

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ЗОНАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТВАЛОВ

В.Н. АЗАРОВ, М.В. ТРОХИМЧУК, К.А. ТРОХИМЧУК

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
400074, Россия, Волгоград, ул. Академическая 1; e-mail: ptb2006@mail.ru;*

Проведены натурные исследования загрязнения мелкодисперсной пылью воздушной среды городских территорий при выполнении строительных земляных работ, связанных с формированием котлованов, траншей, выемок в зонах залегания различных типов дисперсных грунтовых массивов. Показаны принципы районирования городских территорий по массовой доле мелкодисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах. В зонах с высокой степенью пылевыведения предлагается к использованию устройство для защиты от пыли. Осуществлены экспериментальные исследования в лабораторной аэродинамической трубе процессов распространения мелкодисперсной пыли в воздушную среду городских территорий от строительных отвалов, сложенных дисперсными грунтами. Для уменьшения интенсивности пылевыведения предлагается использовать в зонах строительных площадок специализированный стенд и пылезащитное устройство.

Ключевые слова: пылевыведение; мелкодисперсная пыль; районирование; аэродинамическая труба; строительные отвалы.

RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF THE FINE DUST IN THE ZONES OF BUILDING DUMPS

V.N. AZAROV, M.V. TROHIMCH, K.A. TROHIMCHUK

*Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE)
400074, Russia, Volgograd, Akademicheskaya Street, 1; e-mail: ptb2006@mail.ru;*

The research has been carried out on the contamination by finely dispersed dust of the air in urban territories during construction excavation works related to the formation of pits, trenches and so on in the areas of the occurrence of different types of the dispersed soil masses. The principles of zoning of urban areas on the mass fraction of the fine-dispersed particles in the total air dust pollution during excavation works. In the zones with high degree of dust emission the device for protection against dust is proposed to use. Experimental studies carried out in a laboratory aerodynamic tube were related with propagation processes of fine dust into the air of urban areas from constructions dumps stacked by the dispersed soils. To reduce dust emissions intensity the specialized stand and dustproof device are proposed for use in the zones of construction sites.

Key words: dust emissions; fine dust; zoning; aerodynamic tube; construction dumps.

При проведении строительных работ образуются отвалы грунтов, накопления строительного и техногенного характера, как правило, содержащие пылеватые частицы [2]. Отвалы и накопления имеют различную форму, высоту и подвержены ветровой нагрузке. Внедрение способов и средств борьбы с пылью на строительных объектах позволяет решать проблемы санитарно-гигиенического и экологического характера (профилактика развития профессиональной легочной патологии у рабочих, охрана окружающей среды от запыленности), а также технико-экономические задачи: увеличение производительности труда, снижение платежей за загрязнение окружающей среды и пр.

Технологический процесс устройства котлована включает: разработку грунта с выгрузкой в транспортные средства или чаще всего на бровку котлована, где формируется строительный отвал, сложенный из природного грунта. Исследовался процесс пылевыведения с грунтовых отвалов на лабораторной аэродинамической трубе, которая представляет собой установку для получения в рабочей части трубы искусственного равномерного прямолинейного потока воздуха, имитирующего действие ветра. Экспериментальные исследования на аэродинамической трубе включали: описание экспериментальной установки; планирование эксперимента; методику проведения исследования; по-

лучение результатов исследования; обработку результатов исследования; испытание в установке устройства для снижения выноса пыли. Важной экологической задачей является оценка количества мелкодисперсной пыли, поступающей в атмосферный воздух, поэтому было выполнено районирование территории г. Волгограда по массовой доле мелкодисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах. На основании экспериментальных исследований на аэродинамической трубе предложены меры защиты окружающей среды от пылевых выделений с искусственных земляных отвалов.

Натурные исследования

Исследования дисперсного состава пыли осуществлялись микроскопическим анализом и методом оседания. Седиментационный метод исследования пыли позволил определить аэродинамические свойства частиц методом пофракционного оседания с построением зависимостей скорости оседания. При проведении исследований применена методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением ПК [1, 2].

Результаты и их обсуждение

Получены интегральные кривые распределения массы частиц по диаметрам для пыли, отобранной в воздухе в зоне земляных отвалов из дисперсных грунтов. Значение интегральной функции распределения массы частиц пыли по диаметрам $D(d)$ оценивали, как функцию прохода для пыли, поступающей в воздух при земляных работах. Проведён анализ пылевых выделений от отвалов для различных типов дисперсных грунтов. В частности, проверялась гипотеза А.Н. Колмогорова о том, что распре-

деление пыли подчиняется логарифмически-нормальному закону, и следовательно, график функции прохода на логарифмически-нормальной сетке будет изображаться прямой линией. Для оценки доли мелкодисперсной пыли важно знать распределение для частиц до 10 мкм. Для верхнехвалыньских—современных лёссовых пород и верхнечетвертичных лёссовых пород валдайского горизонта для частиц до 10 мкм гипотеза А.Н. Колмогорова выполняется и функция прохода $D(d)$ в логарифмически-нормальной сетке может быть аппроксимирована прямой линией, которая представлена логарифмически-нормальным законом:

$$D(d) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \frac{(x - \lg d_{50})}{\lg^2} dx, \quad (1)$$

где d_{50} — медианный размер; — экспериментальный коэффициент.

Аналогичные исследования проводились на верхнечетвертичных глинистых грунтах морского и аллювиального генезиса. На участках мелкодисперсной пыли функция прохода может быть аппроксимирована прямой линией (1), но с другими значениями параметров d_{50} и . В зонах земляных работ, проводимых на современных супесчаных грунтах, функция прохода на участках до 10 мкм может быть представлена двухзвенной ломаной. Подбор производился методом В.Н. Азарова [1] на основании решения задачи оптимального планирования использования теоремы Гаусса—Маркова. Каждый из участков функции прохода в логарифмически-нормальной сетке представлен прямой линией, «точка слома» $d_{кр} = 7$ мкм, где каждая из функций D_1 , D_2 подчиняется логарифмически-нормальному распределению.

$$D(d) = \begin{cases} D_1, & d \leq 7 \text{ мкм} \\ D_2, & 7 \text{ мкм} < d \leq 10 \text{ мкм} \end{cases}$$

Таблица 1

Параметры функции прохода для пыли при земляных работах на дисперсных грунтах для частиц размером до 10 мкм

Наименование грунта	Характер аппроксимирующей функции прохода	Точка слома, $d_{кр}$, мкм	Значения параметров				Доля мелкодисперсной пыли	
			Первый участок		Второй участок		PM _{2,5} , %	PM ₁₀ , %
			d_{50} , мкм		d_{50} , мкм			
1. Верхнехвалыньские—современные лёссовые породы	Прямая	Нет	9,6	1,11			0,8	50,0
2. Верхнечетвертичные лёссовые породы валдайского горизонта	То же	То же	24	1,41			0,4	18,0
3. Верхнечетвертичные глины морского происхождения	//—//	//—//	40	0,9			0	1,0
4. Верхнечетвертичные глины аллювиального происхождения	//—//	//—//	53	1,19			0	18,0
5. Современные супесчаные грунты	Двухзвенная ломаная	7	50,1	2,02	10,6	2,35	1,5	45,0
6. Современные искусственные грунты	Двухзвенная ломаная	8	10,6	1,16	8,4	0,21	1,8	70,0

Аналогично для современных искусственных грунтов получено:

$$D(d) \quad \begin{matrix} D_1, d & 8 \text{ мкм} \\ D_2, 8 \text{ мкм} & d & 10 \text{ мкм.} \end{matrix}$$

Результаты параметров функции прохода для пыли при земляных работах на дисперсных грунтах для частиц размером до 10 мкм для всех исследованных грунтов сведены в табл. 1.

Авторами на основании проведённых натурных исследований выполнено районирование территории г. Волгограда по массовой доле мелкодисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах, которое является завершающим этапом исследований, включающим системный анализ комплекса различных данных (рис. 1). Районирование по массовой доле пылевой фракции в воздухе при земляных работах на дисперсных грунтах — завершающий этап исследований, включающих системный анализ комплекса различных данных: пылеобразование под действием различных метеорологических характеристик (температуры воздуха, скорости ветра, солнечной радиации и др.); распределение массы частиц, представляющих собой дисперсную пыль в зоне разработки дисперсных грунтов, характеристик пылевыведения грунтовых массивов на основе экспериментальных методов; физико-механических и химических показателей грунтов, условий процесса изменения грунтового массива под влиянием техногенной деятельности.

Выделены три типа районов, что позволило разработать соответствующие рекомендации и мероприятия, обеспечивающие функционирование застраиваемых территорий города с минимальной нагрузкой на атмосферный воздух. Экспликация районирования (табл. 2) использовалась при составлении схематической карты районирования территории г. Волгограда по массовой доле мелко-

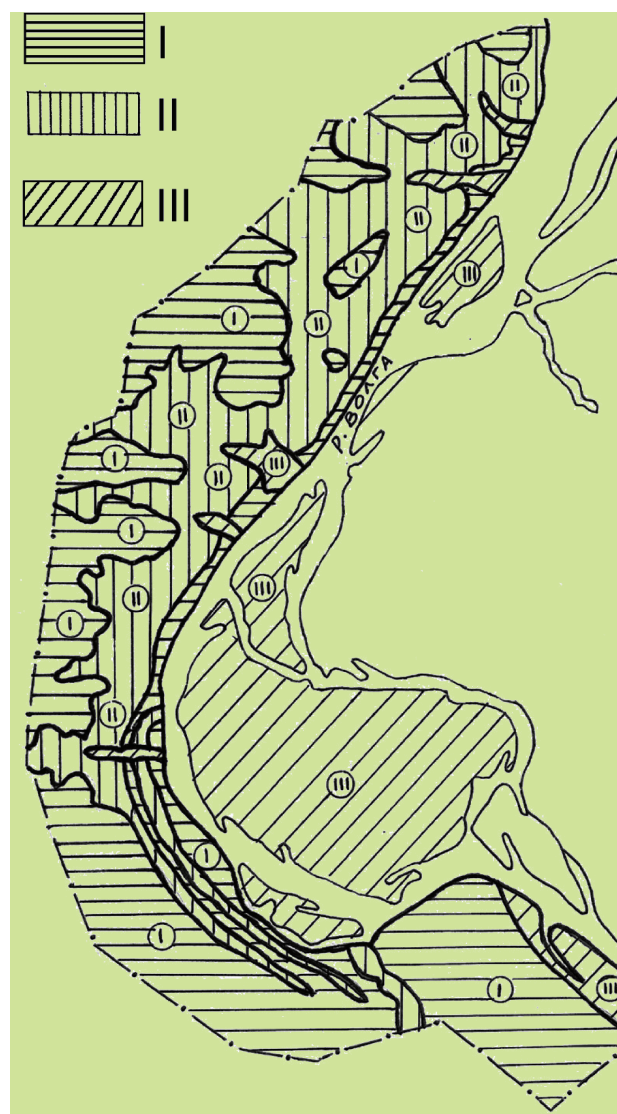


Рис. 1. Схематическая карта районирования территории г. Волгограда по массовой доле мелкодисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах I—III — районы по степени интенсивности пылевого загрязнения; I — с низкой; II — со средней; III — с высокой

Таблица 2

Экспликация к схематической карте районирования территории г. Волгограда по массовой доле мелкодисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах

Показатели и рекомендации	Характеристика района		
	I	II	III
Естественная влажность породы, %	Высокие показатели влажности (от 18 до 50)	Влажные (от 3 до 30)	Маловлажные (менее 10)
Степень выветриваемости	Низкая	Средняя	Высокая
Степень уплотнения: при естественном залегании; при длительном воздействии атмосферы воздуха; при искусственном уплотнении.	Средняя (0,3—0,7) Высокая (0,95—1,0) Средняя (0,3—0,7)	Высокая (0,95—1,0) Высокая (0,95—1,0) Высокая (0,95—1,0)	Средняя (0,3—0,7) Низкая (до 0,3) Средняя (0,3—0,7)
Рекомендации по снижению интенсивности пылевыведения при инженерном освоении городских территорий в зонах земляных работ	Использование средств защиты от пыли только при длительной эксплуатации котлованов и траншей на открытом воздухе	Применение пылезащитных устройств локально (зоны отвалов, котлованы и траншеи и др.)	Усиленные противопылевые мероприятия вокруг всего строительного объекта и внутри него

дисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах.

I. *Район с низкой интенсивностью пылевого загрязнения* — преимущественно распространены глинистые грунты морского, аллювального, озёрно-аллювального происхождения.

II. *Район со средней интенсивностью пылевого загрязнения* — распространены лессовые породы, а также песчаных и супесчаных отложений (мощность от 3—4 до 10 м), подстилающих глинистыми породами.

III. *Район с высокой интенсивностью пылевого загрязнения* — преимущественно развиты искусственные намывные и насыпные переотложенные породы, образованные за счёт ликвидации долин мелких рек, оврагов, балок, пониженных форм рельефа, берегоукрепительных работ, а также залегания супесчаных отложений.

Данная картографическая модель районирования территории г. Волгограда по массовой доле мелкодисперсной фракции в общем пылевом загрязнении в воздухе при земляных работах может служить основой для разработки пространственно-временной структуры мониторинга при строительном освоении территории городов.

Экспериментальные исследования

Авторами на лабораторной аэродинамической трубе проведены экспериментальные исследования, подтверждающие возможность использования для защиты окружающей среды вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций, которые способны максимально стабилизировать пылящие поверхности земляных отвалов независимо от характера ветровой нагрузки. Аэродинамическая труба представляет собой прямоточный воздуховод длиной 4,54 м с открытой рабочей частью (шириной 65 см, высотой 46 см), с возбудителем дви-

жения воздуха и спрямляющим поток устройством в виде полукруга (рис. 2). В качестве возбудителя движения воздуха использовались два осевых вентилятора мощностью 110 Вт и скоростью 1400 об./мин. Аэродинамическая труба имеет панель управления и соединена с компьютером, снабженным программным обеспечением, позволяющим задавать и фиксировать скорость потока воздуха, время проведения эксперимента, характер работы вентиляторов.

В аэродинамическую трубу был помещен стенд, представляющий собой экран в виде сетчатого элемента, укрепленного в треугольный сплошной каркас, размещенный в нижней части конструкции и имеющий высоту, равную 1/4 высоты всей конструкции [4]. Экран имел различную ячеистую структуру (10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм). Через экран продувался поток воздуха, загрязненный пылевыми частицами размером 0,005—0,05 мм. Для сеток от 10 до 0,5 мм выявлено, что наибольший процент пыли удерживает сетчатый экран с ячеистой структурой равной 0,5 мм (табл. 3). Экраны с сеткой 0,25 и 0,1 мм достаточно быстро частично или полностью забивались, что приводило к возникновению огибающих сетчатый экран сверху аэродинамических потоков и повышенному уносу пыли.

Кроме того, проведенный эксперимент, позволяет авторам предлагать к использованию для стабилизации пылящих поверхностей в зоне грунтовых земляных отвалов устройство [3], независимое от характера ветровой нагрузки (рис. 3). Пылезащитное устройство представляет собой защитный сетчатый экран, по граням и площади которого вставлены кольца для размещения закрепляющих устройств элементов по площади отвала. В зависимости от размеров отвала пылезащитных устройств может быть несколько, причем, кольца размещены по граням таким образом, что расстояния между кольцами одинаковы (расстояние H) по всему периметру пылезащитного устройства (рис. 3). Это сделано для того, чтобы пылезащитные устройства стыковались в любых направлениях и полностью покрывали поверхность отвала.

Пылезащитное устройство фиксируется при использовании закрепляющих элементов (рис. 4), которые вбиваются в подстилающую отвал поверхность. Пылезащитное устройство можно фикси-

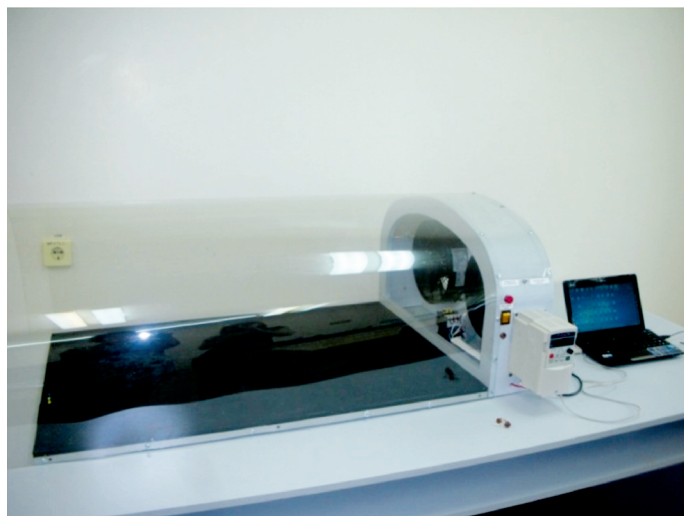


Рис. 2. Общий вид аэродинамической трубы

Таблица 3

Удержание пыли размером 0,005—0,05 мм сетчатыми экранами

Диаметр ячеистой структуры, мм	Процент проскока
10	30
5	60
1	75
0,5	95
0,25	—
0,1	—

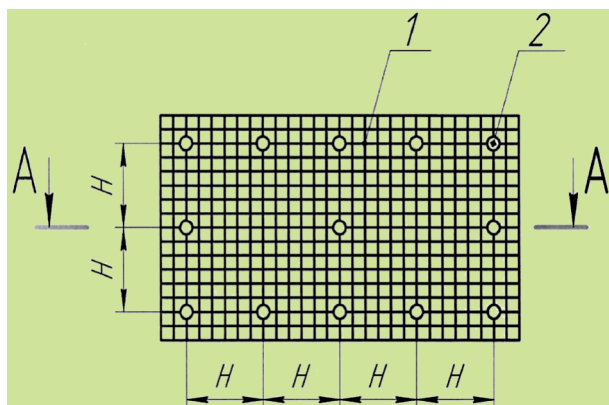


Рис. 3. Общий вид пылезащитного устройства: 1 — защитный сетчатый экран, 2 — кольцо, H — расстояние между кольцами, A-A — рассечение по длине экрана

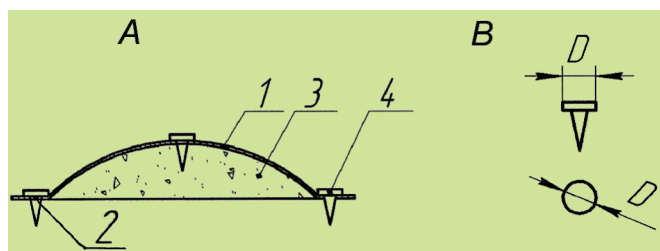


Рис. 4. Пылезащитное устройство, размещенное на отвале A; B — закрепляющий пылезащитное устройство элемент: 1 — защитный сетчатый экран, 2 — кольцо, 3 — земляной отвал; 4 — закрепляющий пылезащитное устройство элемент; D — диаметр элемента

ровать в разных зонах отвала, закрепляя элементами через кольца, расположенные по центральной оси устройства, что позволяет максимально концентрировать пыль в зоне строительного объекта. Использование закрепляющих элементов (их диаметр должен быть больше диаметра кольца) создаёт более плотное соприкосновение пылезащитного устройства и отвала.

Пылезащитное устройство обладает низкими эксплуатационными расходами и легко устанавливается и демонтируется, не требует специальных

наблюдений во время проведения строительных работ, удобно при транспортировке и хранении. Пылезащитное устройство окрашивается в яркие цвета, что делает его заметным с дальнего расстояния и в условиях плохой видимости. Таким образом, создается дополнительный элемент, предупреждающий о ведении строительных работ.

Заключение

Переотложенные грунтовые массивы, особенно дисперсного характера, изменяют физико-механические свойства, что сказывается на степени пылевыведения и характере загрязнения атмосферного воздуха. Проведённые исследования в лабораторной аэродинамической трубе показали, что из изученных дисперсных грунтов (лёссовых, глинистых, супесчаных, искусственных) наиболее выветриваемой является искусственная порода, к наименее пылевыведяющим породам относятся морские нижнехвалынские глины. Предлагаемое пылезащитное устройство способно максимально концентрировать пыль в зоне земляных работ, защищать окружающую среду, как на самой строительной площадке, так и вокруг строительного объекта, что повышает безопасность при возведении сооружений.

Выполненное районирование территории г. Волгограда по степени интенсивности пылевыведения грунтовых массивов при проведении строительных работ может служить основой для разработки: пространственно-временной структуры мониторинга при строительном освоении территории городской агломерации; мероприятий по экологическому оздоровлению территорий, подверженных строительной деятельности. Принципы, положенные в основу составления данной картографической модели районирования, могут использоваться для других городов юго-востока Русской платформы, что неизбежно окажет благоприятное воздействие на здоровье населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров В.Н. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением ПК / В.Н. Азаров, Н.М. Сергина, Волгоградский государственный архитектурно-строительная академия. Волгоград, 2002. 9 с.: Депонировано в ВИНТИ 15.07.2002, № 1333.
2. Азаров В.Н., Юркин В.Ю., Сергина Н.М. и др. Методика микроскопического анализа дисперсионного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 1. С. 46–48.
3. Пат. RU 150 465 U1 Российская Федерация МПК E02D 17/00 (2006.01) Пылезащитное устройство в строительстве [Текст] / К. А. Трохимчук [и др.]; заявитель и патентообл.: ФГАОУ ВПО ВолГУ. № 2014136502/03; заявл. 08.09.2014; опубл. 20.02.2015; Бюл. № 5. 6 с.: Зил.
4. Пат. RU 139 131 U1 Российская Федерация МПК E04B 1/92 (2006.01). Устройство для снижения выноса пыли со строительной площадки [Текст] / К. А. Трохимчук [и др.]; заявитель и патентообл.: ФГАОУ ВПО ВолГУ. № 2013150487/03; заявл. 12.11.2013; опубл. 13.04.2014; Бюл. № 10. 4 с.: 3 ил.