

## Исследование характеристик качества внутреннего воздуха на примере учреждения высшего образования

*Е.Ю. Козловцева, Е.В. Мартынова, И.С. Кленин, Н.С. Гаврилова,  
А.А. Казанкова, А.В. Дериченко*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** Данная статья посвящена исследованию качества внутреннего воздуха в учреждении высшего образования: оценке закономерностей распределения твердых взвешенных частиц по эквивалентным диаметрам ( $PM_{0.5}$ ,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_5$  и  $PM_{10}$ ).

**Ключевые слова:** воздух помещений, качество внутреннего воздуха, загрязнение воздушной среды, пыль, твердые взвешенные частицы,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ .

В настоящее время проблема загрязнения воздуха является наиболее актуальной из-за быстрого развития промышленности, повышенной транспортной активности и урбанизации. Одной из основных причин ухудшения качества воздуха городской среды – наличие в воздухе твердых взвешенных частиц как антропогенного, так и естественного происхождения. Загрязненный атмосферный городской воздух проникает в здание, что влияет на качество внутреннего воздуха. Термин "внутренний воздух" относится к непромышленным внутренним средам: офисным, общественным средам (детским садам, школам, больницам и т. д.).

Концентрации загрязняющих веществ в воздухе этих помещений часто совпадают с концентрациями наружного воздуха и значительно ниже, чем в промышленных зданиях, где применяются известные стандарты для оценки качества воздуха.

Качество воздуха и микроклимат помещения влияют не только на образовательный процесс в учреждениях высшего образования, но и на здоровье, комфорт и производительность труда сотрудников университета [1 – 3]. В отличие от студентов, находящихся в вузе относительно непродолжительное время, педагогический состав проводит большую часть рабочего времени в учебных аудиториях или на кафедрах. Многочисленные

исследования, в т. ч. проведенные агентством по охране окружающей среды США (EPA), показывают факт превышения уровня загрязняющих веществ в общественных помещениях по сравнению с уровнем пылевого загрязнения снаружи здания, на улице [4].

Опасности, связанные с вдыхаемой пылью, зависят от ее дисперсного и химического состава, поскольку они определяют характер осаждения в дыхательных путях. Особую опасность для здоровья людей представляют мелкодисперсные твердые частицы  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  (англ. Particulate Matter, сокращ. PM) с размером до 10 мкм и до 2,5 мкм соответственно [5-7]. При вдыхании данные частицы проникают в верхние дыхательные пути и легкие, что вызывает повреждение легочной ткани, респираторные и другие заболевания. Частицы в диапазоне от 7 до 15 мкм осаждаются в бронхах и бронхиолах [1, 8, 9]. Частицы размером более 15 мкм обычно осаждаются на слизистых оболочках носа и глотки [10].

Точно установить, в какой степени плохое качество воздуха в помещениях может нанести вред здоровью, - довольно непростая задача, поскольку не имеется достаточной информации о взаимосвязи между постоянным воздействием мелкодисперсных частиц на организм человека. Кроме того, для многих загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, последствия острого воздействия хорошо известны, тогда как существуют значительные «пробелы» в данных, касающихся как долгосрочного воздействия при низких концентрациях, так и смесей различных загрязняющих веществ.

Целью работы является экспериментальное исследование вертикального распределения пылевого фактора в помещениях высшего учебного заведения.

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 помещениях высшего учебного заведения по этажам здания.

2. Экспериментально установить закономерности распределения концентраций твердых взвешенных частиц по этажам здания высшего учебного заведения.

3. Построить интегральную функцию распределения массы частиц пыли по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке.

4. Построить графики распределения доли ТВЧ в процентах по этажам для фракций  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ .

### **Приборы и методы исследования**

Авторы исследовали частицы пыли, присутствующие в воздушной среде здания высшего учебного заведения в г. Волгоград, по эквивалентному диаметру (дисперсному составу) [11]. Отбор проб проводился с помощью прибора HANDHELD 3016 IAQ. Пробы отобраны на высоте 1,5 м в коридорах учебного корпуса на каждом этаже здания в первой половине дня, когда количество студентов в здании максимально. На основе полученных данных построены графики распределения концентраций ТВЧ в линейной (рис. 1) и логарифмической (рис. 3) сетках.

### **Результаты и их обсуждение**

Результаты исследования дисперсного состава пылевых частиц позволили оценить долю мелкодисперсных частиц пыли, в том числе  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ . Данные измерения концентрация пыли счетным методом представлены в таблице 1. На основании таблицы 1 был построен график зависимости концентраций ТВЧ в воздухе помещения высшего учебного заведения от места отбора проб (рис.1).

Таблица №1

Результаты исследования пылевого фактора в помещении с помощью  
счетного метода

№ этажа	Концентрация $СРМ_i$ , $мг/м^3$					$С_{\Sigma}$ , $мг/м^3$
	PM0.5	PM1	PM2.5	PM5	PM10	
Улица	0,00111	0,00181	0,003641	0,01627	0,06697	0,11043
1	0,00134	0,00211	0,00481	0,02801	0,109721	0,16381
2	0,00172	0,00277	0,00563	0,02694	0,06965	0,08444
3	0,00245	0,0036	0,00646	0,02659	0,07135	0,08901
4	0,00149	0,0023	0,00441	0,016371	0,03763	0,04317
5	0,00182	0,00281	0,00615	0,02765	0,08089	0,1077
6	0,00165	0,00251	0,00522	0,022331	0,05159	0,06592
7	0,00166	0,00256	0,00546	0,02347	0,05643	0,06336
8	0,0018	0,00275	0,00561	0,02389	0,06484	0,1009

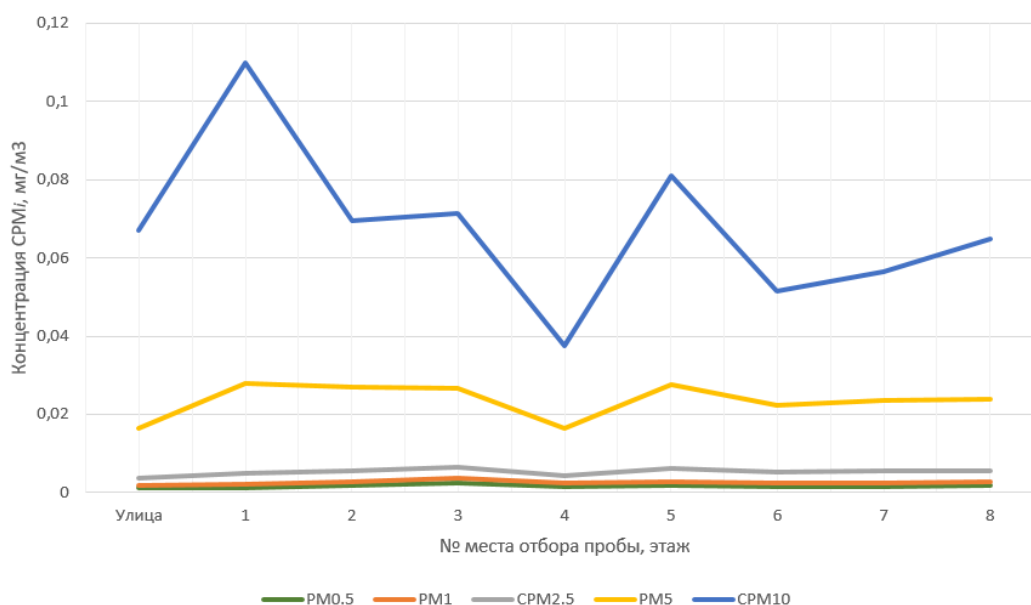
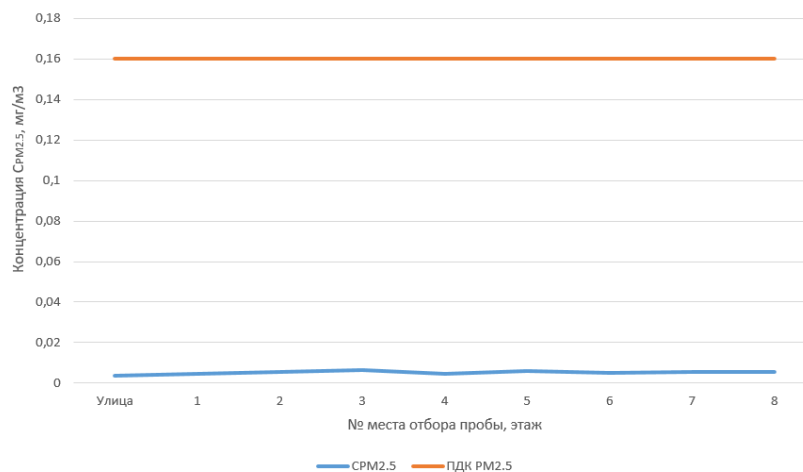


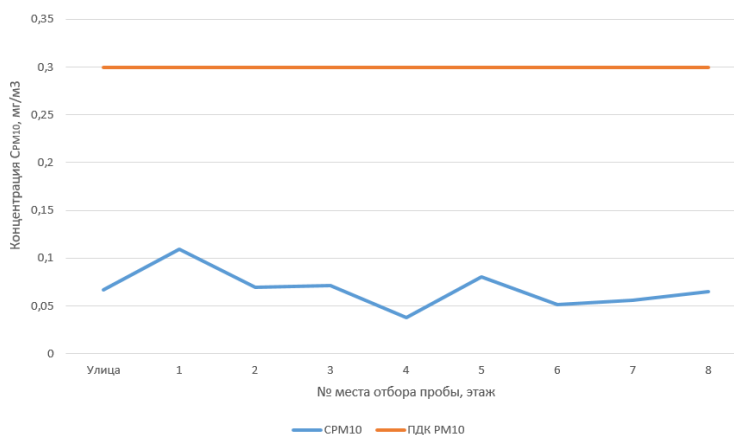
Рис. 1. – Концентрация твердых взвешенных частиц в воздухе  
помещения

Полученные данные сравнивались 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. На рисунке 2

представлены графики сравнения натуральных измерений концентраций  $PM_{2.5}$  (рис. 2а) и  $PM_{10}$  (рис. 2б) с нормативными значениями.



а)



б)

Рис. 2. – Концентрация твердых взвешенных частиц в воздухе помещения в сравнении с ПДК: а)  $PM_{2.5}$ , б)  $PM_{10}$

На рисунке 3 представлена интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам для пыли, присутствующей в воздушной среде помещений высшего учебного заведения.

Таким образом, полученные в результате натуральных исследований величины концентраций взвешенных веществ не превышают предельно

допустимых значений. Анализ результатов таблицы 1 показал, что среднее значение концентрации мелкодисперсной пыли в помещении больше, чем концентрация взвешенных частиц на улице:  $PM_{0.5}$  больше на 50%,  $PM_1$  больше на 16%,  $PM_{2.5}$  больше на 50%,  $PM_5$  больше на 50%,  $PM_{10}$  больше на 1,2 %. При этом концентрация ТВЧ в помещениях высшего учебного заведения с повышением этажа увеличивается для фракций  $P_{0.5} - PM_{2.5}$ , а для мелкодисперсных частиц с эквивалентным диаметром 5 и 10 мкм наоборот уменьшается. Наблюдаются следующие закономерности распределения концентраций мелкодисперсной пыли разных фракций в помещении с увеличением высоты места отбора проб:  $PM_{10}$  – уменьшение, другие фракции – значения практически постоянны.

На рисунке 3 показана интегральная кривая распределения доли концентрации частиц по диаметрам для пыли, присутствующей в воздушной среде учебного помещения.

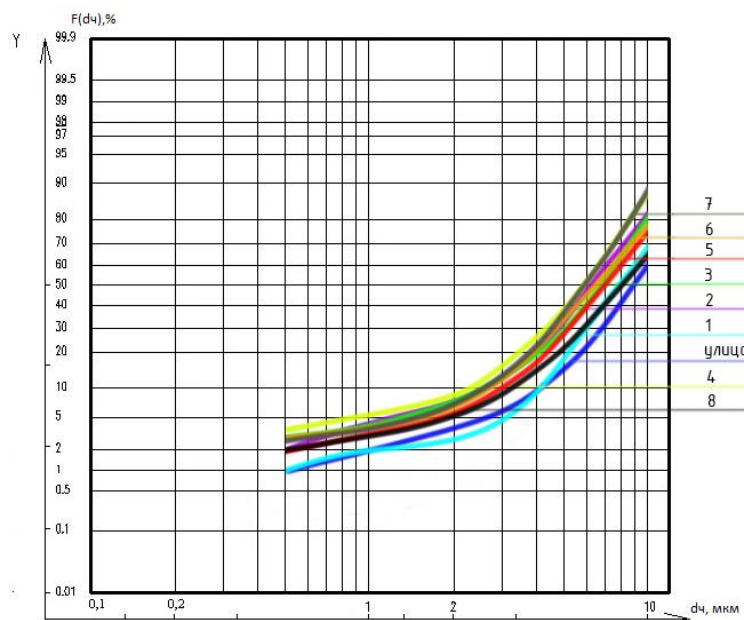


Рис. 3. – Интегральная кривая распределения долей концентрации частиц по диаметрам для пыли, присутствующей в воздушной среде помещения: 1 – 8 - № этажа

Таблица № 2

Доли концентраций  $PM_i$  в общей концентрации взвешенных частиц в зависимости от местоположения отбора проб

№ этажа	Доля $CPM_i$ от $C_{\Sigma}$ , %				
	$PM_{0.5}$	$PM_1$	$PM_{2.5}$	$PM_5$	$PM_{10}$
Улица	1	2	4	15	61
1	1	2	3	17	67
2	2	4	7	32	83
3	3	4	8	30	80
4	4	5	10	38	87
5	2	3	6	26	75
6	3	4	8	34	78
7	3	4	9	37	89
8	2	3	6	24	65

На каждом этаже здания высшего учебного заведения процентное содержание пыли наиболее крупной фракции  $PM_{10}$  максимально и составляет от 65% до 89%, для  $PM_5$  от 17 до 38%, мелкодисперсные частицы  $PM_{2.5}$  от 3 до 10%,  $PM_1$  от 2% до 4%,  $PM_{0.5}$  от 1% до 4%.

### Заключение

1. Результаты дисперсного анализа твердых взвешенных частиц в воздушной среде учебных помещений показывают, что среднее значение концентрации мелкодисперсной пыли в помещении больше, чем на улице:  $PM_{0.5}$  больше на 50%,  $PM_1$  больше на 16%,  $PM_{2.5}$  больше на 50%,  $PM_5$  больше на 50%,  $PM_{10}$  больше на 1,2 %.

2. Счетчик частиц зафиксировал максимальные показания концентрации мелкодисперсных частиц:  $PM_{2.5}$  - 0,00646 мг/м<sup>3</sup> на 3 этаже здания,  $PM_{10}$  - 0,109721 мг/м<sup>3</sup> на 1 этаже. Сравнительный анализ концентраций мелкодисперсных частиц показал, что нормативные значения не превышались.

3. Интегральная кривая распределения долей концентрации частиц по диаметрам для пыли, содержащейся в воздушной среде здания, показала, что на каждом этаже здания высшего учебного заведения процентное содержание пыли наиболее крупной фракции  $PM_{10}$  максимально и составляет от 65% до 89%, для  $PM_5$  от 17 до 38%, мелкодисперсные частицы  $PM_{2.5}$  от 3 до 10%,  $PM_1$  от 2% до 4%,  $PM_{0.5}$  от 1% до 4%.

4. Согласно построенным графикам распределения концентраций твердых взвешенных частиц в линейной сетке на основе проведенных экспериментальных исследований, наблюдаются следующие закономерности распределения концентраций мелкодисперсной пыли разных фракций в помещении с увеличением высоты мест отбора проб:  $PM_{10}$  – уменьшение, другие фракции – практически постоянны.

Воздействие мелкодисперсных частиц взвешенной пыли вызывает различные неблагоприятные последствия для здоровья человека, включая заболевания сердца и дыхательных путей. В настоящее время необходим автоматический мониторинг, который мог бы давать результаты в реальном времени. Это позволило бы контролировать концентрацию частиц пыли в различное время суток в общественном помещении, чтобы снизить вероятность угрозы заболевания дыхательной системы как студентов и педагогического состава, так и работников университета.

#### Литература

1. Hall, S.A. Airborne Contaminants. In Occupational Health Practice // Butterworth-Heinemann. 1973. Pp. 288-308.

2. Choi S., Eom Y., Song J.S. Fine dust and eye health // Journal of the Korean Medical Association. 2019. №62. Pp. 486-494.

3. Heusinkveld H.J., Wahle T., Campbell A. Neurodegenerative and neurological disorders by small inhaled particles // Neurotoxicology. 2016. №56. Pp. 94-106.



4. U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Science Assessment (ISA) for particulate matter // U.S. Environmental Protection Agency. 2019. URL: [cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534](https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534)

5. Lucchini R.G., Dorman D.C., Elder A. Neurological impacts from inhalation of pollutants and the nose–brainconnection // Neurotoxicology. 2012. №33. Pp. 838-841.

6. Hougaard K.S., Campagnolo L. A perspective on the developmental toxicity of inhaled nanoparticles // Reprod. Toxicol. 2015. №56. Pp. 118-140.

7. 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.

8. Roach S.A. Sampling air for particulates. The Industrial Environment — Its Evaluation and Control // Cincinnati, US Dept of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. 1973. Pp. 139-153.

9. Bazas T. Effects of occupational exposure to dust on the respiratory system of cement workers // Occup. Med. 1980. №30. Pp. 31-36.

10. 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](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769).

11. 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](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7196).

### References

1. Hall, S.A. Butterworth-Heinemann. 1973. Pp. 288-308.



2. Choi S., Eom Y., Song J.S. Journal of the Korean Medical Association. 2019. №62. Pp. 486-494.
3. Heusinkveld H.J., Wahle T., Campbell A. Neurotoxicology. 2016. №56. Pp. 94-106.
4. U.S. Environmental Protection Agency. U.S. Environmental Protection Agency. 2019. URL: [cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534](https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534)
5. Lucchini R.G., Dorman D.C., Elder A. Neurotoxicology. 2012. №33. Pp. 838-841.
6. Hougaard K.S., Campagnolo L. Reprod. Toxicol. 2015. №56. Pp. 118-140.
7. Yiqun H., Zhu T. Science China Life Sciences. 2015. №58. Pp. 624-626.
8. Roach S.A. Cincinnati, US Dept of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. 1973. Pp. 139-153.
9. Bazas, T. Occup. Med. 1980. №30. Pp. 31-36.
10. Azarov V.N., Rebrov V.A., Kozlovceva E.Yu., Azarov A.V., Dobrinskij D.R., Tertishnikov I.V., Polyakov I.V., Abuxba B.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/49769).
- 11 Litvinova N.A., Azarov V.N., Marty`nova E.V., Tumasyan S.A., Medvedeva Ya.E., Gavrilova N.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7196](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7196).