

## Исследование распределения частиц пыли в помещении спортивного назначения

*Н.Е. Калинина, Е.В. Мартынова, И.С. Кленин, И. А. Ерошенко,*

*И.С. Тамаров, Н.В. Кузнецова*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** Данная статья посвящена исследованию характеристик мелкодисперсных частиц пыли в спортивном зале. Был проведен мониторинг запыленности спортивного помещения мелкодисперсными частицами, а также исследован дисперсный состав осевшей пыли. Проанализирована закономерность распределения пыли в помещении в зависимости от высоты измерения. Проведен анализ состояния системы органов внешнего дыхания.

**Ключевые слова:** мониторинг, спортивный зал, дисперсный анализ, мелкодисперсные частицы, органы внешнего дыхания, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, пылевой фактор.

Твердые частицы (Particulate matter или PM) – это общий термин для обозначения мелких твердых и жидких частиц в атмосфере, которые являются основными загрязнителями воздуха. Они различаются по размеру (например, PM<sub>2.5</sub> или PM<sub>10</sub>), составу и происхождению. Существует множество различных источников PM, включая природные (например, лесные пожары) и антропогенные (например, дизельные двигатели, промышленность и сжигание ТКО). PM<sub>2.5</sub> — это мелкодисперсная летучая твердая частица с аэродинамическим диаметром <2,5 мкм. PM<sub>2.5</sub> обладает способностью проникать в различные ткани через слизистые оболочки. Такие твердые частицы фракцией 2,5 мкм связаны с патогенезом заболеваний, возникающих в результате загрязнения воздуха, включая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания [1].

На основании исследований, проведенных Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), увеличение предельно допустимой концентрации пыли, в том числе мелкодисперсных частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>, в атмосферном воздухе повышает риск возникновения у жителей заболеваний дыхательной и сердечно-сосудистой систем [1, 2]. Данные свидетельствуют [1 – 3] о

влиянии грубых твердых частиц на появление бронхиальной астмы, возникновение респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Таким образом, повышается риск воздействия загрязняющих веществ на организм студентов во время занятиями физическими упражнениями в спортзале.

Одним из важнейших факторов, влияющих на физическую работоспособность человека, является функциональное состояние системы органов внешнего дыхания (ОВД). Однако, с увеличением показателей частоты дыхания (ЧД), минутного объема дыхания (МОД), глубины дыхания (ГБ) во время физической нагрузки происходит пропорциональное увеличение количества вдыхаемых загрязняющих веществ. Также большая часть воздуха вдыхается через рот во время тренировки, обходя защитные носовые механизмы для фильтрации крупных частиц и растворимых паров. При мониторинге качества воздуха в спортивном зале необходимо учитывать размеры частиц пыли, т.е. проанализировать дисперсный состав пыли, которая может попасть в легкие человека при интенсивном дыхании во время занятий физическими упражнениями.

В дыхательных путях происходит два процесса: задержка и выделение поступивших частиц. В верхних дыхательных путях задерживается 80...90 % частиц величиной до 10 мкм, в альвеолярную область поступает 70...90 % частиц размером 2,5...1 мкм и менее [2 – 4]. Увеличенная скорость воздушного потока во время вдоха спортсмена при интенсивных физических нагрузках обходит большую часть нормальной носовой фильтрации и переносит загрязняющие вещества глубже в дыхательные пути, и, следовательно, происходит пропорциональное увеличение количества вдыхаемых загрязняющих веществ.

В настоящее время проведено большое количество исследований, посвящённых изучению дисперсного состава атмосферных аэрозолей [5 – 7], однако число работ на тему оценки качества воздуха замкнутых помещениях,

---

остается небольшим [8 - 10]. Таким образом, исследования, направленные на повышение экологической безопасности спортивного помещения и сохранение здоровья занимающихся за счет изучения свойств пыли, а именно ее дисперсного (фракционного) состава, являются актуальными.

Авторами были проведены исследования частиц пыли, осевшей в спортивном зале университета, схема которого представлена на рис.1, по степени крупности (дисперсному составу). Проводился контроль за показателями работы системы ОВД. Исследования фракционного состава пыли проводились оптическим методом. Методика основана на микроскопическом анализе пылевых частиц с применением микрофотоприставки и персонального компьютера (ПК) при расчете фракционного состава пыли по размерам пылевых частиц с помощью ПО SPOTEXPLORER V1.0 [8]. Показатели работы системы ОВД определялись методом спирометрии с использованием сухого спиртометра.

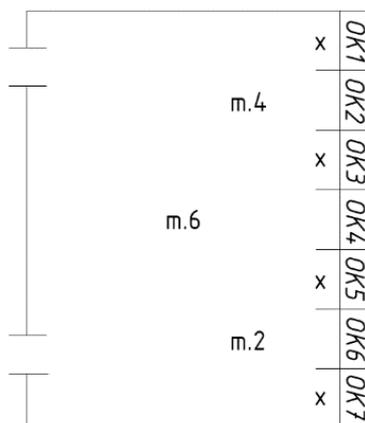


Рис. 1. – Схема спортивного зала с номерами точек отбора проб

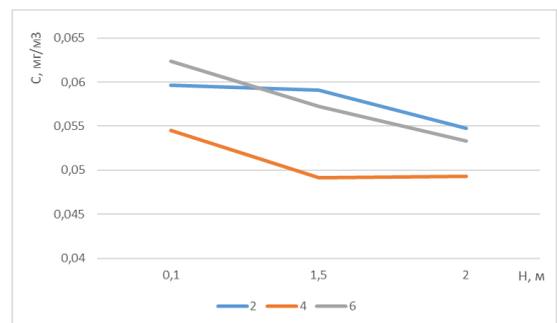
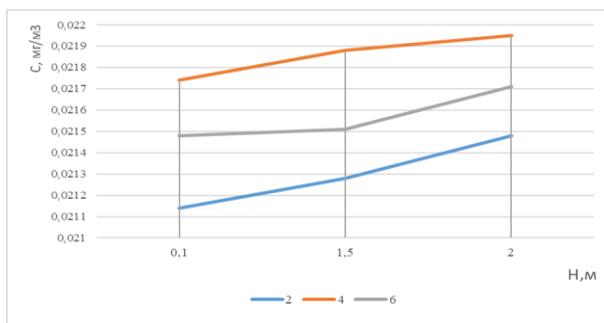
Был произведен анализ дисперсного состава пылевых частиц, находящихся в воздухе помещения. Исследование пылевого загрязнения в спортивном зале было проведено с помощью счетного метода. Результаты дисперсного анализа сведены в таблицу 1.

Таблица №1

Концентрация мелкодисперсных частиц пыли, находящихся в воздухе спортивного зала на разных высотах

№ точки отбора проб	Н, м	Концентрация $PM_i$ , мг/м <sup>3</sup>					$C_{\Sigma}$ , мг/м <sup>3</sup>
		$PM_{0,5}$	$PM_1$	$PM_{2,5}$	$PM_5$	$PM_{10}$	
2	0,1	0,01036	0,01657	0,02114	0,03547	0,05965	0,07537
	1,5	0,01029	0,01644	0,02128	0,03336	0,05911	0,07159
	2	0,01039	0,01651	0,02148	0,03501	0,05477	0,07457
4	0,1	0,0108	0,01722	0,02174	0,03213	0,05448	0,0554
	1,5	0,01064	0,017	0,02188	0,03225	0,0491	0,06465
	2	0,01049	0,01632	0,02195	0,0321	0,04926	0,05443
6	0,1	0,01046	0,01664	0,02148	0,03478	0,0624	0,07544
	1,5	0,01054	0,01681	0,02151	0,03361	0,05724	0,06486
	2	0,01044	0,01682	0,02171	0,03267	0,05331	0,0688

На основании данных таблицы №1, на рис.2 построены графики зависимости распределения мелкодисперсных частиц пыли фракцией 2.5 мкм (рис.2а) и 10 мкм (рис.2б) в точках отбора проб на разных высотах (10, 150 и



200 см) измерения.

а)

б)

Рис. 2. – График концентрации пыли, находящейся в воздухе спортзала, в зависимости от высоты измерения и точки отбора пробы: а)  $PM_{10}$ , б)  $PM_{2,5}$

На рис.3 представлены интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам для пыли, находящейся в воздухе спортзала в зависимости от высоты и точек отбора проб.

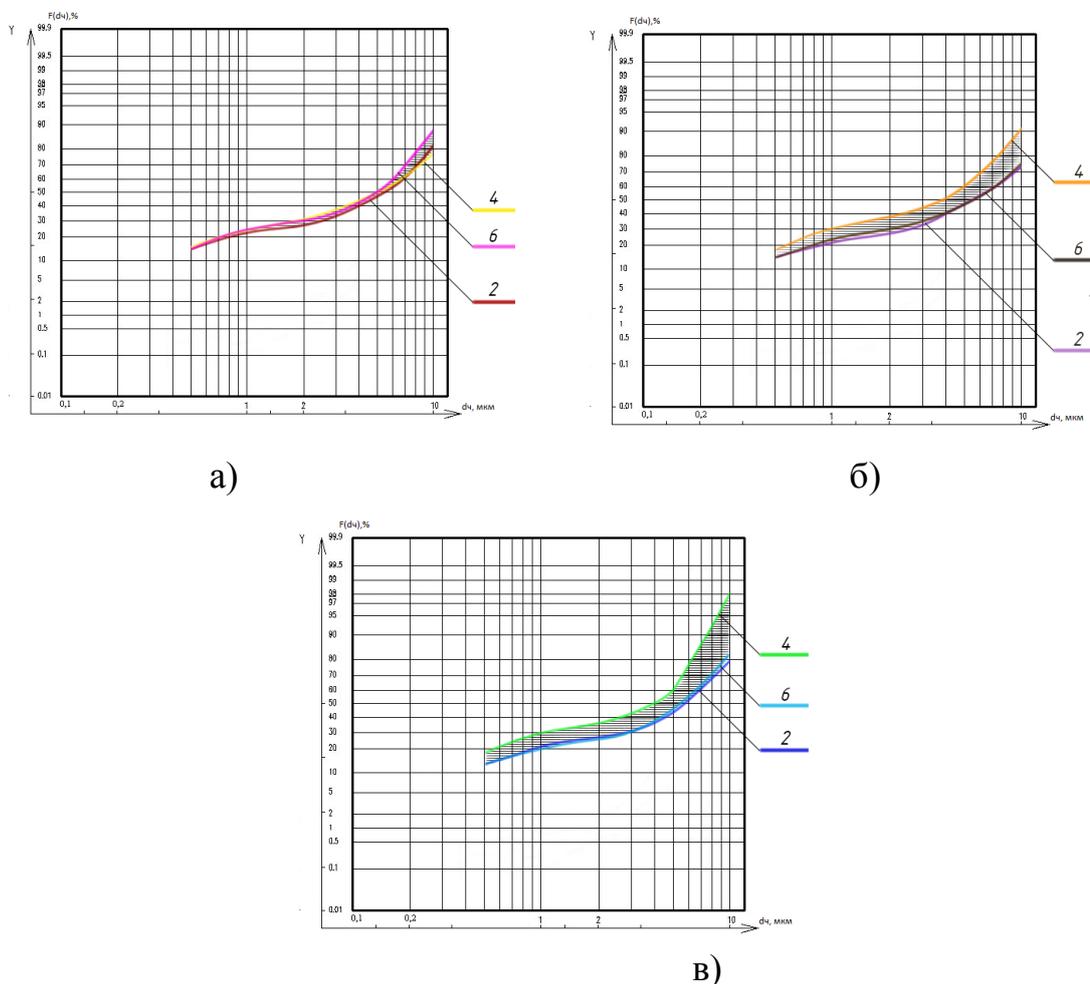


Рис. 3. – Интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам для пыли: а) на высоте 2 м, б) на высоте 1,5м, в) на высоте 0,1 м

На основании анализа измерений концентрации мелкодисперсных частиц пыли счётным методом в спортивном помещении, можно сделать вывод, что пылевое загрязнение мелкодисперсными частицами фракцией 2.5 мкм увеличивается с повышением высоты, а концентрация пыли фракцией 10 мкм наоборот уменьшается.

Диапазон значений доли пыли  $PM_{2,5}$  на всех высотах измерения составляет от 30 до 40%, что говорит об одинаковом дисперсном составе пыли данной фракции в помещении. Однако, доля мелкодисперсных частиц фракцией 10 мкм изменяется в зависимости от точки отбора и высоты, диапазон значений составляет от 70 до 98%. Так, наиболее высокое пылевое загрязнение отмечается в точке отбора №4 (доля пыли  $PM_{10}$ , витающей в воздухе, составляет 90% на высоте 2 м, 98% - на расстоянии 0,1м от пола). Преобладание концентрации  $PM_{10}$  на высоте 0,1м является следствием слипания мелких частиц в более крупные, а также последующего оседания крупной пыли.

Сравним измеренные значения концентрации пыли в спортивном зале с нормативными значениями предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ ( $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ) в атмосферном воздухе городских и сельских поселений, которые 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>		
	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub>	ПДК <sub>с.г.</sub>
Взвешенные вещества	0,5	0,15	0,075
Взвешенные частицы $PM_{10}$	0,3	0,06	0,04
Взвешенные частицы $PM_{2,5}$	0,16	0,035	0,025

Таким образом, превышение нормативов максимально разового пылевого загрязнения в спортивном зале обнаружено не было.

Для исследования мелкодисперсных частиц пыли оптическим методом была взята осевшая пыль на полу и подоконниках спортивного помещения. На основании проведенного оптического анализа была построена интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам, представленная на рис. 4.

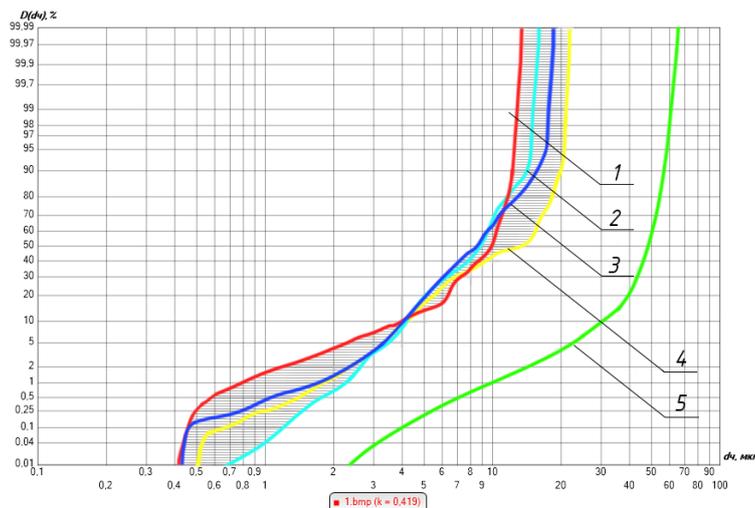


Рис. 4. – Интегральная кривая распределения массы частиц по диаметрам для осевшей пыли: 1 – окно №1, 2 – окно №3, 3 – окно №5, 4 – окно №7, 5 – на полу в центре спортзала

Результаты дисперсного анализа (рис.4) сведем в таблицу 3.

Таблица №3

Результаты дисперсного анализа пылевых частиц

№	Точка отбора пробы	Доля PM <sub>2.5</sub> , %	Доля PM <sub>10</sub> , %	Максимальный диаметр частиц d <sub>max</sub> , масс частиц пыли	Минимальный диаметр частиц d <sub>min</sub> , масс частиц пыли
1	окно №1	2	50	20	0,5
2	окно №3	2	70	15	0,5
3	окно №5	5	54	13	0,45
4	окно №7	2	65	17	0,48
5	пол в центре спортзала	0	0,04	>100	4

На основании полученных данных таблицы 3, можно сделать вывод о том, что размер осевших на подоконнике пылевидных частиц находится в диапазоне от 0,45 мкм до 20 мкм, на полу – от 2,5 мкм и более 100 мкм. Установлено, что в пыли, поступающей из зала на улицу, наблюдается преобладание мелкодисперсных частиц на подоконниках, т.е. в местах, близких к естественной вентиляции помещения воздушными потоками.

Для оценки реакция дыхательной системы спортсменов на физическую нагрузку проведём анализ показателей текущего функционального состояния системы ОВД, который представлен в таблице 4.

Таблица №4

Показатели системы органов внешнего дыхания

Показатели внешнего дыхания	Частота дыхания (кол-во раз в мин)	Жизненная емкость легких (л)	Минутный объем дыхания (л)
покой	8,5±0,31	5,1±0,44	10,8±0,32
нагрузка	17,1±0,82	5,6±0,71	22,1±1,14
после нагрузки	10,0±0,14	5,0±0,38	11,8±0,31

Отмечена положительная динамика показателей системы ОВД, что говорит о повышении уровня тренированности студентов, а значит и увеличении частоты дыхания во время тренировки в спортивном зале. Уровень физической работоспособности студентов по показателям системы ОВД не изменился. Незначительный прирост показателей системы ОВД свидетельствует о повышении тренированности студентов-спортсменов.

Анализ запыленности спортивного зала университета подтверждает наличие мелкодисперсных твердых взвешенных частиц, которые могут долгое время находиться в состоянии броуновского движения и проникать в легкие, т. е. наличие частиц, наиболее опасных для здоровья человека.

Однако, нормативные показатели загрязнения мелкодисперсными частицами не были превышены. Результаты экспериментальных исследований показали, что в спортзале во всех точках отбора проб на высоте до 2 метров концентрация  $PM_{2.5}$  находится в пределах не более  $0,022 \text{ мг/м}^3$ , при этом интегральная функция распределения массы частиц по диаметрам для пыли практически постоянна. Более крупные частицы фракцией 10 мкм имеют существенно большие колебания и по концентрации, и по дисперсному составу. Наблюдается пылевое загрязнение  $PM_{10}$  на подоконниках спортивного помещения, а также на высоте 0,1 м от пола.

Полученные данные пылевого загрязнения мелкодисперсными частицами пыли позволяют рассчитать не только общую дозу пыли, которую вдыхает спортсмен во время тренировки, но и дозу мелкодисперсной пыли фракцией 2.5 и 10 мкм.

### Литература

1. Han, Yiqun and T. Zhu. Health effects of fine particles ( $PM_{2.5}$ ) in ambient air. *Science China Life Sciences* 58 (2015): 624-626.
2. Samoli E, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, Anderson HR, Sunyer J, et al. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity. *Environ Health Persp*; 113 (1): 88-95.
3. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of  $PM_{2.5}$  on the human respiratory system. *J Thorac Dis*. 2016; 8(1):E69-E74. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
4. Mallika Somayajulu, Sandamali Ekanayaka, Sharon A. McClellan, Denise Bessert, Ahalya Pitchaikannu, Kezhong Zhang, Linda D. Hazlett; Airborne Particulates Affect Corneal Homeostasis and Immunity. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2020;61(4):23. doi: 10.1167/iovs.61.4.23.

5. 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)

6. 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/n2y20185/4976](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/4976)

7. Прыткова Э.В., Маврин Г.В., Мансурова А.И. Сравнительный анализ дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны непромышленных помещений // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №1-2 (43). С. 69-70. DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.134

8. 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.

9. Кузнецов С.М., Сидоренок А.В. Качество воздуха в жилых помещениях для военнослужащих и возможности его улучшения // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2012. №1. С. 66-72.

10. Абрамкина Д.В., Агаханова К.М. Влияние естественного воздухообмена в помещении на концентрацию взвешенных частиц // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. №6. С. 912-921.

### References

1. Han, Yiqun and T. Zhu. Science China Life Sciences 58 (2015): 624-626.



2. Samoli E, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, Anderson HR, Sunyer J, et al. *Environ Health Pers*; 113 (1): 88-95.
3. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. *J Thorac Dis*. 2016; 8(1): E69-E74. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
4. Mallika Somayajulu, Sandamali Ekanayaka, Sharon A. McClellan, Denise Bessert, Ahalya Pitchaikannu, Kezhong Zhang, Linda D. Hazlett; *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2020; 61(4):23. doi: 10.1167/iovs.61.4.23.
5. 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)
6. 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/n2y20185/4976](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y20185/4976)
7. Prytkova Je.V., Mavrin G.V., Mansurova A.I. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2016. №1-2 (43). pp. 69-70. DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.134
8. Azarov V.N., Kozlovceva E.Ju. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2018. №51. pp. 170-177.
9. Kuznecov S.M., Sidorenok A.V. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*. 2012. №1. pp. 66-72.
10. Abramkina D.V., Agahanova K.M. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2018. №6. Pp. 912-921.