

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

TECHNOSPHERE SAFETY



УДК 504.3.054

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-2-136-145>

Применение зеленых крыш в точечном строительстве для повышения экологической безопасности городских территорий

С.Е. Манжилевская  , А.И. Евтушенко , Д.Р. Маилян 

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

 smanzhilevskaya@yandex.ru

EDN: RETKXY

Аннотация

Введение. При проектировании строительных работ в условиях городской застройки важнейшим аспектом является защита окружающей среды от пылевого загрязнения. Особую сложность представляет организация работ в густонаселенных районах, где строительная площадка бывает зажата существующими зданиями и инфраструктурой. Успешная реализация подобных проектов требует тщательного анализа множества факторов: погодных условий, экологических рисков и ограниченного пространства для маневра. Принципиальное значение имеет разработка комплекса мер по контролю пылевых выбросов, возникающих в ходе строительных операций. Поэтому технологические инновации в области экологичных кровельных систем становятся ключевым элементом современного градостроительства. Как показывают научные изыскания последних лет, экологичные конструкции способствуют рациональному использованию городского пространства и заметно улучшают состояние окружающей среды, но при этом в результатах таких исследований отсутствуют данные, которые бы подтверждали, что конструкции зеленой кровли и растительный покров на них эффективны для снижения пылевого загрязнения в условиях точечной застройки, где источники пылевого загрязнения — строительные площадки — соседствуют с уже заселенными объектами и стесненность пространства не дает возможности полностью оградить жителей городов от пылевого воздействия. Цель данной работы — дать оценку эффективности использования зеленых крыш для борьбы с распространением пыли в районах активного точечного строительства, а также разработать собственные конструкции зеленой кровли. Внедрение зеленых крыш в точечное строительство не только преобразует архитектурный облик городских кварталов, но и существенно улучшает качество городской среды. Применение подобных экологичных решений способствует общей модернизации строительной отрасли, делает её более безопасной для окружающей среды и комфортной для жителей.

Материалы и методы. В рамках масштабного строительства жилого комплекса «Красный Аксай» в Ростове-на-Дону был проведен экологический эксперимент. В зоне ведения строительных работ и за пределами ограждающих конструкций строительной площадки в марте 2020 года сотрудники подрядной организации высадили травянистые растения шести разновидностей, типичные для Ростовской области. Каждый вид растений занимал площадь в шесть квадратных метров, формируя общую экспериментальную зону в 36 квадратных метров. Методология определения объема пылевых отложений, улавливаемых растениями, включала в себя отбор при помощи кисти проб пылевых частиц с поверхности листьев растений, который производился два раза в неделю с мая по октябрь 2020 года, в период активного строительства многоэтажного дома точечной застройки. Отбор проб воздуха для определения концентрации в нем пыли производился с использованием электрического аспиратора ПУ-3Е/12 и фильтров из перхлорвиниловых волокон АФА-ВП10.

Результаты исследования. Исследования показали, что в условиях преобладающего восточного ветра (3–5 м/с) и влажности в 40 % в период производства строительных работ высаженная растительность значительно влияла на качество воздуха. Над озелененной зоной наблюдалось снижение концентрации пылевых частиц РМ10 на 10 %, на расстоянии 10 метров от растительного покрова, по сравнению с прилегающей строительной зоной, — на 15 %. Замеры количества пылевого осадка в вегетационный период (май–октябрь) выявили существенную динамику: если в начале сезона (май–июнь) количество пылевых отложений на растениях составляло максимум 0,42 мг/см², то в разгар теплого сезона (июль–октябрь) оно достигало 1,81 мг/см². Финансовые расчеты показали, что при долгосрочной эксплуатации (до 40 лет) традиционные и озелененные крыши имеют одинаковую стоимость. Для достижения поставленной цели исследования авторами были разработаны и применены на практике два типа конструктивных решений зеленой кровли для общественных и жилых зданий.

Обсуждение и заключение. Конструкции зеленой кровли могут служить эффективной преградой для распространения пыли в воздушной среде, что особенно актуально для районов, расположенных вблизи точечных застроек, где отмечается значительная концентрация взвешенных веществ в воздухе. Для снижения концентрации взвешенных веществ в жилой зоне рядом с точечной застройкой монтаж конструкций зеленой кровли необходимо осуществлять на террасах, крышах, стилобатной части зданий, где окна и входные группы расположены рядом со строительной площадкой. В целях сдерживания распространения взвешенных частиц монтаж зеленой кровли должен быть осуществлен на малоэтажных зданиях, например, детских садах, школах, торговых павильонах — в зависимости от общей концепции градостроительного плана застройки района или конкретной территории.

Ключевые слова: зеленые крыши, распространение пыли, экологическая безопасность городских территорий, мелкодисперсная пыль, пылевое загрязнение

Для цитирования: Манжильевская С.Е., Евтушенко А.И., Маилан Д.Р. Применение зеленых крыш в точечном строительстве для повышения экологической безопасности городских территорий. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2025;9(2):136–145. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-2-136-145>

Original Empirical Research

Green Roofs in Infill Development to Improve the Environmental Safety of Urban Areas

Svetlana E. Manzhilevskaya , Aleksandr I. Evtushenko , Dmitrii R. Mailyan 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ smanzhilevskaya@yandex.ru

Abstract

Introduction. When designing construction projects in urban areas, it is essential to protect the environment from dust pollution. This is particularly challenging in densely populated areas where the construction site is often surrounded by existing buildings and infrastructure. Successful implementation of such projects requires a thorough analysis of many factors, including weather conditions, environmental risks, and limited space for maneuvering. A crucial aspect of this process is the development of measures to control dust emissions during construction. Therefore, technological innovations in the field of eco-friendly roofing systems are becoming a key element of modern urban planning. As scientific research in recent years has shown, eco-friendly structures contribute to the rational use of urban space and significantly improve the environment. However, the results of these studies lack data on the effectiveness of green roof structures and vegetation on them in reducing dust pollution in residential areas. They are adjacent to already populated objects and the lack of space makes it impossible to completely protect urban residents from dust exposure. The aim of this work is to evaluate the effectiveness of green roofs to control the spread of dust in areas with active infill development and to develop our own green roof designs. The introduction of green roofs into residential construction not only improves the architectural appearance of neighborhoods, but also enhances the quality of the urban environment. The use of eco-friendly solutions in construction contributes to the modernization of the industry, making it safer for the environment and more comfortable for residents.

Materials and Methods. An environmental experiment was conducted as part of the large-scale construction of the Krasny Aksai residential complex in Rostov-on-Don. In March 2020, in the construction area and outside the site, employees of the contractor planted herbaceous plants of six species typical of the Rostov region. Each plant species occupied an area of six square meters, creating a total experimental area of 36 square meters. The methodology for determining the volume of dust deposits trapped by plants included sampling dust particles from the surface of plant leaves with a brush, which was performed twice a week from May to October 2020, during the active construction of a multi-storey residential building. Air samples were taken to measure dust concentrations using an electric aspirator PU-3E/12 and filters made from perchlorvinyl fiber AFA-VP10.

Results. The research showed that during the construction period with an easterly wind of 3–5 meters per second and humidity of 40%, the planted vegetation had a significant impact on air quality. There was a decrease in the concentration of PM10 dust particles above the green area by 10%, and at a distance of 10 meters from the vegetation cover, compared to the adjacent construction area, by 15%. Measurements of dust deposits over the growing season (May–October) revealed a significant dynamics: if at the beginning of the season (May–June) the amount of dust deposits on plants was a maximum of 0.42 mg/cm², then in the midst of the warm season (July–October) it reached 1.81 mg/cm². Financial calculations showed that traditional and green roofs were equally cost-effective over the long term (up to 40 years). To achieve this research goal, the authors have developed and implemented two types of constructive solutions for green roofs for public and residential buildings.

Discussion and Conclusion. Green roof structures can act as an effective barrier against the spread of dust in the air, especially in areas near infill development where there is a high concentration of suspended solids. To reduce this concentration in residential areas near infill development, it is recommended to install green roofs on terraces, rooftops, and substructures of buildings with windows and entrances located near the construction site. In order to curb the spread of suspended particles, it is also suggested that green roof installation be considered for low-rise buildings such as kindergartens, schools, and shopping malls. The decision on where to install these structures should depend on the overall urban development plan for the area or specific territory.

Keywords: green roofs, dust distribution, environmental safety of urban areas, fine dust, dust pollution

For citation. Manzhilevskaya SE, Evtushenko AI, Mailyan DR. Green Roofs in Infill Development to Improve the Environmental Safety of Urban Areas. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2025;9(2):136–145. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-2-136-145>

Введение. Современные города активно интегрируют новые экологические решения в свою структуру, и зеленые кровли уже стали традиционным элементом урбанистического планирования [1]. Как показали недавние исследования, такие конструкции существенно способствуют рациональному использованию городского пространства и заметно улучшают состояние окружающей среды [2, 3]. Эффективность растительных покрытий в нейтрализации загрязняющих веществ, включая PM0.5–PM10, подтверждена многочисленными изысканиями [4, 5]. Сегодня озелененные крыши признаны не инновацией, а необходимым компонентом стратегий по оздоровлению городских экосистем. Их вклад в повышение качества жизни горожан и восстановление природного баланса в урбанизированных зонах получает все большее признание у специалистов и общественности [6].

Исследования доказали, что объекты точечной застройки существенно ухудшают качество воздуха в городах, выделяя вредные частицы PM0.5–PM10, которые негативно влияют на здоровье жителей [7]. Поэтому архитекторам и застройщикам следует рассматривать зеленые кровли как стандартный элемент строительных проектов [8]. Внедрение таких экологических решений в повседневную практику становится ключевым фактором для обеспечения экологической устойчивости и безопасности современного градостроительства [9].

Ограниченность в тесных городских пространствах природных ресурсов требует их рационального использования и функционального расширения, это особенно важно при точечной застройке и реконструкции устаревших зданий [10]. Стратегией восполнения таких истощающихся ресурсов становится внедрение экологических и экономически рентабельных архитектурных концепций, включая озелененные крыши [11]. Эти решения минимизируют пылевое загрязнение в жилых кварталах, благотворно влияют на качество жизни городских жителей, способствуют более эффективному природопользованию [12].

В городской среде, где пространство ограничено, превращение стандартных кровельных конструкций в экологические оазисы представляется идеальным решением для возвращения природного покрова. Это особенно актуально при отсутствии альтернативных вариантов землепользования. Зеленая кровля представляет собой комплексную структуру с множеством уровней, размещаемую на верхних частях строений [13]. Она включает в себя основание и разнообразные промежуточные элементы — от гидроизоляционных барьеров до растительного покрова. Все эти слои функционируют как единый механизм, обеспечивающий жизнедеятельность флоры на крыше и эффективно восполняющий утраченные в процессе строительства зеленые территории. Реализация таких проектов требует детального проектирования и анализа весовых характеристик для гарантии надежности и устойчивости этих инновационных систем.

Исследовательский фокус в сфере зеленых кровельных систем направлен преимущественно на их способность очищать воздух от загрязняющих веществ — SO₂, O₃, NO₂ и PM10 [14, 15]. Растительность на крышах зданий, подобно другим элементам городского озеленения, демонстрирует значительный потенциал в борьбе с атмосферным загрязнением, сокращая вредные выбросы на 35–100 %, о чем свидетельствуют проведенные исследования. Эти экологические преимущества привлекают всё больше внимания к зеленым кровлям по всему миру.

Цель данной работы — оценка эффективности зеленых крыш в борьбе с распространением пыли в атмосфере городской среды, что особенно актуально для районов активного точечного строительства. Для реализации поставленной цели были решены задачи по определению состава растительного слоя, который эффективно справляется с пылеулавливанием, и разработаны конструкции систем озелененных крыш, эффективные для монтажа в зоне точечной застройки. Подобные экологические решения способствуют общей модернизации строительной отрасли, делают её более безопасной для окружающей среды и комфортной для жителей.

Материалы и методы. Выбор оптимального местоположения играет ключевую роль в максимизации пользы конструкций зеленой крыши в борьбе с загрязнителями PM2.5 и PM10, учитывая сложности с их установкой. Для российских городов существуют специфические параметры определения приоритетных зон монтажа этих экологических конструкций. Среди важнейших факторов выделяется принадлежность участка к определенной климатической зоне согласно схеме районирования (рис. 1) [16]. Именно правильное расположение зеленых крыш определяет их результативность в снижении концентрации вредных частиц в атмосфере.

Современные урбанистические тенденции требуют системного подхода к созданию экологических пространств в городской среде. Решение этой задачи возможно путем разработки доступных, экономически эффективных и технологически несложных решений. Критерии для имплементации включают в себя локацию в урбанистических центрах с численностью населения более 250 тысяч человек, а также обязательное условие, чтобы зеленые зоны составляли минимум 40 % от общей территории квартальной застройки [17].



Рис. 1. Карта территориального разграничения России для оптимального использования зеленых крыш в различных климатических условиях

В ходе строительства жилого комплекса «Красный Аксай» в Ростове-на-Дону в зоне проведения строительных работ и за пределами ограждающих конструкций строительной площадки в марте 2020 года были высажены травянистые растения шести разновидностей, типичные для Ростовской области (рис. 2). С мая по сентябрь при возведении монолитного каркаса здания и каменно-монтажных работ два раза в неделю в течение 120 минут бралось по 10 проб воздуха в трех контрольных точках по стандартной методике РД 52.04.893–2020¹ — на границе строительной площадки по ул. Береговой, 117 б, стр. 5 (точка А на рис. 2), над зоной вегетации растений (точка Б на рис. 2) и на расстоянии 10 метров от зеленой зоны, в жилой зоне ЖК «Красный Аксай» (точка В на рис. 2). За весь период наблюдений атмосферные показатели колебались: воздух прогревался от +14 до +25 °С, ветер достигал 3–5 метров в секунду, а относительная влажность составляла от 30 до 60 %.



Рис. 2. Строительная площадка точечной застройки:
1, 2 — места высадки растений; А, Б, В — контрольные точки измерения концентрации PM10

Каждый вид растений, высаженных в районе строительной площадки точечной застройки, занимал площадь в шесть квадратных метров, формируя общую экспериментальную зону в 36 квадратных метров. Все выбранные растения обладали высокой способностью к поглощению пыли, что было ключевым критерием при их подборе для данного исследования (рис. 3) [18, 19].

¹ РД 52.04.893–2020. Массовая концентрация взвешенных веществ в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений гравиметрическим методом. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293720/4293720281.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).

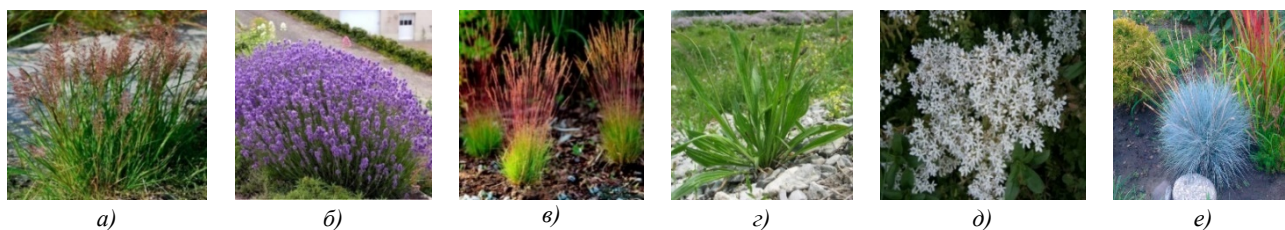


Рис. 3. Травянистые растения, характеризующиеся высокой эффективностью пылеоседания: а — полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*); б — лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia*); в — овсяница красная (*Festuca rubra*); г — подорожник ланцетный (*Plantago lanceolata*); д — очиток белый (*Sedum album*); е — овсяница сизая Фестина (*Festuca festina*)

Методология определения объема пылевых отложений, оседающих на растениях, предполагала проведение 50 замеров два раза в неделю в первой половине дня. Пылевые частицы собирались с поверхности листьев растений при помощи кисти. Процесс происходил в период активных работ по возведению многоэтажного дома точечной застройки, то есть с мая по сентябрь 2020 года. Собранный материал аккуратно перемещался в предварительно взвешенную чашку для дальнейшего испарения влаги и взвешивания. После отбора образцов с каждого вида растений проводилась их лабораторная обработка: жидкость подвергалась испарению, затем следовало высушивание осадка до стабилизации массы. Зафиксированные показатели позволяли рассчитать удельную концентрацию пыли — количество миллиграммов собранной пыли на квадратный сантиметр поверхности листьев растений. Результаты эффективности оседания частиц на листьях исследуемых растений представлены на рис. 4.

Отбор проб воздуха для определения концентрации в нем пыли производился с помощью электрического аспиратора ПУ-3Е/12, прошедшего поверку, и фильтрами из перхлорвиниловых волокон АФА-ВП10. Предварительные испытания данного измерительного оборудования в аэродинамической трубе показали, что погрешность измерений при разовом опыте не превышает 12 %, что соответствует требованиям РД 52.04.893–2020.

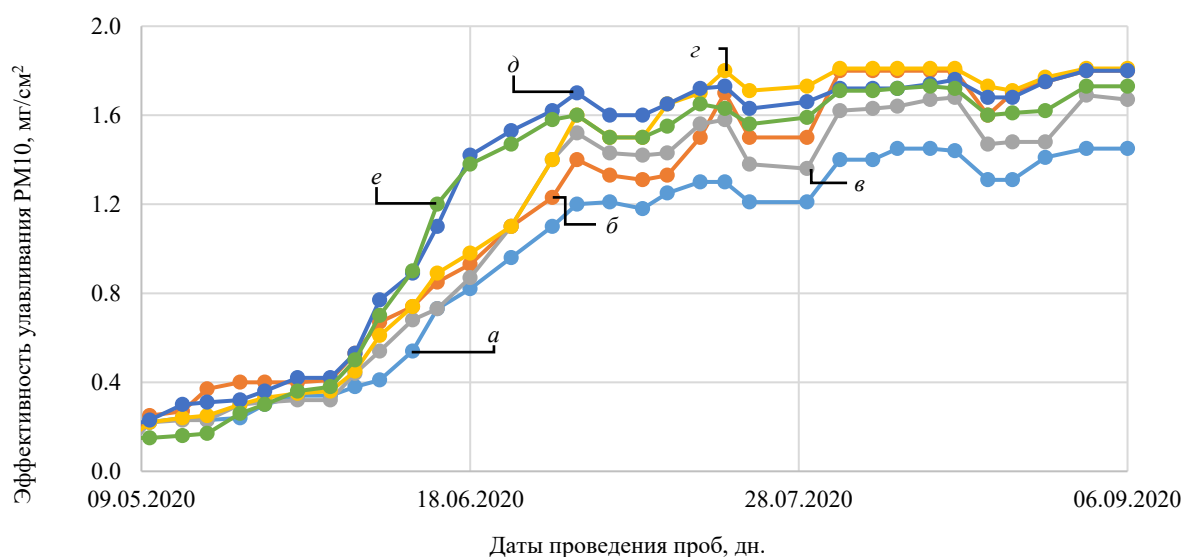


Рис. 4. Плотность пылеоседания PM10 на растениях в зоне точечной застройки: а — полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*); б — лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia*); в — овсяница красная (*Festuca rubra*); г — подорожник ланцетный (*Plantago lanceolata*); д — очиток белый (*Sedum album*); е — овсяница сизая Фестина (*Festuca festina*)

Результаты исследования. Анализ замеров показал, что в условиях преобладающего восточного ветра (3–5 м/с) и влажности воздуха 30–60 % в период производства работ высаженная растительность значительно влияла на качество воздуха. Над озелененной зоной наблюдалось снижение концентрации пылевых частиц PM10 от строительных работ в среднем от 10 (влажность — 30–35 %) до 20 % (влажность — 35–60 %), а на расстоянии 10 метров от растительного покрова, по сравнению с прилегающей строительной зоной, в среднем от 15 (влажность — 30–35 %) до 30 % (влажность — 35–60 %).

Замеры количества пылевого осадка в вегетационный период (май–сентябрь) выявили следующую динамику: если в начале сезона (май–июнь) количество пылевого осадка на растениях составляло максимум 0,42 мг/см², то в разгар теплого сезона (июль–сентябрь) оно достигало 1,81 мг/см². Динамика изменения количества пылевого осадка на растениях объясняется тем, что в период проведения замеров в начале вегетационного периода происходил рост растений, затем площадь растительного покрова увеличивалась, но при этом пылевой осадок, образующийся на листьях, мог быть снесен в воздух ветром со скоростью 3,5 м/с и выше. В период

с июля по сентябрь площадь поверхности растительного покрова уже была максимальной. На процесс активного пылеоседания влияло и то, что в первой половине дня на растениях образовывалась роса, а объем зеленой массы растений, позволяющей накапливать пылевые отложения на листьях, не давал внешним источникам воздействия (ветер, осадки) смести пылевой осадок на землю или в воздух. На рис. 5 представлена динамика изменения концентрации PM10 в период исследования в трех контрольных точках проведения замеров (строительная площадка, зона вегетации, жилая зона).

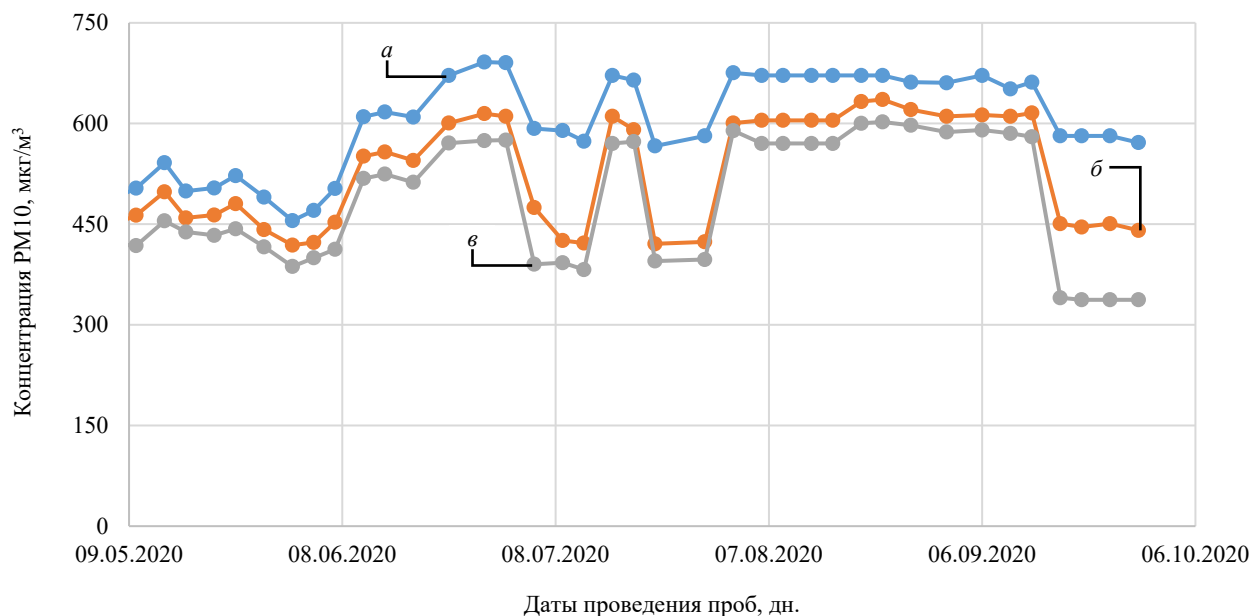
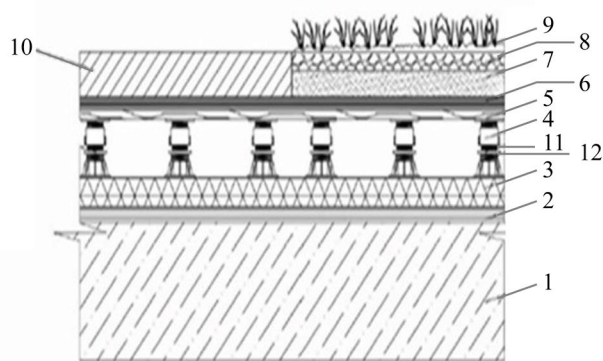


Рис. 5. Динамика изменения концентрации PM10 в период ведения строительных работ:
а — точка А, строительная площадка; б — точка Б, зона вегетации растений; в — точка В, жилая зона

Для достижения цели исследования авторы разработали инновационные, ресурсосберегающие и практичные конструкции зеленой кровли, которые можно и внедрять на этапе проектирования объекта точечной застройки, и без затруднений применять как инструмент снижения негативного воздействия пылевых выбросов от строительных работ при возведении новых архитектурных объектов или модернизации существующих строений различного функционального назначения.

Первая мобильная конструкция зеленой кровли разработана с возможностью ее демонтажа на зимний период, на данный вид кровли зарегистрирован патент № 191863U1 [20]. Структурные элементы такой кровли представляют собой комбинацию железобетонной плиты, долговечного антигнилостного кровельного войлока, регулируемых опор Forest Style из высокопрочного пропилен (с возможностью наращивания за счет дополнительной насадки 60 мм), а также двухслойного асфальтобетонного покрытия Ondulin. Конструктивная схема зеленой кровли и реализация данной конструкции на объекте после реконструкции в г. Ростове-на-Дону представлены на рис. 6.



Устройство зелёной кровли, предназначенной для монтажа на общественных зданиях:

- 1 — железобетонная плита перекрытия;
- 2 — настилающий слой еврорубероида;
- 3 — слой термоизоляции;
- 4 — регулируемые опоры;
- 5 — настилающий слой ондулина;
- 6 — слой гидроизоляции;
- 7 — дренажный слой;
- 8 — грунт;
- 9 — зелёные насаждения;
- 10 — террасная доска;
- 11 — оцинкованные шпильки;
- 12 — контргайка

а)



б)

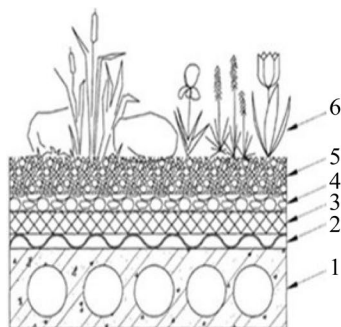


в)

Рис. 6. Конструктивные решения зеленой кровли для общественных зданий: а — конструктивная схема; б — объект для внедрения конструкции зеленой кровли — бизнес-центр «Лига Наций» (г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 91; в — реализованные конструктивные решения зеленой кровли

Для жилых зданий, зимних садов и террас предназначена второй тип конструкций. Эта система отличается несложным устройством, экономичностью и высокими показателями теплоизоляции и влагозащиты, на полезную модель зарегистрирован патент № 163334U1 [21]. Растительный слой высаживается в завершающей фазе работ. Его располагают по периметру зеленых участков конструкции. Процесс установки такой крыши предполагает использование двух разновидностей покрытия: первая — для боковой секции, обеспечивающей всесезонное использование зеленой крыши, вторая — для центральной части, где может размещаться, например, бассейн или кафе.

На рис. 7 представлена разработанная конструкция второго типа зеленой кровли, которая состоит из железобетонной плиты перекрытия, фильтрующего и растительного слоев. Ондулин применяется в качестве защитного элемента. Конструкция дополнительно оснащена слоем анкеров в грунте. Также представлено внедрение данного конструктивного решения на объекте городской застройки.



Конструкция зелёной кровли, предназначенная для жилых зданий:

- 1 — железобетонная плита;
- 2 — защитный слой — ондулин;
- 3 — теплоизолирующий слой из пенополистирола;
- 4 — фильтрующий слой из торфа и/или гравия;
- 5 — закрепляющая смесь грунта;
- 6 — растительный слой, содержащий субстрат с растениями

а)



б)



в)

Рис. 7. Конструктивные решения зеленой кровли для жилых зданий: а — конструктивная схема; б — объект для внедрения конструкции зеленой кровли в проектные решения (ЖК «Жемчужина Дона», г. Ростов-на-Дону, ул. Максима Горького, 240); в — реализованные конструктивные решения зеленой кровли

Себестоимость данных конструкций зеленой кровли начинается от 4 200 рублей за квадратный метр. Финансовые расчеты показывают, что при долгосрочной эксплуатации (до 40 лет) традиционные и озелененные крыши имеют примерно одинаковую стоимость. При этом инвестиции в монтаж систем зеленой кровли для бизнес-центра «Лига Наций» составила всего 1,3 % от общего бюджета реконструкции. В случае с многоквартирным высотным домом ЖК «Жемчужина Дона» доля расходов на разработку проектных решений, монтажа и озеленение крыши составила 4 % от совокупных затрат на строительство объекта.

Обсуждение и заключение. В результате проведенного авторами исследования доказано, что создание растительного покрова является достаточно эффективным барьером для распространения пылевого загрязнения от точечной застройки, эффективность пылеулавливания может достигать в среднем от 10 до 20 % в зависимости от уровня влажности воздушной среды. При этом важно правильно подобрать растения для грунта зеленой кровли и удачно ее расположить, чтобы получить максимальный эффект от пылеподавления, что значительно повысит экологическую безопасность жилой зоны в точечной застройке. Разработанные авторами два вида конструктивных решений зеленой кровли, применимые для работ по реконструкции зданий и возведению новых объектов, дают возможность в целом создать комплексную защиту городской территории от одного из наиболее вредных источников пылевых выбросов в городской среде — строительной площадки. Хотя внедрение таких технологий требует дополнительных финансовых вложений, они компенсируются снижением заболеваемости рабочих от вредного воздействия пыли примерно на 15 %. Это приводит к соответствующему уменьшению себестоимости строительных работ и экономии трудозатрат, одновременно обеспечивая более высокий уровень защиты как для работников на стройплощадке, так и для жителей близлежащих районов.

Список литературы / References

1. Versini P-A, Gires A, Tchiguirinskaia I, Schertzer D. Fractal Analysis of Green Roof Spatial Implementation in European Cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020;49:114–122. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126629>
2. Sanaz Tabatabaee, Amir Mahdiyar, Saeed Reza Mohandes, Syuhaida Ismail. Towards the Development of a Comprehensive Lifecycle Risk Assessment Model for Green Roof Implementation. *Sustainable Cities and Society*. 2022;76:103404. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103404>
3. Guowu Tao, Jingchun Feng, Haibo Feng, Hui Feng, Ke Zhang. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout. *Buildings*. 2022;12(5):531. <https://doi.org/10.3390/buildings12050531>
4. Gang Zhou, Zengxin Liu, Wenqi Shao, Biao Sun, Lin Li, Jianguo Liu. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans. *Indoor Air*. 2024;1:025616. <https://doi.org/10.1155/2024/5025616>
5. Louis Kumi, Jaewook Jeong, Jaemin Jeong, Jaehyun Lee. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types. *Buildings*. 2022;12(8):1137. <https://doi.org/10.3390/buildings12081137>
6. Gauri Mohan, Xavier AS. Impact of Dust Pollution from Construction Sites on On-Site Construction Workers. *Sustainability Agri Food and Environmental Research*. 2023;10:1–7. <https://doi.org/10.7770/safer-V10N1-art2465>
7. Манжильевская С.Е. Влияние мелкодисперсной пыли на окружающую среду при локальном строительстве. *Строительство и реконструкция*. 2020;6(92):86–99. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-92-6-86-98>
- Manzhilevskaya SE. Impact of Fine Dust on the Environment in Local Construction. *Building and Reconstruction*. 2020;6(92):86–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-92-6-86-98>
8. Манжильевская С.Е. Экологический мониторинг экологической безопасности в зонах строительства, реконструкции и функционирования объектов. *Строительные материалы и изделия*. 2019;2(3):78–84. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-3-78-84>
- Manzhilevskaya SE. Environmental Monitoring of Ecological Safety in Areas of Construction, Reconstruction and Operation of Objects. *Construction Materials and Products*. 2019;2(3):78–84. (In Russ.) <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2019-2-3-78-84>
9. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А., Николенко Д.А., Васильев А.Н., Козловцева Е.Ю. Исследование дисперсного состава пыли городской среды. *Вестник МГСУ*. 2020;15(3):432–442. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.3.432-442>
- Azarov VN, Kuzmichev AA, Nikolenko DA, Vasilev AN, Kozlovtsseva EYu. The Research of Dust Dispersed Composition of Urban Environment. *Vestnik MGSU*. 2020;15(3):432–442. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.3.432-442>
10. Сумеркин Ю.А., Теличенко В.И. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов. *Промышленное и гражданское строительство*. 2017;(6):75–79.
- Sumerkin YuA, Telichenko VI. Assessment of Ecological Safety of Territories Adjoining Residential Areas. *Industrial And Civil Engineering*. 2017;(6):75–79. (In Russ.)
11. Mekhala Kaluarachchi, Anuradha Waidyasekara, Raufdeen Rameezdeen, Nicholas Chileshe. Mitigating Dust Pollution from Construction Activities: A Behavioural Control Perspective. *Sustainability*. 2021;13(16):9005. <https://doi.org/10.3390/su13169005>
12. Wei Liu, Xiaohui Huang, Huapeng Chen, Luyao Han. Analyzed and Simulated Prediction of Emission Characteristics of Construction Dust Particles under Multiple Pollution Sources. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022;(1):7349001. <https://doi.org/10.1155/2022/7349001>
13. Temiloluwa Oluwapelumi Susan Owolabi, Oluwatoyin Olanrewaju Ajayi, Dominion Adahanyukpe Olofu. Assessment of Air Pollution Levels from a Building Construction Site on Lagos Island. *ABUAD Journal of Engineering Research and Development*. 2024;7(2):229–235. <https://doi.org/10.53982/ajerd.2024.0702.22-j>

14. Samaradiwakara DS, Pitawala HMTGA. Extent of Air Pollution in Kandy Area, Sri Lanka: Morphological, Mineralogical and Chemical Characterization of Dust. *Ceylon Journal of Science*. 2021;50(4):475–486. <https://doi.org/10.4038/cjs.v50i4.7946>
15. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control. *Journal of Innovation and Development*. 2023;2(2):18–21. <https://doi.org/10.54097/jid.v2i2.5904>
16. Безбородов Е.Л., Сысоева Е.В. Исследование проблемы загрязнения атмосферы мелкодисперсными частицами PM_{2.5} и PM₁₀. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024;1(94):186–202. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_1_186
- Bezborodov EL, Sysoeva EV. Investigation of the Problem of Atmospheric Pollution by Fine Particles PM_{2.5} and PM₁₀. *The Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series "Construction and Architecture"*. 2024;1(94):186–202. https://doi.org/10.35211/18154360_2024_1_186 (In Russ.)
17. Сысоева Е.В., Гельманова М.О., Слесарев М.Ю. Методика обоснования эффективности улавливания пыли «зелеными» крышами. *Вестник МГСУ*. 2022;17(9):1187–1205. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.9.1187-1205>
- Sysoeva EV, Gelmanova MO, Slesarev MYu. Methodology for Substantiating the Effectiveness of Dust Capture by “Green” Roofs. *Vestnik MGSU*. 2022;17(9):1187–1205. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.9.1187-1205>
18. Ardon-Dryer K, Clifford KR, Hand JL. Dust under the Radar: Rethinking How to Evaluate the Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States. *GeoHealth*. 2023;7(12):e2023GH000953. <https://doi.org/10.1029/2023GH000953>
19. Sang-woo Han, Hung-soo Joo, Kyoung-chan Kim, Jin-sik Cho, Kwang-joo Moon, Jin-seok Han. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model. *Atmosphere*. 2024;15(4):477. <https://doi.org/10.3390/atmos15040477>
20. Петренко Л.К., Манжильевская С.Е., Тимошенко Е.В., Семерникова А.Д. Конструкция зеленой кровли. Патент РФ № 191863U1. 2019. 4 с. <https://patents.google.com/patent/RU191863U1/ru>
- Petrenko LK, Manzhilevskaya SE, Timoshenko EV, Semernikova AD. *Green Roof Construction*. RF Patent No. 191863U1. 2019. 4 p. (In Russ.) <https://patents.google.com/patent/RU191863U1/ru>
21. Петренко Л.К., Манжильевская С.Е., Войт А.В. Конструкция зеленой кровли. Патент РФ № 163334U1. 2016. 2 с. <https://patents.google.com/patent/RU163334U1/ru>
- Petrenko LK, Manzhilevskaya SE, Voit AV. *Green Roof Design*. RF Patent No. 163334U1. 2016. 2 p. (In Russ.) <https://patents.google.com/patent/RU163334U1/ru>

Об авторах:

Светлана Евгеньевна Манжильевская, кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительства Донского государственного технического университета (344001, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), smanzhilevskaya@yandex.ru

Александр Иванович Евтушенко, доктор технических наук, декан факультета промышленного и гражданского строительства Донского государственного технического университета (344001, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), a.evtushenko@mail.ru

Дмитрий Рафаэлович Маилян, доктор технических наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344001, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), dmailyan868@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

С.Е. Манжильевская: формирование цели и задач исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

А.И. Евтушенко: проведение расчетов, оформление научной статьи.

Д.Р. Маилян: научное руководство, разработка концепция, развитие методологии.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Svetlana E. Manzhilevskaya, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Construction Organization, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344001, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), smanzhilevskaya@yandex.ru

Aleksandr I. Evtushenko, Dr. Sci. (Eng.), Dean of the Faculty of Industrial and Civil Engineering, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344001, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), a.evtushenko@mail.ru

Dmitrii R. Mailyan, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344001, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), dmailyan868@mail.ru

Claimed Contributorship:

SE Manzhilevskaya: formulation of the main concept, goals and objectives of the research, carrying out calculations, preparing the text, drawing the conclusions.

AI Evtushenko: carrying out calculations, design of a scientific article.

DR Mailyan: academic advising, research concept; methodology development.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 02.04.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 29.04.2025

Принята к публикации / Accepted 05.05.2025