

УДК 504.3.054

С. Е. Манжилевская^а, Д. Р. Маилян^а, В. И. Чурикова^б, А. О. Бурлаченко^б

^а*Донской государственный технический университет*

^б*Волгоградский государственный технический университет*

О РАЗРАБОТКЕ ГРАФИКА УЧЕТА УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ЧАСТИЦ PM_{2,5} И PM₁₀ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В современных городах активно развивается точечное строительство в условиях плотной застройки. Загрязнение пылью, возникающее при строительных работах, представляет серьезную экологическую проблему, которая требует тщательного изучения. Особенно важно проанализировать механизмы распространения пыли в городском пространстве, где уже существует определенный уровень загрязнения, обусловленный местными природно-климатическими факторами. Необходимо провести комплексную оценку строительных площадок как источников загрязнения, учитывая все факторы образования пыли. Исследование посвящено разработке организационно-технологических решений мониторинга распространения пылевых частиц и контроля строительных процессов с точки зрения пылевыведения. Особое внимание уделено измерению концентраций частиц PM_{2,5} и PM₁₀, выделяемых при проведении строительных операций. На основе натурных наблюдений проанализированы показатели максимального и среднесуточного содержания строительной пыли в атмосфере строительной площадки. Разработаны инструменты для отслеживания уровня запыленности непосредственно в зоне проведения строительных работ.

К л ю ч е в ы е с л о в а: точечная застройка, экологическая безопасность, пылевые выбросы в строительстве, пылеподавление.

Введение

В мировом масштабе строительная индустрия является одним из главных источников экологического вреда [1]. В процессе возведения объектов образуются значительное количество пыли при различных видах работ — от шлифовки и сверления до устройства каменной кладки и армирования [2].

В современных городах остро стоит экологическая проблема, связанная с мелкодисперсной пылью размерами PM_{2,5} и PM₁₀. Особую опасность она представляет для работников строительных площадок и для жителей прилегающих районов [3]. Даже непродолжительное воздействие этих частиц способно вызвать серьезные заболевания, включая силикоз. Среди всех видов загрязнителей, негативно влияющих на здоровье человека, строительная пыль занимает одну из лидирующих позиций, существенно ухудшая экологическую обстановку в городской среде. Масштаб этой проблемы настолько велик, что она превратилась в серьезную угрозу для безопасности и благополучия городского населения [4].

В работах В. Н. Азарова значительное внимание уделяется исследованию выбросов мелкодисперсной пыли в строительном секторе [5]. Хотя непосредственное выполнение строительных работ занимает относительно небольшой промежуток времени в общем цикле инвестиционно-строительного проекта, именно этот этап характеризуется максимальным воздействием на экологическую обстановку окружающей среды [6].

Десятки одновременно действующих строительных площадок создают серьезную экологическую нагрузку на прилегающие жилые территории [7].

Для решения этой проблемы необходим комплексный подход, включающий разработку технических, организационных и управленческих мер по локализации пылевого загрязнения в границах строительных объектов.

В современных условиях интенсивного развития городов и расширения строительного сектора возникает острая необходимость в комплексном исследовании экологического воздействия строительных объектов. Многие исследователи, включая Н. В. Бакаеву [8], В. И. Теличенко [9] и др., внесли значительный вклад в изучение данной проблематики. Особую актуальность приобретает анализ распространения пылевых загрязнений в условиях плотной городской застройки, где строительные площадки располагаются в ограниченном пространстве. При этом важно учитывать существующий фоновый уровень загрязнения, обусловленный природно-климатическими особенностями и рельефом местности. Требуется детальное исследование всех источников пылевого загрязнения на объектах строительства, особенно при возведении многоэтажных жилых комплексов с поэтапным вводом в эксплуатацию.

Материалы и методы

Исследование структурировано в три последовательных этапа, где ключевой задачей первого этапа стал мониторинг пылевого загрязнения в Ростове-на-Дону. Опираясь на результаты предшествующих работ [10–12], поставлена цель проанализировать текущие показатели фоновой концентрации пыли на городской территории Ростова-на-Дону и проследить изменения уровня запыленности, связанные с расширением строительной деятельности в городе. При проведении замеров учитывались специфические природно-климатические особенности. Приоритетными зонами наблюдения определены участки активного строительства, где ведется как новое возведение объектов, так и реконструкция существующих зданий.

На протяжении полугода еженедельно осуществлялся мониторинг загрязнения воздуха с использованием портативного счетчика частиц Lighthouse Handheld 3016 IAQ. Замеры выполнялись в 44 фиксированных точках города. На основе собранных данных создан картографический план, отображающий распределение пылевого загрязнения в приземном слое атмосферы Ростова-на-Дону (рис. 1).

Следующий этап исследования включал регулярное наблюдение за идентичными по технологии возведения объектами, расположенными в районах с максимальной концентрацией пыли.

На заключительном этапе проведен анализ данных по загрязнению воздуха пылью на пяти различных объектах строительства. Для каждого объекта созданы детальные сетевые модели учета удельного объема пылевых выбросов частиц PM_{2,5} и PM₁₀, принимая во внимание местные погодные условия и особенности распространения пылевых частиц.

Результаты практических замеров концентрации пыли показали высокую точность теоретических расчетов, отклонение фактических значений от прогнозируемых составило всего 1...2 %. На основе этих измерений составлены графики распределения пылевого загрязнения на весь период выполнения строительных работ.

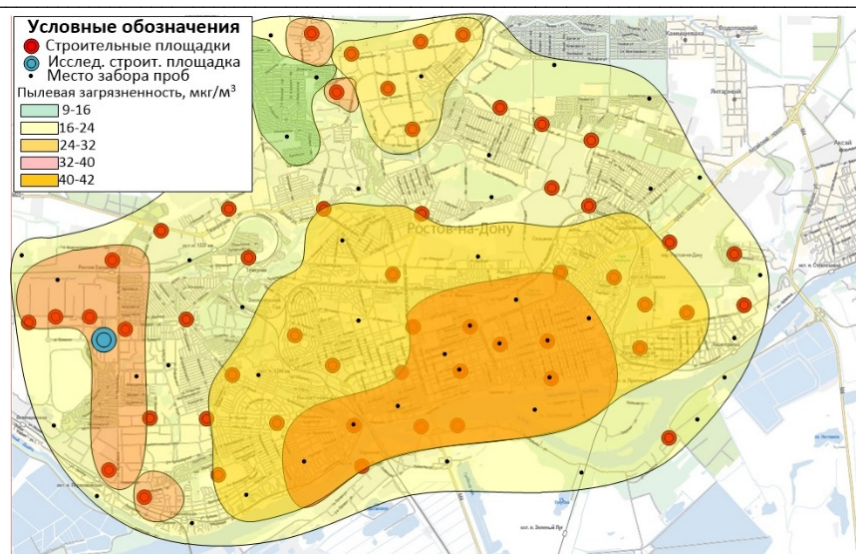


Рис. 1. Картографический план, отображающий распределение пылевой загрязненности в приземном слое атмосферы Ростова-на-Дону

На рисунке 2 показана строительная площадка, где возводился 14-этажный жилой дом в микрорайоне «Левенцовский». Данный объект выбран для реализации разработанного проектного решения.



Рис. 2. Объект исследования: строительная площадка 14-этажного многоквартирного жилого дома

Результаты и обсуждение

Для прогнозирования концентрации и распространения пыли во время строительства разработан метод сетевого моделирования удельных пылевых выбросов строительно-монтажных работ. Данный инструмент позволяет рассчитать общий объем пылевых выбросов, определить суточные и максимальные показатели концентрации загрязнения, а также выявить области, где предельно допустимые концентрации (ПДК) могут быть превышены. Такой подход ценен как на стадии проектирования, так и при непосредственном выполнении строительных работ, помогая контролировать экологическую обстановку на площадке.

Для минимизации негативного воздействия пылевых выбросов в процессе строительства применяется система календарного планирования работ.

Она позволяет отслеживать и контролировать уровень пылевого загрязнения в различные временные периоды, а также своевременно внедрять методы по снижению вредных выбросов.

На основе данных экологического мониторинга строительных объектов выявлена необходимость создания методики прогнозирования пылевых выбросов. Эта методика призвана решать несколько ключевых задач: рассчитывать удельные показатели пылевых выбросов в строительстве, прогнозировать распространение мелкодисперсных частиц PM_{2,5} и PM₁₀, учитывать влияние климатических и природных условий. Конечная цель — предотвратить распространение пылевого загрязнения на прилегающие территории при точечной застройке.

Разработанная методика позволяет не только планировать строительно-монтажные работы с учетом пылевой нагрузки, но и принимать своевременные меры по защите окружающей среды в зависимости от конкретных условий строительства.

В соответствии с законодательством при разработке проектной документации для капитального строительства необходимо включать раздел «Оценка воздействия строительного производства на окружающую среду» (ОВОС) с разработкой плана мероприятий по ее защите¹. Разработка сетевой модели удельных выбросов пыли на строительной площадке и календаризация работ с прогнозируемыми выбросами частиц PM_{2,5} и PM₁₀ должны стать частью проектной документации.

Моделирование строительного процесса требует анализа местности, где планируется возведение объекта. Особое внимание уделяется специфике района застройки и строительным условиям. Эти сведения берутся из организационного раздела проектной документации.

Важным аспектом является обоснование выбранного плана организации работ, которая гарантирует своевременное завершение всех этапов согласно календарному графику. Этот план детально описывает порядок строительства зданий, прокладки инженерных сетей и транспортной инфраструктуры, учитывая сроки строительства, реконструкции или капитального ремонта.

Для создания графика удельных пылевых выбросов и организации календарного планирования авторы располагали необходимой информацией из проекта производства работ (ППР) по возведению многоквартирного дома в 14 этажей. Строительная площадка объекта расположена в окружении городских зданий высотой от 10 до 50 м с севера и запада. Территория имеет ровный рельеф и граничит с проспектом им. Солженицына умеренной транспортной загруженности на востоке, а южная часть прилегает к жилой зоне, где отсутствует автомобильное движение.

Плотная городская застройка вокруг площадки существенно повлияла на ветровой режим территории. При характерной для Ростова-на-Дону скорости ветра 5 м/с на участке строительства она снизилась до 2...3 м/с. Измерения показали преимущественно северо-восточное направление воздушных потоков, относительная влажность воздуха составляла 60...65 %.

¹ О составе проектной документации и требованиях к их содержанию. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008. № 87. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949>.

Многokвартирный комплекс, состоящий из двух секций высотой 14 этажей возводился с продольно наружными и внутренними несущими стенами. Фасадная отделка выполнялась декоративной штукатуркой поверх стен из мелкоштучных материалов. Строительные работы, рассчитанные на 743 рабочих дня, велись на участке площадью 1111,3 м². По завершении общая площадь жилого объекта составит 12 271,5 м².

Для анализа пылевого загрязнения частицами PM_{2,5} и PM₁₀ от строительно-монтажных операций разработана сетевая модель, учитывающая эмиссию мелкодисперсных частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в течение всего периода строительства. Фрагмент данной модели изображен на рис. 3.

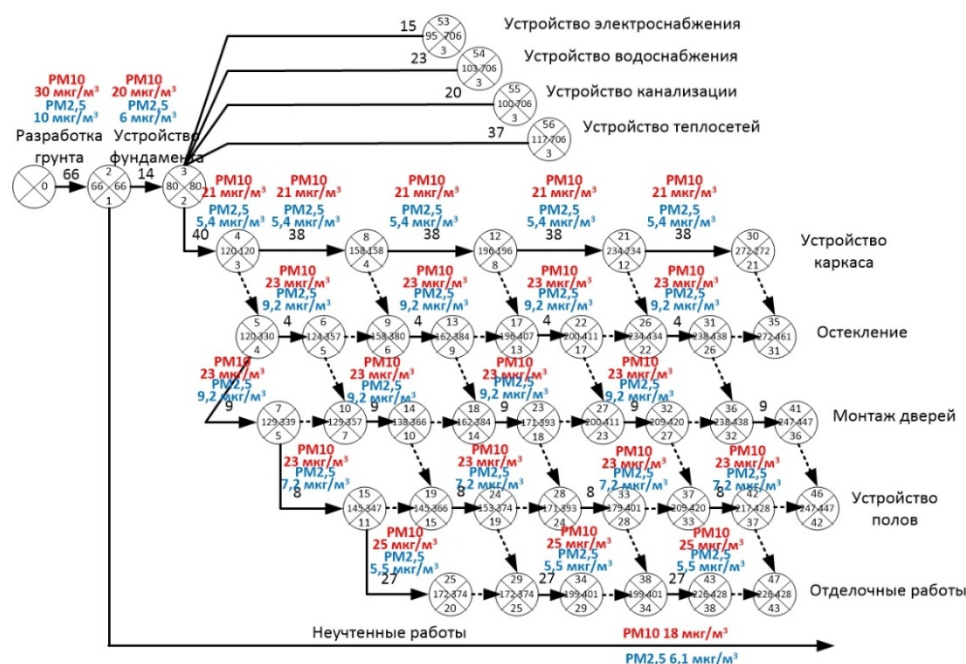


Рис. 3. Фрагмент сетевой модели удельных пылевых выбросов PM_{2,5} и PM₁₀

Календарное планирование строительного процесса реализовано с использованием диаграммы Ганта, основанной на сетевом моделировании. Такой подход позволяет отслеживать концентрацию пылевого загрязнения на всех этапах строительства. Построенная эпюра отражает суточные показатели валового выброса мелкодисперсных частиц PM_{2,5} и PM₁₀. Благодаря этим данным появляется возможность проводить количественный и качественный анализ содержания пыли в воздухе строительной площадки на соответствие ПДК и определять необходимость внедрения конкретных мер по локализации пылевого загрязнения в границах строительного участка.

Предлагается новый подход к организации строительных работ с учетом контроля пылевого загрязнения PM_{2,5} и PM₁₀. Разработанная программа мониторинга включает следующие обязательные этапы:

1. Ключевым элементом является ежедневное моделирование распространения пылевых загрязнений, основанное на данных временной эпюры и графика выбросов (рис. 4). Это позволяет отслеживать совокупный объем

пылевых частиц в атмосфере.

2. Регулярное получение руководителем строительного производства метеорологических данных, в т. ч. информации о скорости и направлении воздушных потоков. Такие сводки должны запрашиваться каждый месяц.

3. Документирование типов пылевых частиц, образующихся при различных строительных операциях. К проекту мероприятий по охране окружающей среды (ПМООС) должна прилагаться подробная характеристика пыли для каждого строительного объекта.

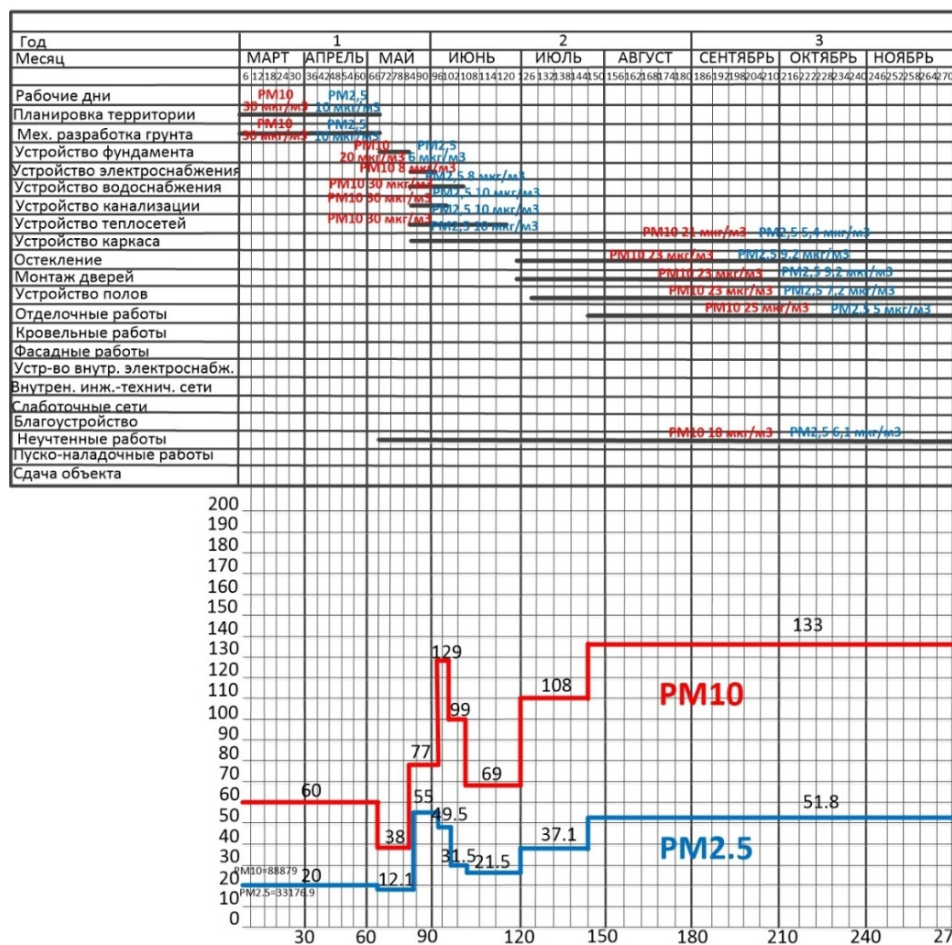


Рис. 4. Фрагмент графика удельных пылевых выбросов PM2,5 и PM10.

В ходе строительных работ, длящихся 743 дня, зафиксированы следующие показатели выбросов мелкодисперсной пыли: частицы PM10 достигли значения 88,8 мг/с, а PM2,5 33,9 мг/с, что составляет 122,7 мг/с общего валового выброса. Эти данные получены путем вычисления площади эпюры пылевых выбросов на строительном объекте.

Контроль концентрации вредных пылевых загрязнений на протяжении всего периода строительства осуществляется согласно графику работ группой специалистов, включающей представителя авторского надзора, мастера, прораба и инженера по технике безопасности.

В процессе возведения объекта ожидаются различные уровни концентрации пыли. В дни наибольшей производственной активности на стройплощадке среднесуточный показатель достигнет 130 мкг/м^3 . Мониторинг среднесуточных значений проводится каждый день с учетом графика выполняемых строительных операций. При этом годовой усредненный показатель зафиксирован на уровне 168 мкг/м^3 , а пиковая концентрация в период строительства не превысит 66 мкг/м^3 .

Заключение

Моделирование распространения мелкодисперсной пыли за пределы строительной площадки, включающее анализ природно-климатических условий и расчет пылевых выбросов при проведении строительно-монтажных работ, является ключевым фактором для разработки паспорта экологической безопасности прилегающих городских территорий в условиях точечного строительства. Хотя текущие замеры концентрации пылевых частиц на объекте не превышают предельно допустимых значений, с учетом фоновых показателей загрязнения воздуха в Ростове-на-Дону суммарные значения оказываются выше нормативных. Для контроля экологической безопасности территории строительства необходимо разрабатывать график пылевого загрязнения строительного производства, основанный на существующих моделях строительно-монтажных работ и определять зоны с повышенными концентрациями вредных веществ.

Корректировка графика строительных работ возможна благодаря регулярному мониторингу уровня концентрации пыли на строительной площадке. Анализируя распространение пылевых частиц с учетом метеорологических факторов, можно эффективно отслеживать участки, где происходит превышение ПДК на прилегающих территориях. Это позволяет своевременно вносить изменения в комплекс мер по снижению пылевого загрязнения в зоне строительства.

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. Бакаева Н. В., Калайдо А. В. Обеспечение радиационно-экологической безопасности объектов строительства // Строительство и реконструкция. 2018. № 3. С. 39—45.
9. Сумеркин Ю. А., Теличенко В. И. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 6. С. 75—79.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

© Манжильевская С. Е., Маилян Д. Р., Чурикова В. И., Бурлаченко А. О., 2025

Поступила в редакцию
31.03.2025

Ссылка для цитирования:

Манжильевская С. Е., Маилян Д. Р., Чурикова В. И., Бурлаченко А. О. О разработке графика учета удельного объема пылевых выбросов частиц PM_{2,5} и PM₁₀ в строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 202—210. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_202.

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

Маилян Дмитрий Рафаэлович — зав. каф. железобетонных и каменных конструкций, Донской государственный технический университет (ДГТУ). Российская Федерация, 344001, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; dmailyan868@mail.ru

Чурикова Валерия Игоревна — канд. техн. наук, ст. препод. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vachurikova@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

**Svetlana E. Manzhilevskaya^a, Dmitriy R. Mailyan^a, Valeria I. Churikova^b,
Alexander O. Burlachenko^b**

^a Don State Technical University

^b Volgograd State Technical University

ON THE DEVELOPMENT OF A SCHEDULE FOR ACCOUNTING THE SPECIFIC VOLUME OF PM_{2.5} AND PM₁₀ DUST EMISSIONS IN CONSTRUCTION

In modern cities, point-pattern construction is actively developing, implementing many objects in conditions of dense development. Dust pollution that occurs during construction work is a serious environmental problem that requires careful study. It is especially important to analyze the mechanisms of dust distribution in urban areas, where there is already a certain level of pollution caused by local natural and climatic factors. It is necessary to conduct a comprehensive assessment of construction sites as sources of pollution, taking into account all factors of dust formation. The research is devoted to the development of organizational and technological solutions that make it possible to

monitor the spread of dust particles and control construction processes from the point of view of dust release. Special attention is paid to measuring the concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ particles allocated during construction operations. Based on field observations, the indicators of the maximum and average daily content of construction dust in the atmosphere of construction works are analyzed. Developed tools for tracking the level of dust directly in the area of construction work.

Key words: point-pattern housing development, environment security, dust emissions in construction, dust suppression.

For citation:

Manzhilevskaya S. E., Mailyan D. R., Churikova V. I., Burlachenko A. O. [On the development of a schedule for accounting the specific volume of PM_{2.5} and PM₁₀ dust emissions in construction]. *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. 202—210. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_202.

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

Dmitriy R. Mailyan — Head of Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (DSTU). 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344001, Russian Federation; dmailyan868@mail.ru

Valeria I. Churikova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vachurikova@yandex.ru

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