

УДК 624.13:628.511.1

А. М. Ахмедов, Н. С. Бакин

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Рассмотрен процесс образования пыли при работе бульдозера и приведены наглядные иллюстрирующие схемы. Проведено исследование на высокоточном микроскопе. Получены микрофотографии образцов суглинка, пробы которых отобраны с одной из строительных площадок в летнее и зимнее время при работе бульдозера и экскаватора. Построены интегральные кривые распределения массы по диаметрам частиц в вероятностно-логарифмической координатной сетке пыли соответственно для теплого и холодного периодов года (июль и январь). При исследовании дисперсного состава проб грунта суглинка выявлено, что в отличие от летнего периода, зимой частицы слипаются в более крупные. Для бульдозера доля PM10 уменьшилась в 70 раз с 7 до 0,1 %, а для экскаватора на 250 раз с 30 до 0,12 %. Приведены схемы образования призмы волочения грунта при работе бульдозера. Отмечено, что при волочении грунта возникает циркуляционное движение грунта в трех зонах отвала (в средней и в боковых его частях), что и является основным источником пылевыведения при работе бульдозера.

К л ю ч е в ы е с л о в а: земляные работы, атмосферный воздух, выбросы, PM2,5, PM10, бульдозер, дисперсный состав частиц грунта, пылевое загрязнение воздуха, инженерная сеть.

Введение

При строительстве абсолютно всех зданий и сооружений необходимо выполнять земляные работы. При этом большое внимание необходимо уделить рекультивации растительного слоя грунта и вопросам перемещения минерального слоя грунта при выполнении планировки площадки и формирования отвалов для временного хранения. С учетом комбинированного действия производственных факторов условия труда машинистов экскаваторов и бульдозеров отнесены к 3 классу степени вредности условий труда [1].

В работе [2] проведен анализ экологических факторов, в результате которого сделан вывод, что вскрышные породы, накопленные и размещенные в отвалах [3], наносят значительный вред окружающей природной среде, человеку, животному и растительному миру. По данным официальной статистики, в структуре заболеваемости населения Волгоградской области преобладают болезни органов дыхания, в частности, 13,3 % приходится на хроническую обструктивную болезнь легких [4]. В связи с ростом и развитием городов, увеличением строительства, прокладкой новых и ремонтом существующих сетей с каждым годом отмечается рост заболеваемости болезнями органов дыхания, как в мире, так и в Российской Федерации [5—7]. У машинистов бульдозеров могут развиваться вибрационная болезнь, заболевания органов слуха, периферических отделов нервной системы, опорно-двигательного аппарата, органов дыхания [8, 9].

Для жизнедеятельности человека особенно опасны частицы с размерами менее 2,5 мкм (PM2,5) и не более 10 мкм (PM10), относящиеся к мелкодисперсным и обладающие высокой адсорбционной способностью [10—12].

Волгоград — линейный город со своими уникальными градостроительными особенностями и стесненностью застройки [13, 14]. Точечное строи-

тельство новых зданий и сооружений осуществляется непосредственно в месте расположения старой послевоенной застройки, что приводит к постоянному проведению реконструкции существующей инженерной системы. В связи с чем необходимо выполнять большие объемы по рекультивации грунта, отсыпки отвалов растительного грунта и грунта обратной засыпки в условиях стесненной застройки. В некоторых случаях требуется перемещение грунта на расстояния свыше 50 м от места разработки траншеи для доступа машин и людей к той или иной коммуникации.

Методы исследования и результаты

На перенос загрязняющих веществ (ЗВ) при работе землеройной техники в атмосферном воздухе городов воздействует ряд факторов, среди которых важное место занимают направление и скорость ветра [15—17]. Также немаловажным являются условия расположения строительной площадки по отношению к существующим зданиям и сооружениям и вариантам направления ветра [18].

Цикл работы бульдозера состоит из следующих технологических операций:

- опускание отвала и зарезание его в грунт;
- перемещение вперед с грунтом;
- отсыпка грунта;
- обратное возвращение бульдозера в начальное (исходное) положение.

На рисунке 1 представлена схема работы бульдозера на примере срезки растительного слоя грунта с обозначением направления волочения 1 призмы грунта 2 и возникающего при этом выделения пыли 3.

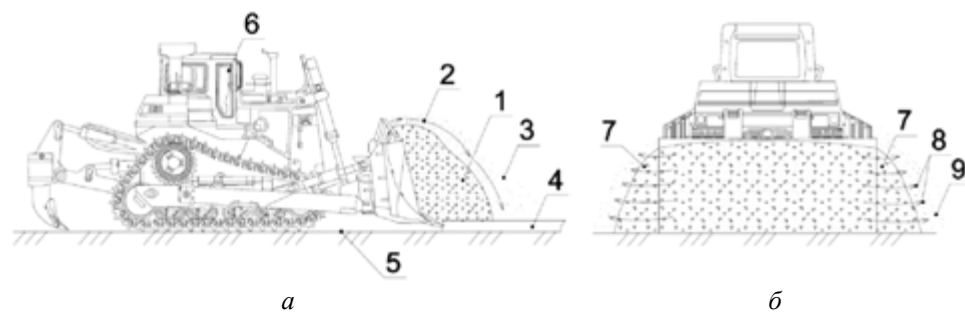


Рис. 1. Схема пылевыведений при работе бульдозера: а — вид бульдозера сбоку, б — вид бульдозера спереди: 1 — призма волочения грунта; 2 — направление перемещения призмы грунта при волочении; 3 — пыль, выделяющаяся от призм волочения средней части отвала; 4 — растительный слой грунта; 5 — поверхность земли; 6 — бульдозер; 7 — боковые призмы волочения грунта; 8 — направление перемещения пыли при волочении грунта в направлении боковых сторон; 9 — пыль, выделяющаяся от боковых призм волочения

При обратном движении бульдозера к исходному местоположению машинист может выравнивать поверхность, опустив отвал, или двигаться назад с поднятым отвалом. В первом случае возникает взмет пыли, который идет в направлении от боковых образующих отвала в стороны и вверх. Во время перемещения бульдозера вперед перед отвалом возникает волочение грунта, в результате которого образуется циркуляция частиц грунта от его верхней кромки к нижней, вследствие чего возникает запыленность. Кроме этого необходимо учитывать, что ходовой частью бульдозера являются гусеницы,

которые при движении вперед и назад тоже поднимают пыль и увеличивают общую запыленность в месте проведения работ.

На рисунке 2 показана технологическая операция отсыпки грунта для формирования отвала растительного слоя. При падении грунта с высоты 0,75 м возникает взмет пыли, который от действия ветра перемещается на большие расстояния.



Рис. 2. Технологическая операция отсыпки грунта, сопровождающаяся выделением пыли

В работе [19] выявлено, что при работе бульдозер находится 43,1 % времени на холостом ходу и 54,95 % времени в движении, т. е. практически 4,5 ч бульдозер перемещается и от его работы образуется пыль.

Авторами проведено исследование на высокоточном микроскопе Versa 3D Dual Beam. Получены микрофотографии образцов суглинка, пробы которых отобраны с одной из строительных площадок в летнее и зимнее время при работе бульдозера и экскаватора. На рисунке 3 представлены микрофотографии частиц грунта суглинка.

На рисунке 4 представлены интегральные кривые распределения массы по диаметрам частиц $D(d_n)$ в вероятностно-логарифмической координатной сетке пыли на примере суглинка. По графикам видно, что в зависимости от сезона для бульдозера доля PM10 уменьшилась в 70 раз с 7 до 0,1 %, для экскаватора в 250 раз с 30 до 0,12 %.

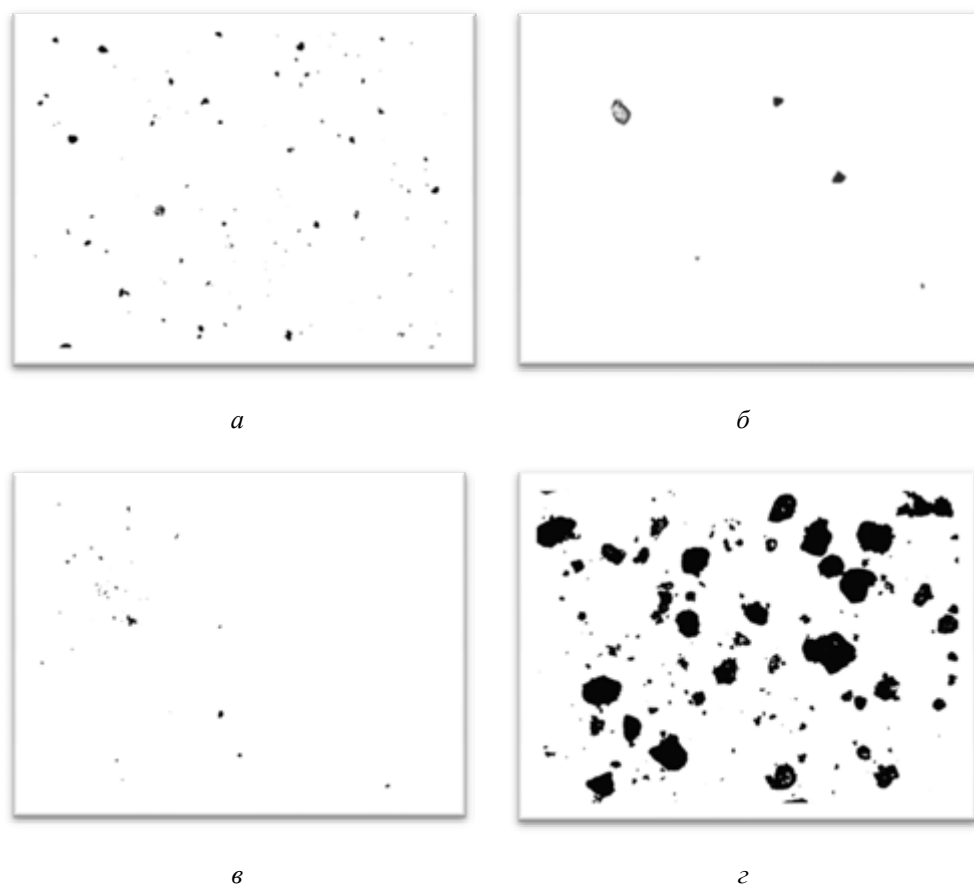


Рис. 3. Микрофотографии частиц грунта суглинка: *а* — образец частиц грунта при работе бульдозера в летнее время, *б* — образец частиц грунта при работе бульдозера в зимнее время, *в* — образец частиц грунта при работе экскаватора в летнее время, *г* — образец частиц грунта при работе экскаватора в зимнее время

В результате анализа полученных интегральных кривых можно сказать, что в зимнее время для частиц менее PM_{10} при температуре $-9^{\circ}C$ для экскаватора и бульдозера величина ПДК ниже почти в 6 раз. В условиях теплого летнего времени (июль) с температурой воздуха $+29^{\circ}C$, величина ПДК для экскаватора выше в 33,3 раза, для бульдозера в 7,5 раз. Следовательно, земляные работы являются одним из вредных факторов, влияющих на здоровье человека. В большей степени это относится к машинистам, помощникам машинистов, рабочим, выполняющим вспомогательные технологические процессы, такие как зачистка траншей и котлованов, геодезистов, работающих на параллельных и смежных работах, и младших инженерно-технических работников. В настоящее время средства индивидуальной защиты органов дыхания вышеуказанными работниками при осуществлении земляных работ практически не применяются, поэтому в строительной отрасли нужен дополнительный контроль со стороны служб и отделов охраны труда в этом направлении.

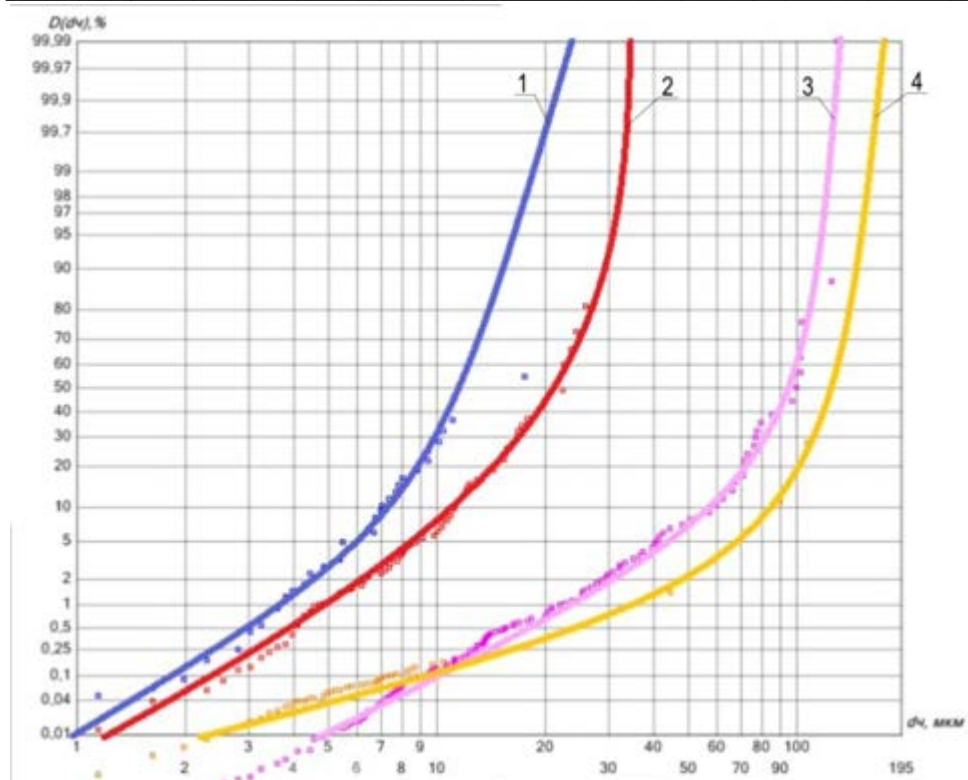


Рис. 4. Интегральные кривые распределения массы по диаметрам частиц $D(d_p)$ в вероятностно-логарифмической координатной сетке пыли:
 1 — работа экскаватора, суглинок, лето; 2 — работа бульдозера, суглинок, лето;
 3 — работа экскаватора, суглинок, зима; 4 — работа бульдозера, суглинок, зима

Заключение

Проведенные исследования позволят инженерам, выполняющим проекты экологической направленности, спрогнозировать долю частиц пыли PM10 при работе экскаватора в теплое (июль) и холодное время года (январь). Форма частиц проб суглинка, полученные на микрофотографиях, дают четкое представление об их сложной конфигурации. Проведенные натурные исследования дисперсного состава грунта на примере суглинка позволят при принятии управленческих решений правильно подобрать экологически-безопасные защитные методы, предотвращающие загрязнение атмосферы в месте проведения земляных работ, и снизить негативное влияние на здоровье человека от воздействия пыли PM10 и PM2,5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гигиеническая оценка условий труда и профессионального риска у работников угольной отрасли / В. В. Кислицына, Д. В. Суржиков, Д. В. Пестерева, И. Ю. Мотуз, В. А. Штайгер // Медицина в Кузбассе. 2023. № 2. С. 72—77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gigienicheskaya-otsenka-usloviy-truda-i-professionalnogo-riska-u-rabotnikov-ugolnoy-otrasli>.
2. Мецурова Т. А., Пичугин Е. А., Шенфельд Б. Е. Экологическая оценка механизмов обращения со вскрышными породами // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. №. 7. С. 24—29.

3. Alfaro S. C., Gomes L. Modeling mineral aerosol production by wind erosion: Emission intensities and aerosol size distributions in source areas // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2001. Vol. 106. Iss. D16. Pp. 18075—18084.
4. Petrov V. I., Avaliani S. L., Latyshevskaya N. I. Environmental risk for public health: Ref. allowance // Publishing House of the VMU. Volgograd, 2000.
5. Быстрицкая Е. В., Биличенко Т. Н. Заболеваемость, инвалидность и смертность от болезней органов дыхания в Российской Федерации (2015—2019) // *Пульмонология*. 2021 № 31(5). С. 551—561. DOI: 10.18093/0869-0189-2021-31-5-551-561.
6. Pearce N., Sunyer J., Cheng S. Comparison of asthma prevalence in the ISAAC and the ECRHS. ISAAC Steering Committee and the European Community Respiratory Health Survey. International Study of Asthma and Allergies in Childhood // *The European Respiratory Journal*. 2000. Vol. 16. Iss. 3. Pp. 420—426. DOI: 10.1183/9031936.00.16337700.
7. Барикаева Н. С., Николенко Д. А. Мониторинг пылевого загрязнения атмосферного воздуха городской среды на примере г. Волгограда // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2017. Вып. 50(69). С. 182—189.
8. Буланова А. В., Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Значение оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда // *Безопасность техногенных и природных систем*. 2019. № 1. С. 2—7.
9. Стасева Е. В., Савченко А. А., Суслова Т. А. Сравнительный анализ условий труда машинистов на строительной площадке // *Молодой исследователь Дона*. 2020. № 3(24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-usloviy-truda-mashinistov-na-stroitelnoy-ploschadke>.
10. Трохимчук М. В., Трохимчук К. А. О загрязнении воздушной среды городских территорий при земляных работах // *АЭЭ*. 2015. № 17-18. С. 181—182. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-zagryaznenii-vozduшной-sredy-gorodskih-territoriy-pri-zemlyanyh-rabotah>.
11. Aerodynamic Characteristics of Dust in the Emissions Into the Atmosphere and Working Zone of Construction Enterprises / V. N. Azarov, A. I. Evtushenko, V. P. Batmanov, A. B. Strelyaeva, V. V. Lupinogin // *International Review of Civil Engineering*. 2016. Vol. 7. Iss. 5. Pp. 132—136.
12. Speciated PM composition and gas and particle emission factors for diesel construction machinery in China / Q. Hu, C. Huang, L. Qiao, Y. Ma, Q. Yang, W. Tang, M. Zhou, S. Zhu, S. Lou, S. Tao, Y. Chen, L. Li // *Aerosol and Air Quality Research*. 2019. Vol. 19. Iss. 8. Pp. 1820—1833.
13. Влияние метеорологических условий на рассеивание вредных выбросов в городской среде / Ю. П. Иванова, Б. Ю. Надер, В. А. Мишаков, Ю. А. Шаповалова, О. О. Иванова, В. Н. Азаров // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 1. 11 с. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263>.
14. Атопов В. И., Антюфеев А. В., Галиярова Н. М., Кабанов В. Н. Россия: стратегия прорыва. Синергетические идеи развития: монография. Волгоград : Изд-во ВолГАСА, 2003. 515 с.
15. Исследование законов распределения ветровых потоков городов компактной и линейной конфигурации (на примере г. Ставрополя и г. Волгограда) / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, А. А. Добринская, О. О. Иванова, М. С. Соломахин, Д. В. Самофалов // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 12. С. 10. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2024/9732>.
16. Ottosen T., Berkowicz R., Ketzel M. Analysis of the impact of inhomogeneous emissions in a semiparameterized street canyon model // *Geoscientific Model Development Discussions*. 2015. Vol. 8. Iss. 2. Pp. 935—977.
17. Особенности мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в линейных и компактных городах на примере Волгограда и Ставрополя / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, Е. В. Соколова, А. А. Сахарова, О. О. Иванова, Л. М. Арзамаскова, О. В. Коновалов // *Инженерный вестник Дона*. 2023. № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8644 6.
18. Genikhovich E. L., Gracheva I. G., Onikul R. L., Filatova E. N. Air-pollution modelling at an urban scale — Russian experience and problems // *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*. 2002. Vol. 2. Iss. 5-6. Pp. 501—512.
19. Love R. G., Miller B. G., Groat S. K. Respiratory health effects of opencast coalmining: a cross sectional study of current workers // *Occupational and Environmental Medicine*. 1997. Vol. 54. Pp. 416—423.

© Ахмедов А. М., Бакин Н. С., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Ахмедов А. М., Бакин Н. С. Исследование дисперсного состава пыли при проведении земляных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 229—235. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_229.

Об авторах:

Ахмедов Асвар Микдадович — старший преподаватель каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; asvar05@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1087-4257

Бакин Никита Сергеевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Asvar M. Akhmedov, Nikita S. Bakin

Volgograd State Technical University

INVESTIGATION OF THE DISPERSED COMPOSITION OF DUST DURING EXCAVATION

The article discusses the process of dust formation during the operation of a bulldozer and provides visual diagrams illustrating it. The study was performed using a high-precision microscope. Micrographs of loam samples were obtained, samples of which were taken from one of the construction sites in the summer and winter during the operation of a bulldozer and excavator. Integral curves of mass distribution over particle diameters in a probabilistic logarithmic coordinate grid of dust are constructed for the warm and cold periods of the year (July and January), respectively. When studying the dispersed composition of loam soil samples, it was found that, unlike in summer, in winter the particles “stick together” into larger particles. For the bulldozer, the share of PM10 decreased by 70 times from 7 to 0.1 %, and for the excavator by 250 times from 30 to 0.12 %. The article presents schemes for the formation of a ground drawing prism during the operation of a bulldozer. It is noted that when dragging soil, there is a circulation movement of soil in three zones of the dump (in the middle part and in its lateral parts, which is the main source of dust release during the operation of the bulldozer.

Key words: earthworks, atmospheric air, emissions, PM2.5, PM10, bulldozer, dispersed composition of soil particles, dust pollution of air, utility network.

For citation:

Akhmedov A. M., Bakin N. S. [Investigation of the dispersed composition of dust during excavation]. *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. 1, pp. 229—235. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_229.

About authors:

Asvar M. Akhmedov — Senior Lecturer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; asvar05@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1087-4257

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