава воздуха в местах длительного нахождения людей является актуальным. Рассмотрим это на примере студенческого общежития, которое имеет свою специфику. Важно оценить концентрацию и дисперсный состав ТВЧ, так как качество внутренней среды жилища, в том числе студенческого общежития, может серьезно влиять на здоровье проживающего.

Цель работы – экспериментальное исследование вертикального распределения пылевого фактора в жилых помещениях многоэтажного студенческого общежития при проведении ремонтно-строительных работ.

Задачи исследования:

1. Провести экспериментальные исследования фракционного состава пыли по эквивалентным диаметрам ( $PM_{0.5}$ ,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_5$  и  $PM_{10}$ ) в жилых помещениях по этажам здания.
  2. Экспериментально выяснить закономерности распределения концентраций твердых взвешенных частиц по этажам здания.
  3. Построить интегральную функцию распределения массы частиц пыли по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке.
-

4. Построить графики распределения концентраций ТВЧ в логарифмической и линейной сетке и выяснить долю в процентах по этажам для различных фракций ( $PM_{0.5}$ ,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_5$  и  $PM_{10}$ ).

#### **Приборы и методы исследования**

Исследование фракционного состава пыли проводилось с помощью счётчика частиц. Для определения концентрации некоторых размеров частиц пыли, исследование воздуха в девятиэтажном здании общежития проведено с помощью счетчика частиц аэрозолей HANDHELD-3016 (рис. 1). Пробы отобраны на высоте 1,5 м в жилой комнате на каждом этаже общежития. На основе полученных данных построены интегральная функция распределения массы частиц пыли по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке (рис. 3), а также графики распределения концентраций ТВЧ в логарифмической (рис. 2а) и линейной сетке (рис. 2б).



Рис. 1. – Счетчик частиц аэрозолей HANDHELD-3016

#### **Результаты и их обсуждение**

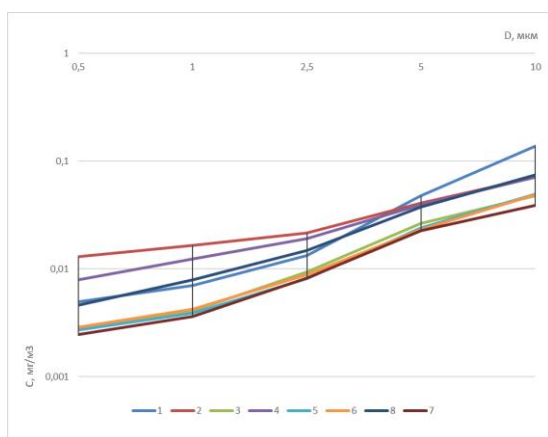
Результаты исследования фракционного состава пылевых частиц позволили оценить долю мелкодисперсных частиц пыли, в том числе  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ . Данные измерения концентрация пыли счетным методом с помощью счетчика частиц аэрозолей HANDHELD-3016 сведём в таблицу 1.

На рисунках 2а-2б представлены графики распределения концентраций твердых взвешенных частиц в логарифмической и линейной сетке, построенные на основании таблицы 1.

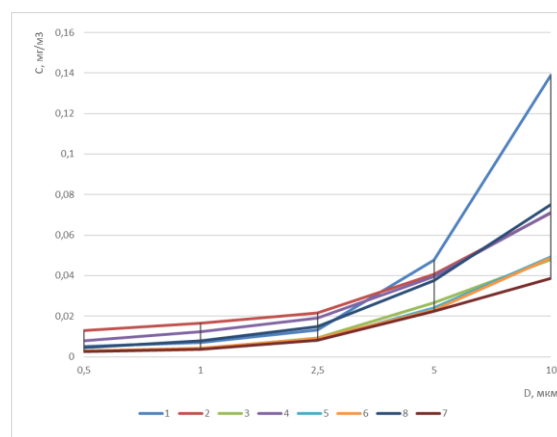
Таблица №1

Результаты исследования пылевого фактора в помещении с помощью  
счетного метода

№ этажа	Концентрация $PM_i$ , $mg/m^3$					$C_{\Sigma}$ , $mg/m^3$
	$PM_{0,5}$	$PM_1$	$PM_{2,5}$	$PM_5$	$PM_{10}$	
1	0,00495	0,00706	0,01331	0,04775	0,13902	0,18432
2	0,01296	0,01664	0,02164	0,04075	0,07093	0,07686
3	0,00278	0,00406	0,00933	0,02663	0,04789	0,06222
4	0,00794	0,01241	0,01908	0,03944	0,07123	0,08556
5	0,00272	0,00391	0,00813	0,02417	0,04932	0,05765
6	0,00287	0,00421	0,00886	0,02313	0,04888	0,0572
7	0,00246	0,00364	0,00824	0,02257	0,03876	0,04431
8	0,00463	0,00793	0,01481	0,03763	0,07507	0,09264



а)



б)

Рис. 2. – Концентрация твердых взвешенных частиц в воздухе помещения: а) график логарифмической функции, б) график линейной функции

Графики на рисунке 2 показывают, что концентрация мелкодисперсных частиц фракцией 10 мкм находится в диапазоне от 0,035 до 0,14  $mg/m^3$  (уменьшается в 4 раза до уровня последнего этажа), а концентрация частиц с эквивалентным диаметром 2,5 мкм – от 0,08 до 0,2  $mg/m^3$  (уменьшается в 2,5 раза), при этом наблюдается зависимость изменения функции на графиках от высоты этажа здания.

Это связано с тем, что крупнодисперсная пыль  $PM_{10}$  оседает на небольшие расстояния, поэтому наблюдается резкая динамика уменьшения ее концентраций по высоте здания. Наиболее мелкодисперсная пыль  $PM_{0,5}$ ,  $PM_1$  переносится воздушными потоками воздуха внутри здания на значительное расстояние от источника, но при этом она практически не осаждается.

Экспериментальные исследования показали, что значения концентрации твердых взвешенных частиц обратно пропорциональны высоте этажа измерения – наиболее высокие значения концентрации отмечены на первых этажах студенческого общежития. Зафиксированные концентрации твердых взвешенных частиц в воздухе помещений на 2, 4 и 8 этажах свидетельствует о проводимых ремонтно-строительных работах.

Сравним полученные данные с нормативными значениями максимально разовой концентрации загрязняющих веществ в воздухе. Нормативные значения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ ( $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ) в атмосферном воздухе городских и сельских поселений установлены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и отображены в таблице 2.

Таблица №2

Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений

Наименование вещества	Предельно допустимые концентрации, мг/м <sup>3</sup>			Максимальная измеренная концентрация
	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub>	ПДК <sub>с.г.</sub>	
1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	0,5	0,15	0,075	0,18432

1	2	3	4	5
Взвешенные частицы PM10	0,3	0,06	0,04	0,13902
Взвешенные частицы PM2,5	0,16	0,035	0,025	0,02164

Таким образом, концентрация дисперсных частиц, присутствующих в воздухе жилых помещений, не превышает допустимые значения максимально разовой концентрации.

На рисунке 3 представлена интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам для пыли, присутствующей в воздушной среде жилого помещения при строительных работах.

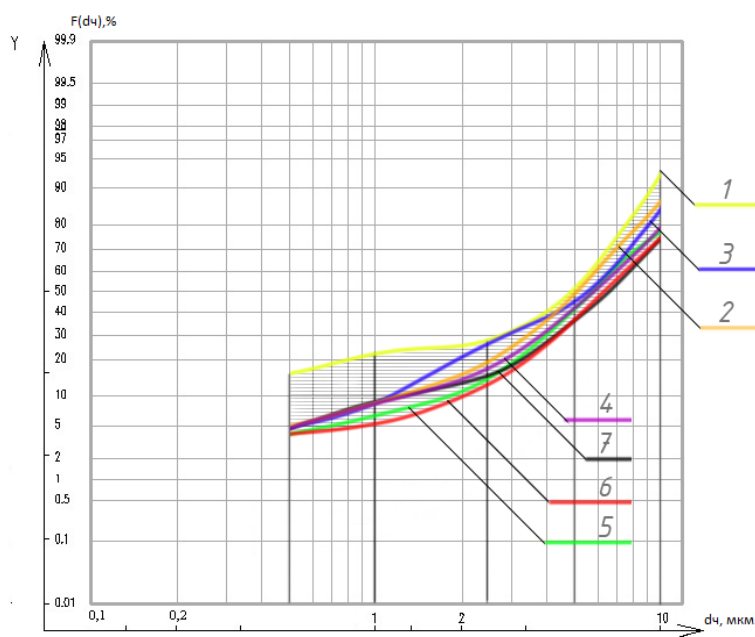


Рис. 3. - Интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам для пыли, присутствующей в воздушной среде жилого помещения при строительных работах: 1 – 2 этаж, 2 – 7 этаж, 3 – 5 этаж, 4 – 8 этаж, 5 – 3 этаж, 6 – 6 этаж, 7 – 4 этаж

Результаты дисперсного анализа (рис. 3) сведем в таблицу 3.

Анализ результатов таблицы 3 показал, что с увеличением высоты этажа в здании доля твердых взвешенных частиц исследуемых фракций уменьшается: для  $PM_{0.5}$  в 2,85 раза,  $PM_1$  в 3,42 раза,  $PM_{2.5}$  в 1,55 раз,  $PM_5$  в 1,14 раз,  $PM_{10}$  в 1,13 раз.

Таблица №3

Результаты дисперсного анализа размера пылевых частиц

№ этажа	Доля $PM_i$ , %					$d_{max}$
	$PM_{0.5}$	$PM_1$	$PM_{2.5}$	$PM_5$	$PM_{10}$	
1	20	24	28	56	94	50
2	17	22	28	53	92	45
3	11	17	25	43	77	40
4	9	15	25	46	87	50
5	6	9	14	42	86	60
6	5	8	15	40	85	55
7	5	8	19	51	83	50
8	7	7	18	49	83	53

Доля эквивалентных диаметров пыли с наиболее крупными фракциями  $PM_{10}$  на каждом этаже здания максимальна и составляет от 94% до 83%, для  $PM_5$  от 56 до 49%, мелкодисперсные частицы  $PM_{0.5}$  от 20% до 7%,  $PM_1$  от 24% до 7% (таблица 3).

### Заключение

1. Результаты дисперсного анализа пылевых частиц в воздухе жилых помещений студенческого общежития показывают, что с увеличением высоты измерения (высоты этажа здания с 1 по 8) доля твердых взвешенных частиц исследуемых фракций уменьшается: для  $PM_{0.5}$  в 2,85 раза,  $PM_1$  в 3,42 раза,  $PM_{2.5}$  в 1,55 раз,  $PM_5$  в 1,14 раз,  $PM_{10}$  в 1,13 раз.

2. С помощью счетчика частиц на уровне 1 этажа здания зафиксирована максимальная концентрация пыли фракцией 10 мкм – 0,14 мг/м<sup>3</sup>, максимальная концентрация  $PM_{2.5}$  – 0,2 мг/м<sup>3</sup>. Нормативные показатели загрязнения мелкодисперсными частицами не были превышены.

3. По построенной интегральной кривой распределения массы частиц по диаметрам для пыли, присутствующей в воздушной среде жилого помещения при наличии источника пылевыделения (ремонтно-строительные работы), доля эквивалентных диаметров пыли с наиболее крупными фракциями  $PM_{10}$  на каждом этаже здания максимальна и составляет от 94% до 83%, для  $PM_5$  от 56 до 49%, мелкодисперсные частицы  $PM_{0.5}$  от 20% до 7%,  $PM_1$  от 24% до 7%.

4. По построенным графикам распределения концентраций ТВЧ в логарифмической и линейной сетке на основе экспериментальных исследований концентраций твердых взвешенных частиц в воздухе помещений установлена закономерность: величины концентраций мелкодисперсной пыли исследуемых фракций уменьшались с повышением высоты в 4 раза (с 1 по 8 этаж) для пыли 10 мкм от 0,14 до 0,035 до мг/м<sup>3</sup>, концентрация частиц с эквивалентным диаметром 2,5 мкм уменьшалась в 2,5 раза – от 0,2 до 0,08 мг/м<sup>3</sup>.

#### Литература

1. Yiqun H., Zhu T. Health effects of fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in ambient air // Science China Life Sciences. 2015. №58. Pp. 624-626.
2. Rothenberg S. J., Nagy P. A., Pickrell J. A. Surface Area, Adsorption, and Desorption Studies on Indoor Dust Samples // American Industrial Hygiene Association Journal. 1989. №50:1. Pp. 15-23. DOI: 10.1080/15298668991374255.
3. Xing Y.F., Xu Y.H., Shi M.H., Lian Y.X. The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system // J Thorac Dis. 2016. №8 (1). Pp. 69-74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.
4. Samoli E., Analitis A., Touloumi G. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity // Environ Health Pers. №113 (1). Pp. 88-95.



5. Kan H.D., Cheng B.H. Analysis of exposure-response relationships of air particulate matter and adverse health outcomes in China. *Journal of Environment and Health*. 2002. №19. Pp. 422-426.

6. Schwartz J., Dockery D.W., Neas L.M. Is daily mortality associated specifically with fine particles? // *J Air Waste Manag Assoc*. 1996. №46(10). Pp. 927-939. PMID: 8875828.

7. Helfand W.H., Lazarus J., Theerman P. Donora. Pennsylvania: an environmental disaster of the 20th century // *Am J Public Health*. 2001. №91(4). Pp. 553-553. DOI:10.2105/ajph.91.4.553. PMID:11291362; PMCID: PMC1446635.

8. Somayajulu M., Ekanayaka S., McClellan S. A. et al. Airborne particulates affect corneal homeostasis and immunity. *Investigative ophthalmology & visual science*, 2020. M. 61. №4. Pp. 23-23.

9. Азаров В.Н., Ребров В.А., Козловцева Е.Ю., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Тertiшников И.В., Поляков И.В., Абухба Б.А. О совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде // *Инженерный вестник Дона*, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769).

10. Азаров В.Н., Барикаева Н.С., Николенко Д.А., Соловьева Т.В. Об исследовании загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью с использованием аппарата случайных функций // *Инженерный вестник Дона*, 2015, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350).

11. Азаров В.Н., Козловцева Е.Ю. Исследование распределения частиц пыли в помещении здания общественного назначения // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. №51. С. 170-177.

### References

1. Yiqun H., Zhu T. *Science China Life Sciences*. 2015. №58. Pp. 624-626.

---

2. Rothenberg S. J., Nagy P. A., Pickrell J. A. American Industrial Hygiene Association Journal. 1989. №50:1. Pp. 15-23. DOI: 10.1080/15298668991374255.
3. Xing Y.F., Xu Y.H., Shi M.H., Lian Y.X. J Thorac Dis. 2016. №8 (1). Pp. 69-74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19.
4. Samoli E., Analitis A., Touloumi G. Environ Health Pers. №113 (1). Pp. 88-95.
5. Kan H.D., Cheng B.H. Journal of Environment and Health. 2002. №19. Pp. 422-426.
6. Schwartz J., Dockery D.W., Neas L.M. J Air Waste Manag Assoc. 1996. №46 (10). Pp. 927-939. PMID: 8875828.
7. Helfand W.H., Lazarus J., Theerman P. Am J Public Health. 2001. №91 (4). Pp. 553-553. DOI:10.2105/ajph.91.4.553. PMID: 11291362; PMCID: PMC1446635.
8. Somayajulu M., Ekanayaka S., McClellan S. A. et al. Investigative ophthalmology & visual science, 2020. M. 61. №4. Pp. 23-23.
9. Azarov V.N., Rebrov V.A., Kozlovceva E.Ju., Azarov A.V., Dobrinskij D.R., Tertishnikov I.V., Poljakov I.V., Abuhba B.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769).
10. Azarov V.N., Barikaeva N.S., Nikolenko D.A., Solov'eva T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350).
11. Azarov V.N., Kozlovceva E.Ju. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2018. №51. pp. 170-177.