

УДК 504.3.054

С. Е. Манжилевская^а, А. О. Бурлаченко^б, Н. С. Бакин^б

^а *Донской государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ НА СТРОЙПЛОЩАДКЕ ПРИ КЛАДКЕ СТЕН ИЗ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Представлены результаты замеров пылевых выбросов, производимых при кладке стен из газобетонных блоков в ходе производства работ по реконструкции привокзального комплекса в г. Костроме, которые позволили оценить эффективность внедрения разработанной опытной установки, пушки пылеподавления, в процессе борьбы с пылевым загрязнением на строительной площадке. Авторы сфокусировались на изучении концентрации взвешенных частиц во время устройства газобетонных конструкций. При этом особое внимание уделялось влиянию уровня влажности и расположения туманообразующего оборудования. Представленное исследование демонстрирует новый подход к решению проблемы запыленности на строительных объектах путем применения специализированной пушки для создания водяного тумана. Эксперимент по оценке эффективности опытной установки для пылеподавления с использованием туманообразующего оборудования показал положительные результаты. Замеры осуществлялись в изолированном помещении и на открытом воздухе непосредственно в процессе выполнения строительных работ.

Ключевые слова: точечная застройка, оседание пыли, пылевые выбросы в строительстве, экологическая безопасность городских территорий, пылеподавление.

Введение

Современные подходы к обеспечению экологической безопасности в строительной отрасли выходят за рамки традиционного контроля явных угроз. Особое внимание необходимо уделять скрытым опасностям, включая мелкодисперсные частицы, выделяющиеся при строительных работах [1—3]. Хотя воздействие пылевого загрязнения может казаться незначительным, его постепенное накопление способно вызвать существенные нарушения здоровья у людей, проживающих вблизи строительных объектов, а также у рабочих [4—6]. Данная проблема требует особого внимания, поскольку затрагивает как безопасность персонала, так и благополучие населения. Новый метод борьбы с пылью на объектах строительства является предметом исследования в данной публикации.

Особенно эффективным методом борьбы с загрязнением мелкодисперсными частицами считается распыление мельчайших водяных капель под высоким давлением. Они захватывают взвешенные частицы пыли и способствуют их осаждению. Учитывая значительную зону распространения строительной пыли и ее негативное влияние на окружающую среду [7—10], именно локализация источника пылевого загрязнения является ключевой задачей в обеспечении экологической безопасности строительных работ.

Для борьбы с пылью при проведении строительных работ разработана специальная опытная установка — пылеуловитель мокрого типа, так называемая туманообразующая пушка. Ее принцип действия основан на

использовании жидкости, которая может подаваться в различных формах — от мелких капель до пленок и пенных структур [11—13].

Материалы и методы

Эффективность осаждения пылевых частиц в мокрых пылеуловителях определяется множеством факторов. В стандартных установках успешно улавливаются частицы крупнее 1 мкм, однако в туманной среде этот показатель снижается. На процесс оседания существенно влияют температурный режим воды и параметры окружающей среды.

Ключевую роль играет электростатическое взаимодействие между каплями и частицами пыли. Мелкодисперсные частицы приобретают электрический заряд в процессе формирования, причем его величина возрастает по мере движения частиц и зависит от их скорости. Интенсивность электростатического притяжения между каплями и частицами определяется их относительной скоростью движения.

Результативность захвата частиц напрямую связана с их массой и размером водяных капель. Динамика движения обоих компонентов существенно влияет на эффективность всего процесса очистки.

Эффективность улавливания мелких частиц (менее 1 мкм) достигает 45...50 %, более крупных частиц (свыше 1 мкм) — 95...99 %. Качество улавливания пылевых частиц, образующихся при строительных работах, напрямую определяется несколькими параметрами водяного потока: объемом подаваемой жидкости (в диапазоне 0,2...0,6 л/м³), размером формируемых капель, скоростью их образования и рабочим давлением системы (перепад давления 400...600 Па).

Механизм очистки основан на взаимодействии пылевых частиц с туманом. Благодаря поляризационной диффузии происходит осаждение капель тумана на пылинках. Этот процесс приводит к охлаждению, увеличению массы частиц, что существенно повышает вероятность их выпадения из воздушного потока.

На рисунке 1 представлена конструкция туманообразующей пушки, которая включает несколько элементов. Благодаря встроенным электромагнитным генераторам создается постоянное поле, позволяющее водяному потоку эффективно захватывать мельчайшие пылевые частицы. Устройство состоит из корпуса-станины, системы подачи воды с трубками, вентиляционного блока, фильтрующего элемента, пневматического насоса высокого давления и комплекса распылительных форсунок. Оборудование интегрируется в централизованную водопроводную сеть.

Пушка туманообразования имеет систему электромагнитных элементов, выполненных в виде кольцевых конструкций с центральным отверстием. Насос подает воду под давлением в трубопровод, где она подвергается воздействию электромагнитного излучения. Кольцевые излучатели полностью охватывают трубку по периметру, что обеспечивает равномерную обработку протекающей жидкости. После электромагнитного воздействия вода приобретает способность к захвату микрочастиц пыли. Кольцевая конфигурация источников поля гарантирует эффективное воздействие на водный поток со всех направлений.

Конструкция пушки туманообразования:

- 1 – корпус.
- 2 – станция.
- 3 – система водоснабжения.
- 4 – вентилятор.
- 5 – форсунки.
- 6 – источник электромагнитного поля.
- 7 – пневмонасос.
- 8 – фильтр.
- 9 – коннектор с источником воды.

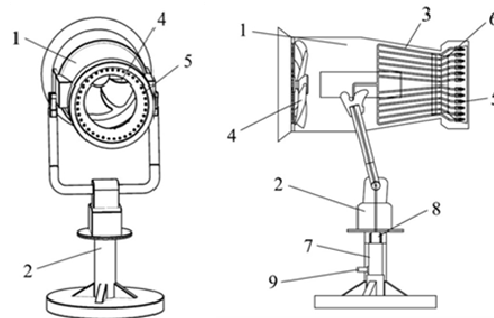


Рис. 1. Устройство для предотвращения распространения пыли на строительной площадке

Мелкие пылинки при контакте с водяными каплями, не имея необходимой кинетической энергии, обычно обтекают капли воды и продолжают находиться в воздушной среде. Крупные фракции пыли, благодаря своей инерционной силе, захватываются каплями и вместе с ними оседают вниз.

Когда капли воды движутся в потоке жидкости, они приобретают электрический заряд. В результате взаимодействия заряженных капель с диэлектрическими частицами в воздушно-пылевой среде (размером 5...10 мкм) возникает электромагнитное поле, вызывающее появление полярных зарядов на поверхности диэлектрика. Поскольку противоположный заряд располагается ближе к источнику электромагнитного излучения, возникающая сила притяжения превосходит силы отталкивания из-за меньшего расстояния между разноименными зарядами.

Система создает тончайшее водяное облако благодаря следующему процессу: сначала очищенная вода движется под напором по специальным каналам к миниатюрным распылителям размером 0,1 мм. Постоянное электромагнитное поле модифицирует структуру водяных частиц, пока они смешиваются с воздухом при интенсивном давлении в распылительных насадках. Получившийся туман из микроскопических капель не только эффективно оседает в рабочей зоне, но и захватывает весь спектр пылевых загрязнений — от крупных до мельчайших фракций [14—19].

Для оценки эффективности опытной туманообразующей пушки для создания тумана при резке газоблока в ходе реконструкции привокзального комплекса в г. Костроме проведен ряд экспериментальных исследований в июле — августе 2022—2023 гг. Выполнены две независимые серии измерений: в помещении и на открытом воздухе с использованием счетчика частиц Lighthouse Handheld 3016 и стандартного оборудования для сбора пыли. В процессе исследования максимальная подвижность воздуха в помещении составляла 0,75...1,4 м/с, при измерениях резки газоблоков на открытом воздухе — 2,1...3,2 м/с. В каждой серии проведено по 3 эксперимента с 15 замерами. Основная задача заключалась в оценке влияния влажности воздуха на концентрацию пыли при резке газоблока и создании условий для достижения уровня ПДК 0,5 мг/м³.

Результаты и обсуждение

Эксперимент с применением туманообразующей установки продемонстрировал эффективность подавления пылевых частиц. Механизм действия

основан на том, что мельчайшие пылевые частицы, взаимодействуя с каплями тумана, выпадают в осадок. Рабочий режим пушки туманообразования: выброс струи воды — 15 м, насос — 0,75 кВт, давление воды — 80 бар. Графические данные на рис. 2 и 3 отражают зависимость между уровнем влажности (φ , %) и концентрацией взвешенных частиц в воздухе зоны воздействия пушки в помещении при резке газоблока. Диаграммы показывают динамику изменений суммарной концентрации (C , $C/\text{ПДК}$) при работе пушки туманообразования.

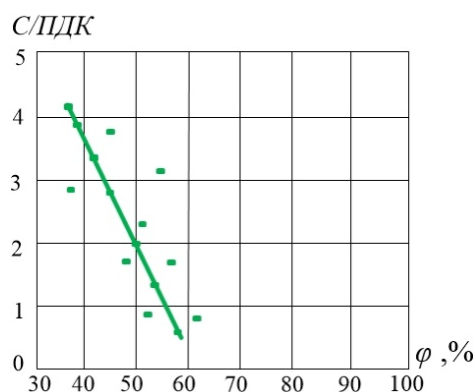


Рис. 2. Влияние пушки туманообразования на содержание взвешенных частиц при резке газобетонных блоков в помещении привокзального комплекса

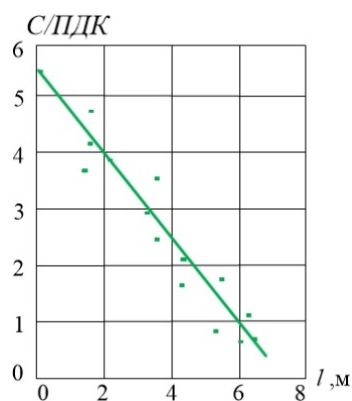


Рис. 3. Анализ концентрации пыли при максимальной влажности 60 % на выходе при резке газобетонных блоков внутри помещения

На рисунке 4 представлена зависимость скорости оседания пылевых частиц (V , м/с) при влажности 60 % от их среднего эквивалентного диаметра при резке газобетонных блоков. Экспериментальным путем установлено, что при увеличении расстояния от источника пылеобразования происходит существенное снижение концентрации мелких пылевых фракций после применения увлажнения. Так, замеры показали, что на дистанции 7 м уровень концентрации пыли в помещении достигает ПДК (см. рис. 3).

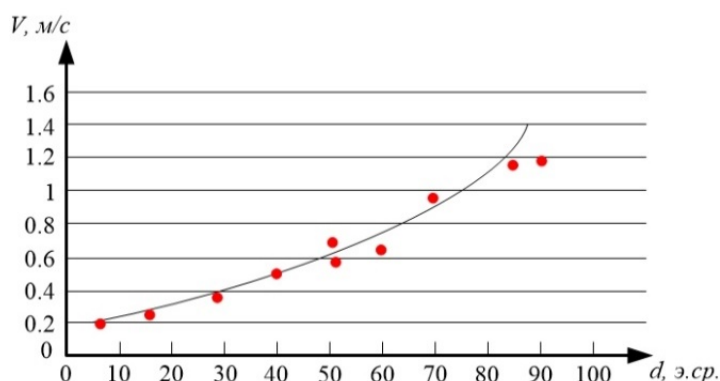


Рис. 4. Зависимость между скоростью оседания пылевых частиц при влажности 60 % от их среднего эквивалентного диаметра

Для определения концентрации пыли в воздухе при производстве строительных работ с использованием пушки туманообразования при резке газоблоков на открытом воздухе найдено уравнение регрессии, которое определяет суммарную концентрацию пыли (C , $C/\text{ПДК}$) в зависимости от расстояния между местом пыления и местом взятия проб по вертикали (h , м) и горизонтали (R , м). Замеры концентрации пыли проводились в зоне $0 \leq h \leq 4$ м, $0 \leq R \leq 20$ м, т. е. $R_{\max} = 20$ м, по направлению ветра через каждые 5 м, на 3 уровнях, 15 замеров при одном эксперименте. Расположение пушки туманообразования — 1 м от источника пыления. Пусть H — высота выхода влажного воздуха из пушки туманообразования м; R — расстояние от точки замеров от пушки (по направлению ветра), м; (r, h) — координаты точек в зоне действия пушки. Введем стандартизированные координаты (x_1, x_2) , где:

$$x_1 = \frac{R}{R_{\max}}; \quad x_2 = \frac{h - H}{H}. \quad (1)$$

Таким образом, величина $x_1 \geq 0$; $-1 < x_2 < 1$. Для расчета динамики изменения общей концентрации пыли в рабочей зоне с применением пушки туманообразования проведем построение в декартовой система координат 15 точек, обозначающих места замеров концентрации пыли, при работе пушки через каждые 5 м от места резки газоблока (рис. 5).

На основе трех проведенных экспериментов для средней концентрации пыли в зоне влияния пушки туманообразования получено уравнение регрессии вида:

$$\frac{C(x_1, x_2)}{\text{ПДК}} = \exp\{1,70 - 0,37x_1 + 0,29x_2 - 1,67x_1^2 - 0,42x_2^2 + 0,22x_1x_2\}. \quad (2)$$

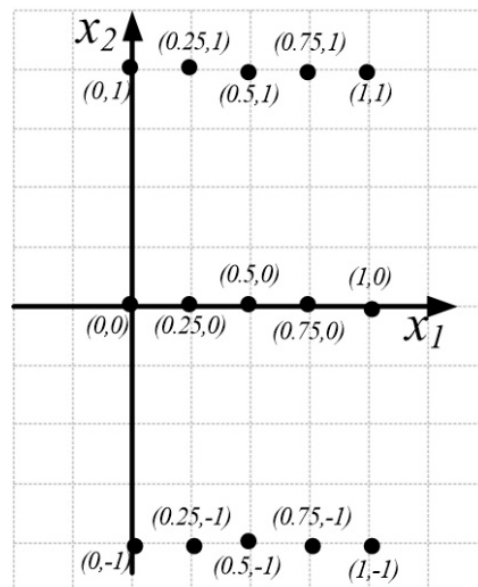


Рис. 5. Расчетные значения в системе координат

На рисунке 6 представлены графики изменения общей концентрации пыли во время работы пушки, отражающие регрессионную зависимость при диапазоне скоростей воздуха 2,1...3,2 м/с.

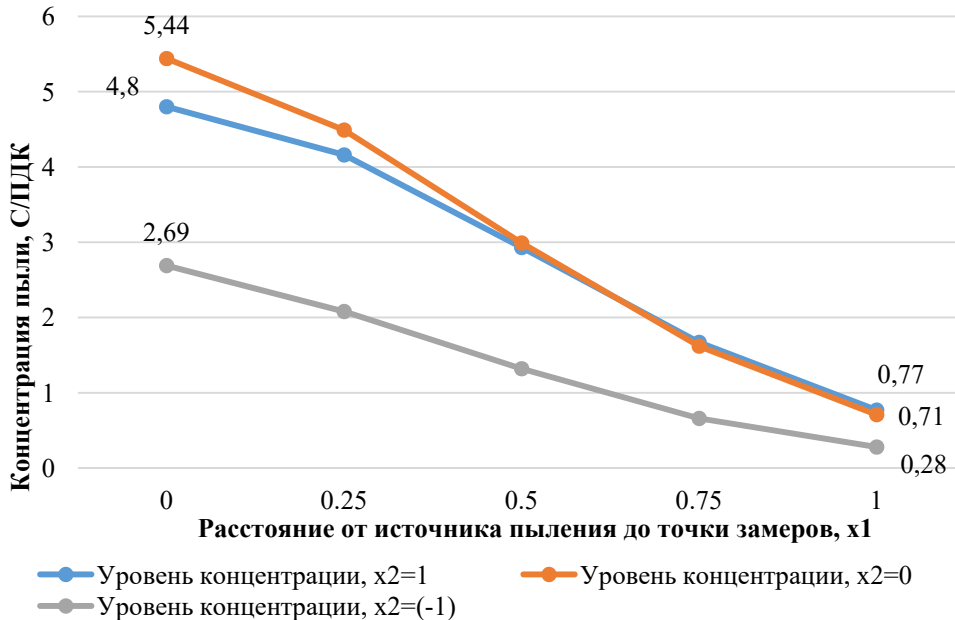


Рис. 6. Регрессионные зависимости концентрации пыли в воздухе при резке газоблоков с применением пушки туманообразования на открытом воздухе

Полученная регрессионная зависимость показала высокую сходимость, $r^2 = 0,95$, откуда следует, что при $x_1 = 0,75$ уровень пылевых загрязнений достигает ПДК.

Заключение

Исследование зависимости между концентрацией взвешенных частиц в воздухе при резке газоблоков и такими факторами, как расположение источника пыления, скорость и влажность воздушного потока, позволило оценить эффективность пылеподавления при использовании пушки туманообразования при работе внутри помещения и на открытом воздухе. В ходе проведенных замеров установлено, что при использовании устройства в зоне проведения работ уровень запыленности достигает ПДК в помещении на расстоянии 7 м, на открытом воздухе — 15 м от установки пушки туманообразования, что особенно важно при работах в стесненных городских условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tao G., Feng J., Feng H., Zhang K. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout // Buildings. 2022. Vol. 12. Art. 531. DOI: 10.3390/buildings12050531.
2. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou, Z. Liu, W. Shao, B. Sun, L. Li, J. Liu, G. Li // Indoor Air. 2024. Vol. 1. DOI: 10.1155/2024/5025616.
3. Kumi L., Jeong J., Jeong J., Lee J. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types // Buildings. 2022. Vol. 12. Art. 1137. DOI: 10.3390/buildings12081137.

4. *Mohan G., Xavier A. S.* Effect of dust pollution from construction sites on on-site construction workers // Sustainability Agri Food and Environmental Research. 2023. Vol. 12. Iss. 1. Pp. 1—7. DOI: 10.7770/safer-V10N1-art2465.
5. *Калюжина Е. А., Сергина Н. М., Елфимов К. А., Стреляева А. Б.* Исследование пылевыделений в окружающую атмосферу и в атмосферу рабочей зоны при производстве ремонтно-строительных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 371—378.
6. *Манжильевская С. Е.* Влияние мелкодисперсной пыли на окружающую среду при локальном строительстве // Строительство и реконструкция. 2020. Т. 6. № 92. С. 86—99.
7. *Kaluarachchi M., Waidyasekaran A., Rameezdeen R., Chileshe N.* Mitigating Dust Pollution from Construction Activities: A Behavioural Control Perspective // Sustainability. 2021. Vol. 13. Pp. 1—19. DOI: 10.3390/su13169005.
8. *Liu W., Huang X., Chen H., Han L.* Analyzed and Simulated Prediction of Emission Characteristics of Construction Dust Particles under Multiple Pollution Sources // Computational Intelligence and Neuroscience. 2022. Vol. 4. Pp. 1—10. DOI: 10.1155/2022/7349001.
9. *Cui T.* Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control // Journal of Innovation and Development. 2023. Vol. 2. Pp. 18—21. DOI: 10.54097/jid.v2i2.5904.
10. The Evaluation of Construction Dust Diffusion and Sedimentation Using Wind Tunnel Experiment / *Y. Zhang, W. Tang, H. Li, J. Guo, J. Wu, Y. Guo* // Toxics. 2022. Vol. 10. Art. 412. DOI: 10.3390/toxics10080412.
11. *Samaradiwakara D. S., Pitawala H. M. T. G. A.* Extent of air pollution in Kandy area, Sri Lanka: Morphological, mineralogical and chemical characterization of dust // Ceylon J. Sci. 2021. Vol. 50. Pp. 475—486. DOI: 10.4038/cjs.v50i4.7946.
12. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / *Q. Luo, L. Huang, Y. Liu, X. Xue, F. Zhou, Ji. Hua* // Sustainability 2021. Vol. 13. Art. 8451. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107478.
13. *Khan M., Khan N., Skibniewski M. J., Park C.* Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercube Technique // Sustainability. 2021. Vol. 13. Pp. 77—97. DOI: 10.3390/su13147797.
14. Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form / *J. Yang, B. Shi, Y. Shi, S. Marvin, Y. Zheng, G. Xia* // Sustainable Cities and Society. 2020. Vol. 54. Art. 101941. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101941.
15. *Karin A.-D., Clifford K., Hand J.* Dust Under the Radar: Rethinking How to Evaluate the Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States // GeoHealth. 2023. Vol. 7. Art. 1029. DOI: 10.1029/2023GH000953.
16. The simulation of mineral dust in the United Kingdom Earth System Model UKESM1 / *W. Stephanie, S. Alistair, T. Yongming, S. Marc, Y. Andrew, R. Eddy, W. Andy* // Atmos. Chem. Phys. 2022. Vol. 22. Art. 14503. DOI: 10.5194/acp-22-14503-2022.
17. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model / *S.-W. Han, H.-S. Joo, K.-C. Kim, J.-S. Cho, K.-J. Moon, J.-S. Han* // Atmosphere. 2024. Vol. 15. Art. 477. DOI: 10.3390/atmos15040477.
18. Analyzing environmental risk, source and spatial distribution of potentially toxic elements in dust of residential area in Xi'an urban area, China / *B. Yu, X. Lu, X. Fan, P. Fan, L. Zuo, Y. Yang, L. Wang* // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2021. Vol. 208. Art. 111679. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111679.
19. Investigation of air pollution with fine dust during repair and construction work inside premises / *A. Evtushenko, V. Lupinogin, E. Kaluzgina, A. Strelyaeva, A. Sakharova* // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 937. Art. 022082. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022082.

© Манжильевская С. Е., Бурлаченко А. О., Бакин Н. С., 2025

Поступила в редакцию
28.04.2025

Ссылка для цитирования:

Манжильевская С. Е., Бурлаченко А. О., Бакин Н. С. О предотвращении распространения мелкодисперсной пыли на стройплощадке при кладке стен из газобетонных блоков с точки зрения экологической

безопасности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 194—201. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_194.

Об авторах:

Манжильевская Светлана Евгеньевна — канд. техн. наук, доц. каф. организации строительства, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Российская Федерация, 344001, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; smanzhilevskaya@yandex.ru

Бурлаченко Александр Олегович — аспирант каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; a.o.burlachenko@gmail.com

Бакин Никита Сергеевич — аспирант каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1

Svetlana E. Manzhilevskaya^a, Alexander O. Burlachenko^b, Nikita S. Bakin^b

^a *Don State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

ON MEASURES TO PREVENT THE SPREAD OF FINE DUST ON THE CONSTRUCTION SITE DURING STONE WORKS FROM THE POINT OF VIEW OF ENVIRONMENTAL SAFETY

This article discusses a method for reducing the amount of dust on a construction site. To assess the effectiveness of the developed equipment, in particular, the fog-forming cannon, field measurements were made during stone work at a construction site in g. Kostroma. To analyze the dustiness of the air at the construction worker's workplace and assess the effect of the fog gun, the statistical dependence of the number of dust particles was studied depends on the following factors: location of the workplace on the site, relative humidity and temperature. During the study, the following conditions were met: the premises were closed, and measurements were made during stone work. The experimental results demonstrated the effectiveness of using a fog gun for dust suppression.

Key words: point-pattern housing development, dust deposition, dust emissions in construction, environmental safety of urban areas, dust suppression.

For citation:

Manzhilevskaya S. E., Burlachenko A. O., Bakin N. S. [On measures to prevent the spread of fine dust on the construction site during stone works from the point of view of environmental safety]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 194—201. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_194.

About authors:

Svetlana E. Manzhilevskaya — Doctor of Engineering Sciences, Don State Technical University (DSTU). 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344001, Russian Federation; smanzhilevskaya@yandex.ru

Alexander O. Burlachenko — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; a.o.burlachenko@gmail.com

Nikita S. Bakin — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation