

УДК 504.6

В. С. Симаков^а, Д. А. Николенко^б, М. Д. Азарова^а

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Донской государственный технический университет*

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЫЛИ, СВЯЗАННОЕ С ПРОВЕДЕНИЕМ РЕМОНТА И НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Строительство новых дорог и ремонт существующих приводит к загрязнению атмосферного воздуха опасными мелкодисперсными частицами. С другой стороны, качественный и своевременный ремонт продлевает жизненный цикл дорожных конструкций, влияет на трещинообразование, истирание, следовательно, на выделение пыли. В данной обзорной статье рассматриваются причины разрушения дорог, актуальные материалы дорожного строительства, приводятся концентрации PM10 и PM2.5 и дисперсный состав образующейся пыли, разбирается алгоритм принятия решения о проведении ремонта дорог и приводятся мероприятия по снижению уровня пыли.

Ключевые слова: PM10, PM2.5, SPOTEXLORER, дорожное строительство, ремонт дорожного покрытия.

Введение

Ввиду ускорения технического прогресса запыленность городских и жилых территорий стала одной из важнейших экологических проблем современности. ВОЗ признает мелкодисперсные взвешенные частицы PM10 и PM2.5 как загрязнитель, представляющий угрозу здоровью людей.

Целью данного исследования является теоретическое изучение выделения мелкодисперсной пыли при строительстве и ремонте дорог: способов измерения концентрации придорожной пыли, опыта проведения дисперсного анализа пыли при дорожном строительстве, приводится обзор дорожно-строительных операций, которые приводят к наибольшим концентрациям мелкодисперсных частиц.

Предлагается алгоритм принятия решения о целесообразности ремонта дороги с учетом динамического коэффициента и остаточного времени эксплуатации, а также приводятся известные способы снижения уровней пылеобразования при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Дорожный ремонт может быть продолжительным по времени, поэтому данная тема имеет важное значение при составлении сводных расчетов (СР), учитывающих степень загрязнения атмосферы.

Методы определения концентрации пыли

В настоящее время актуальными методами для определения концентраций PM10 и PM2.5 являются гравиметрический, метод микровесов и оптические методы [1].

Гравиметрический метод является арбитражным, т. к. на его показания не влияют климатические условия и химический состав пыли. Регламентируется следующими документами: РД 52.04.830—2015, ГОСТ 17.2.4.05—83, ГОСТ Р ИСО 9096—2006. Сущность метода гравиметрического определения концентрации пылевых частиц в воздухе состоит во взвешивании фильтра до и после того, как через него прошел известный поток воздуха. По разнице

веса фильтра определяется общая концентрация пыли TSP. Далее производят микроскопический анализ, о котором будет рассказано далее, и после анализа результатов определяются доли PM10 и PM2.5. Метод является эталонным, но трудозатратным и не позволяет отслеживать изменяющиеся процессы.

Метод микровесов заключается в сборе частиц на поверхности колеблющегося стеклянного элемента [2]. Сертифицированные приборы (например, «ТЕОМ») позволяют определять концентрации в реальном времени. С помощью импактора, который является частью измерительного прибора, отделяются частицы нужного размера — PM10 или PM2.5. Данный метод является эквивалентным гравиметрическому и менее трудоемким, однако подобные приборы достаточно дороги.

Оптические методы предполагают освещение частиц лазерным лучом и измерение количества рассеянного и поглощенного света или их суммы, называемой экстинкцией. Оптические счетчики частиц измеряют количество света, рассеянного частицами под одним или несколькими углами, в виде электрического импульса с помощью фотодетектора, а также могут определять размер отдельной частицы.

В исследовании [3] измерялись концентрации PM2.5 при помощи переносных оптических приборов. Авторы составляли карты, на которых участки представлены диапазонами концентраций, наибольшие концентрации PM2.5 определены рядом с ремонтируемой автодорогой — 67,8...281,8 мкг/м³. Такие же высокие концентрации наблюдаются вблизи мест сжигания листьев, при ремонте футбольного поля и рядом с работающим электрогенератором.

В публикации [4] приводятся результаты по оценке опасного воздействия на окружающую среду во время строительства дороги Благовещенск — Свободный. Авторы исследования выделяют строительные процессы, которые по их данным приводят к выделению больших количеств мелкодисперсной пыли:

- снятие растительного слоя;
- разработка грунта;
- возведение земляного полотна и устройство оснований дорожных одежд;
- разгрузка и хранение нерудных материалов и вяжущих;
- укладка асфальтобетонной смеси;
- транспортировка сыпучих материалов;
- движение транспортных средств по временным грунтовым дорогам.

Были получены следующие концентрации общего количества пыли TSP: при погрузке грунта экскаватором — до 20 мг/м³, при перемещении грунта бульдозером — до 10 мг/м³, при разгрузке автосамосвалов — до 8 мг/м³. Показатель общего количества выделения пыли колеблется около 0,013 т.

В Бангкоке (Таиланд) [5] определяли концентрации PM2.5 с помощью фильтров Whatman® PTFE (46,2 мм), используя мини-пробоотборник воздуха (MiniVol™), а PM10 — с помощью фильтра из стекловолокна Advantec® 0,6 мкм (37 мм), используя циклонный пробоотборник воздуха, подключенный к персональному воздушному насосу (SKC Inc.). Результаты исследования показывают, что уровни PM2.5 и PM10 в придорожной зоне примерно в 2 раза выше в районах строительства дорог по сравнению с районами без

строительства и перегруженного движения, также в составе этой пыли обнаружены тяжелые металлы.

В исследовании [6], произведенном в окрестностях г. Майнца (Германия), изучали ситуацию при замене старой автомобильной дороги на полностью новую. Концентрации пыли при проведении земляных работ измеряли при помощи прибора GRIMM Aerosoltechnik. Строительные работы включали в себя выемку, погрузку и транспортировку грунта экскаватором и несколькими самосвалами. Средние концентрации пыли от земляных работ составили 120...330 мкг/м³ PM₁₀, 14...43 мкг/м³ PM_{2.5}. Высокие значения концентрации взвешенной пыли получены при применении вибротрамбовки: PM₁₀ — 60...383 мкг/м³ и PM_{2.5} — 7,9...51 мкг/м³. При укладке асфальта: PM₁₀ — 28...61 мкг/м³, PM_{2.5} — 17...47 мкг/м³. Отношение PM_{2.5} к PM₁₀ и PM₁ к PM₁₀ для выбросов при земляных работах было одинаковым во все дни на одном и том же участке со средними значениями $0,12 \pm 0,08$ и $0,02 \pm 0,05$ соответственно.

В исследовании [7], сделанном в Италии, при строительстве автомагистрали применялась модель CALPUFF для расчета концентрации PM₁₀ в кг/час исходя из оборудования, потребляемого им топлива и соответствующей системы коэффициентов. Наибольшее загрязнение наблюдалось при строительстве длинного тоннеля, у набережной загрязнение сводилось к минимуму.

Тот же автор представил расчетные данные о вкладе взвешенных частиц PM₁₀ при разных строительных процессах [8]. Наибольший вклад в выбросы PM₁₀ вносят извлечение грунта и дробление (57 %), затем следует формирование отвалов (33 %), а деятельность, связанная со строительством насыпи — 11 %. Таким образом, земляные работы, транспортировка в грузовиках, хранение рассыпчатых материалов и дробление щебня вносят наибольший вклад в выбросы пыли, особенно пыльной является выемка верхнего слоя грунта.

Дисперсионный анализ пыли при строительстве дорог

Важнейшей характеристикой взвешенной пыли является ее дисперсный состав, т. е. количественное соотношение мелких и крупных частиц, которые наглядно могут быть представлены в логарифмически вероятностной сетке. Получив кривую распределения частиц по диаметрам для пыли, можно точно определить PM₁₀ и PM_{2.5}, зная общее количество пыли TSP, примерно оценить концентрации мелкодисперсной пыли в аналогичных ситуациях и подобрать меры и пылеуловители, т. к. от дисперсного состава зависит скорость оседания пыли.

Микроскопический анализ регламентируется ГОСТ Р 56929—2016 и ГОСТ Р 59667—2021¹. Данные стандарты устанавливают методику, которая базируется на микроскопическом анализе мелкодисперсной пыли с использованием микрофотоприставки и персонального компьютера, а также программы SPOTEXPLORER.

¹ ГОСТ Р 56929—2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха. М. : Стандартинформ, 2016. 19 с.

ГОСТ 59667—2021. Качество атмосферного воздуха. Методика определения фракционного состава пыли оптическим методом. Расчет концентрации взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в атмосферном воздухе на основе фракционного состава. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180802?ysclid=m3rn4vhtev564838953>.

Проведено исследование [10] по определению гранулометрического состава пыли на разных этапах строительства дороги. При помощи микроскопического анализа получены интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам для некоторых процессов дорожного строительства, одним из которых является укладка слоя основания дорожного полотна (рис. 1).

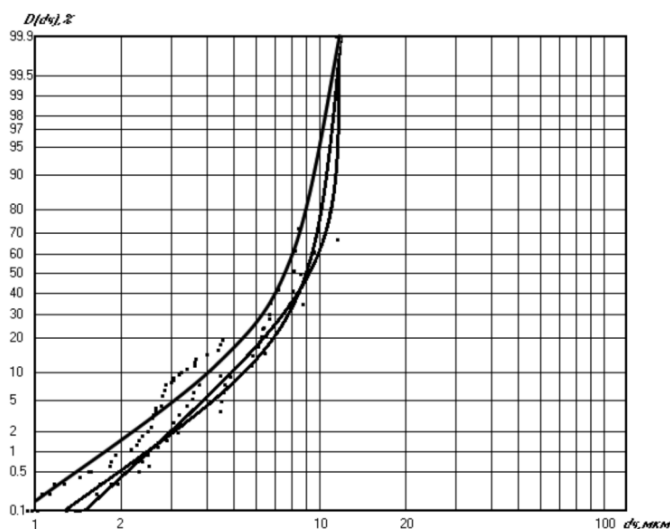


Рис. 1. Распределение частиц по диаметрам для пыли, отобранной непосредственно на рабочем месте во время укладки слоя основания дорожного полотна

В пробе, представленной на рис. 1, доля частиц PM10 составляет 96 %, а PM2.5 — 3,9 %. Концентрация PM10 — 0,48 мг/м³, что значительно превышает нормативное разовое значение (0,3 мг/м³). По PM2.5 превышение не наблюдается (0,02 мг/м³). Таким образом, представлен пример дорожно-строительной операции, которая является источником опасной мелкодисперсной пыли PM10.

В исследовании [11] получены уравнения регрессии, из которых следует несколько важных выводов, касающихся распределения пыли на автодорогах. Чем выше влажность атмосферного воздуха, тем ниже концентрация PM10, вероятно, из-за гигроскопического эффекта. Напротив, с ростом скорости ветра увеличивается и концентрация мелкодисперсной пыли, поскольку ветер легко поднимает и переносит мелкие частицы, а чем они меньше, тем дольше время оседания.

Дорожный ремонт регулярно проводится в каждом городе с развитым автомобильным движением и зачастую является продолжительным по времени, поэтому выбросами загрязняющих веществ в атмосферу нельзя пренебречь. Министерством природных ресурсов экологии РФ издан приказ, устанавливающий правила проведения сводных расчетов (СР) загрязнения атмосферного воздуха². СР по каждому городу включает в себя

² Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая актуализацию. Приказ Минприроды России от 29.11.2019 № 813. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564067734?ysclid=m3spunftiq20654161>.

пространственное распределение концентраций загрязняющих веществ в двухметровом слое над поверхностью земли. Указываются максимальные концентрации и средние, а также превышения допустимых концентраций и во сколько раз. Целью проведения такого расчета является пространственное выявление источников, вносящих наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха населенного пункта, влияние отдельных источников, а также определение фонового уровня загрязнения.

Причины трещинообразования на дорогах

Известно, что выделение мелкодисперсной пыли зависит от образования трещин и ям на дороге и от истираемости дорожного покрытия, его качества и неровностей. Раскрывающиеся трещины приводят к образованию ям, которые требуют ремонта. С ухудшением качества дорожного покрытия и появлением в нем трещин возрастает количество выбрасываемой в атмосферу рядом с проезжей частью опасной мелкодисперсной пыли. В исследовании [12] приводится список самых распространенных причин появления трещин на проезжей части:

- 1) температурные трещины появляются из-за растягивающих напряжений при резком охлаждении асфальтобетона;
- 2) отраженные трещины — как результат концентрации напряжений в зоне существующих швов и трещин при их вертикальном перемещении;
- 3) силовые трещины появляются при недостаточной несущей способности основания;
- 4) технологические трещины появляются в результате неправильного подбора состава асфальтобетонной смеси;
- 5) усталостные трещины возникают в виде поперечных трещин на нижней поверхности дорожного покрытия вследствие прогиба слоев дорожной одежды.

Заделка трещин до первого весеннего периода не имеет смысла из-за незавершенных пластических деформаций в асфальтобетоне. Следует для тщательной заделки применять качественные материалы и проводить такие работы на 3...5-й годы после начала эксплуатации, что существенно снижает вероятность повторного трещинообразования.

Значение ровности покрытия

Ровность покрытия — это фактор, по которому можно судить о пылеобразовании. По реальному микропрофилю дороги можно судить о качестве покрытия, истираемости, следовательно, степени выделения мелкодисперсной пыли. В исследовании [13] получена формула для прогнозирования изменения ровности дорожной одежды во времени в зависимости от ее прочности, срока службы, интенсивности движения. Предлагаемая формула универсальна и позволяет учесть в расчете множество факторов, влияющих на ровность дорожного покрытия, но не всегда достоверно отражает текущее состояние дорожного покрытия, например, состав:

$$S_t = S_0 + \frac{(4,32 - 0,282B) b K t}{(h - 2)^{0,6} K \sqrt{(K_{np} - 0,7)^3 \cdot t_c}} \exp[0,00045 N_p + 0,87(K_{np} - 0,7) - 0,023h + (0,02 + 0,0035g)t], \quad (1)$$

здесь S_0 — начальная ровность дорожной одежды на момент сдачи в эксплуатацию, см/км; t — текущая координата времени, годы; B — ширина проезжей части дороги, м; b — дорожно-климатическая зона; h — приведенная толщина слоев дорожной одежды, м; K — коэффициент, учитывающий характер увлажнения местности; K_n — коэффициент неоднородности прочности дорожной одежды; $K_{пр}$ — коэффициент запаса прочности дорожной одежды; t_c — показатель структурной прочности несущего слоя; N_p — интенсивность движения в расчетных автомобилях; g — процент ежегодного прироста интенсивности движения.

При условии, что частота воздействия дорожных неровностей на автомобиль совпадает с частотой собственных колебаний неподрессоренной части автомобиля, могут возникнуть явления, близкие к резонансу, что приводит к разрушению асфальтобетонной конструкции. Таким образом, резонансное воздействие автомобиля на дорогу является таким же фактором ее разрушения, как и действие силы трения. Авторами исследования [14] поставлен эксперимент по изучению резонансного режима движения автомобиля по неровностям. Из таблицы, в которой представлены результаты эксперимента, видно, что максимальные ускорения отклика дорожной конструкции существенно больше оказываются в случае, когда автотранспортное средство движется с большой скоростью по неровному покрытию, что приводит к разрушению дорожной конструкции и пылеобразованию.

Оценка отклика дорожной конструкции на воздействие грузового автомобиля

Состояние опытных участков	Автомобиль	Максимальные ускорения отклика дорожной конструкции, м/с ²	
		20 км/ч	80 км/ч
Удовлетворительная ровность покрытия	Грузовой (нагрузка на заднюю ось	0,02...0,05	0,08...0,12
		0,02...0,06	0,09...0,13
Неудовлетворительная ровность покрытия	10 т)	0,02...0,05	0,15...0,2
		0,02...0,05	0,16...0,2

При малых скоростях движения наибольшее влияние на динамическое воздействие транспортных средств оказывают короткие неровности, на высокой скорости движения — длинные неровности. Мера влияния неровности на силу воздействия транспортного средства на дорожную конструкцию можно оценить отношением максимальной динамической нагрузки к статической. В качестве такого коэффициента динамичности принимается величина:

$$K_d = \frac{Mg + p}{Mg}, \quad (2)$$

где M — масса кузова, приходящаяся на одну из осей автомобиля, т; g — ускорение свободного падения, м/с²; p — максимальная на рассматриваемом участке дополнительная сила воздействия на дорогу вследствие неровности, Н.

То же исследование продолжено в [15], где указывается, что при расчете дорожных одежд динамический коэффициент принимается $K_{дин} = 1,3$. Как показала серия экспериментов по замеру динамического коэффициента, при движении автомобиля МА3-551 на различных участках дорог этот

коэффициент может превышать значение $K_{\text{дин}} = 2,6$. Если ровность дорожных покрытий соответствует нормативным требованиям по методу амплитуд и по международному индексу ровности, коэффициент динамичности воздействия транспортных средств при скорости движения до 120 км/ч не превышает $K_{\text{дин}} = 1,3$. При неровном покрытии даже при скорости 80 км/ч динамический коэффициент может быть выше того, который принимается для расчета, в 2 раза.

Динамическое воздействия можно измерить следующими способами [16]:

- установив виброакселерометры на неподдрессоренную часть автомобиля для регистрации колебательных воздействий;
- регистрируя отклик дорожной конструкции, расположив датчики на покрытии дорожной части. Мобильный виброизмерительный комплекс позволяет оценить ускорение колебаний.

Материалы строительства дороги

От выбора материалов дороги зависит характер их деформаций, следовательно, и степень истираемости покрытия, количество выделяемой пыли и жизненный цикл дороги. В современном строительстве, с учетом высокой степени эксплуатации дорог, необходимо применять качественные надежные материалы. В исследованиях [17, 18] сравниваются несколько типов покрытий.

Авторы данного исследования установили, проведя ряд экспериментов, что битумные поверхности не возвращаются в исходное положение после снятия нагрузки — получают пластические деформации. Цементно-бетонные поверхности принимают начальную форму после снятия нагрузки — упруго деформируются. Распространенные асфальтовые покрытия являются полужесткими.

Самыми невосприимчивыми к истиранию являются бетонные, а не асфальтовые покрытия. Однако несмотря на преимущества применения бетонных дорожных покрытий, постоянная модернизация их состава, добавление слабо проверенных добавок могут приводить к появлению опасных загрязнений в окружающей среде.

При хорошем состоянии дорожного покрытия выбросы пыли при истирании дорожного покрытия оказываются значительно меньше, чем из других источников: истирание кузова, тормозов, шин. Доли РМ в массе дорожной пыли относительно невелики, что не означает их низких концентраций в воздухе вблизи трассы. Частицы, образующиеся в результате эрозии асфальтовых и бетонных дорог, в основном имеют более крупный диапазон размеров, чем проанализированная фракция $< 0,1$ мм.

Для бетонного покрытия используют добавки и суперпластификаторы, позволяющие улучшить свойства материала и тем самым продлить жизненный цикл всей конструкции [19]. Разработана методика проектирования модифицированного бетона, основой которой является достижение максимальной упаковки крупных и мелких заполнителей, что позволяет снизить выбросы пылевых частиц в окружающую среду при ремонте дорожных покрытий [20]. Таким образом, применение современных материалов и добавок при строительстве и ремонте дорог позволяет продлить их жизненный цикл и снизить количество мелкодисперсной пыли, выделяющейся в процессе эксплуатации.

Метод оптимизации принимаемого решения о ремонте

В работе [21] предлагается блок-схема принятия решения о ремонте дороги с учетом динамического коэффициента и остаточного срока службы дорожного покрытия.

Для инвестирования в ремонт дороги требуется некоторая уверенность в принимаемом решении. Данный способ позволяет рассчитывать остаточный срок службы эксплуатации исходя из снижения динамического коэффициента, который, в свою очередь, зависит от ровности и качества покрытия. Так можно сравнить соотношение денежных затрат на ремонт и снижение динамического коэффициента, которое будет достигнуто в зависимости от различных вариантов ремонта по восстановлению ровности покрытия (термопрофилирование, поверхностная обработка и др).

Чтобы узнать о реальном воздействии транспортных средств на автомобильную дорогу, предлагается использовать виброизмерительную аппаратуру [19]. Можно проводить замеры на дороге до и после проведения ремонта и сравнивать данные. С использованием современных методов машинного обучения и тренировки искусственного интеллекта возможно создать программное обеспечение, которое сможет предсказывать для конкретной дороги снижение динамического коэффициента и срок ее службы при проведении различных видов ремонта. Однако и традиционные расчеты, описанные в [21], позволяют произвести необходимое сравнение. Метод также позволяет прогнозировать ухудшения эксплуатационного состояния дорожной конструкции в случае отказа от ремонтных мероприятий.

Заключение

Рассмотрены методы определения концентрации PM10 и PM2.5, дисперсного состава дорожной пыли, причины, приводящие к трещинообразованию дорог, материалы, являющиеся актуальными для дорожного строительства. Предлагается алгоритм [21] для принятия решения о проведении дорожного ремонта в виде блок-схемы. На основании динамического коэффициента рассчитывается остаточный срок эксплуатации дороги при условии отказа от ремонта и проводится его сравнение с остаточным сроком эксплуатации дороги при проведении различных видов ремонта. Определяется соотношение эффекта от увеличения продолжительности эксплуатации и затрат на ремонтные работы. Внимание обращается на важность учета загрязнения от дорожного строительства и нового ремонта при составлении СР загрязнения атмосферного воздуха. Детальные пространственно-временные данные в СР позволяют адекватно оценить риски здоровью человека и произвести планирование соответствующих мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Di Antonio A.* Development of novel methodologies for utilizing low-cost sensors for ambient Particulate Matter measurement // *Apollo* — University of Cambridge Repository <https://doi.org/10.17863/CAM.68376>. 2020.
2. *Giechaskiel B.* Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number // *Journal of Aerosol Science*. 2014. Vol. 67. Pp. 48—86.
3. *Yi E. E. P. N.* Preliminary monitoring of concentration of particulate matter (PM 2.5) in seven townships of Yangon City, Myanmar // *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2018. Vol. 23. Pp. 1—8.
4. *Гребенщикова Е. А., Шелковкина Н. С., Горбачева Н. А.* Оценка воздействия на окружающую среду при строительстве автомобильной дороги // *Агропромышленный комплекс*:

проблемы и перспективы развития: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. 2022. Том 3. С. 285—292. DOI: 10.22450/9785964205494_3_43.

5. *Thammasaroj P., Jinsart W.* Effects of Overcrowded Traffic and Road Construction Activities in Bangkok on PM_{2.5}, PM₁₀ and Heavy Metal Composition // *EnvironmentAsia*. 2019. Vol. 12.

6. *Faber P., Drewnick F., Borrmann S.* Aerosol particle and trace gas emissions from earthworks, road construction, and asphalt paving in Germany: Emission factors and influence on local air quality // *Atmospheric Environment*. 2015. Vol. 122. Pp. 662—671.

7. *Giunta M.* Assessment of the impact of CO, NO_x and PM₁₀ on air quality during road construction and operation phases // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 24. Pp. 10549.

8. *Giunta M.* Sustainable Practices in Road Constructions: Estimation and Mitigation of Impact on Air Quality // *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 69. Pp. 139—146.

9. *Азаров В. Н., Козловцева Е. Ю., Азаров А. В.* О применении ГОСТ Р 56929—2016 при мониторинге пылевого загрязнения атмосферного воздуха городских территорий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2018. Вып. 53(72). С. 132—140.

10. *Сидякин П. А., Маринин Н. А., Шульга С. В., Чичиров К. О.* Дорожно-строительные работы как источник пылевого загрязнения воздушной среды // *Вестник СГАСУ. Серия: Градостроительство и архитектура*. 2014. № 2(15). С. 72—76.

11. *Барикаева Н. С., Николенко Д. А.* Исследование запыленности городской среды вблизи автомобильных дорог // *Альтернативная энергетика и экология*. 2013. № 11(133). С. 75—78.

12. *Сидченко Е. Н., Казаринов А. Е.* Увеличение срока службы покрытия за счет выполнения ремонтных работ по заделке трещин во второй стадии их развития // *Мат-лы 57-й студенческой науч.-техн. конф. инженерно-строительного института ТОГУ*. 2017. Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 261—264.

13. *Сиденко В. М., Кизима С. С.* Вероятностный метод оценки ровности покрытий городских дорог // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1987. № 2.

14. *Николенко Д. А., Шульга С. В., Барикаева Н. С.* Модель дисперсного состава пыли в выбросах в атмосферу при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // *Интернет-вестник ВолГАСУ*. 2015. Вып. 3(39). С. 8.

15. *Николенко Д. А., Добрухин К. В., Шан Ю., Ма Ц.* Изменение коэффициента динамичности в зависимости от ровности дорожных покрытий // *Актуальные проблемы науки и техники: мат-лы национальной науч.-практ. конф.* 2020. Ростов-н/Д. : Донской государственный технический университет, 2020. С. 59—61.

16. *Илиополов С. К., Селезнев М. Г., Углова Е. В.* Способ оценки состояния дорожных конструкций спектральным анализом волновых полей при тарированном ударном воздействии: патент № 2279653 С1, Российская Федерация, МПК G01M 7/00. № 2004138723/28. Заявл. 28.12.2004 : опубл. 10.07.2006.

17. *Penkala M., Ogrodnik P., Rogula-Kozłowska W.* Particulate matter from the road surface abrasion as a problem of non-exhaust emission control // *Environments*. 2018. Vol. 5. Iss. 1. Pp. 9.

18. *Penkala M.* Exploring the Relationship between Particulate Matter Emission and the Construction Material of Road Surface: Case Study of Highways and Motorways in Poland // *Materials*. 2023. Vol. 16. Iss. 3. Pp. 1200.

19. *Bieliatynskiy A.* Pollution of the roadside environment by dust particles from road surface repairs // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. Iss. 13. Pp. 35663—35669.

20. *Zhang Y., Mohsen J. P.* A project-based sustainability rating tool for pavement maintenance // *Engineering*. 2018. Vol. 4. Iss. 2. Pp. 200—208.

21. *Конорев А. С., Николенко Д. А., Николенко М. А., Акулов В. В.* Оптимизация принимаемых решений при ремонте эксплуатируемых автомобильных дорог // *Строительство и реконструкция*. 2011. № 2(34). С. 77—83.

© Симаков В. С., Николенко Д. А., Азарова М. Д., 2024

Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Симаков В. С., Николенко Д. А., Азарова М. Д. Выделение пыли, связанное с проведением ремонта и нового строительства автомобильных дорог // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 4(97). С. 244—253. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_244.

Об авторах:

Симаков Владислав Сергеевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; p.o.t.u@mail.ru

Николенко Денис Александрович — канд. техн. наук, доц. каф. автомобильных дорог, Донской государственной технической университет (ДГТУ). Российская Федерация, 344001, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; d.a.nikolenko@mail.ru

Азарова Мария Денисовна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; azarovamaria2001@yandex.ru

Vladislav S. Simakov^a, Denis A. Nikolenko^b, Maria D. Azarova^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Don State Technical University*

DUST EMISSIONS ASSOCIATED WITH ROAD REPAIRS AND NEW CONSTRUCTION

Construction of new roads and repair of existing roads leads to atmospheric air pollution with dangerous fine particles, but on the other hand qualitative and timely repair prolongs the life cycle of road structures, affects cracking, abrasion, hence dust emission. In this review article the causes of road destruction, actual materials of road construction are considered, PM10 and PM2.5 concentrations and dust dispersion composition and the algorithm of decision making on road repair is analyzed and measures to reduce the dust level are given.

Key words: PM10, PM2.5, SPOTEXLORER, road construction, pavement repair.

For citation:

Simakov V. S., Nikolenko D. A., Azarova M. D. [Dust emissions associated with road repairs and new 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], 2024, iss. 4, pp. 244—253. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_244.

About authors:

Vladislav S. Simakov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; p.o.t.u@mail.ru

Denis A. Nikolenko — Candidate of Engineering Sciences, Don State Technical University (DSTU). 1, Gagarina sq., Rostov-on-Don, 344001, Russian Federation; d.a.nikolenko@mail.ru

Maria D. Azarova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; azarovamaria2001@yandex.ru