

УДК 69.002.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТАХ В ЗОНАХ АНТРОПОГЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ

¹Трохимчук К.А., ²Храпов С.С., ²Малярчук Ю.Д., ³Лапынин Ю.Г.

¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»,
Волгоград, e-mail: tro232957@mail.ru;

²ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет», Волгоград, e-mail: xss-ip@mail.ru;

³НОУ СПО «Волгоградский колледж газа и нефти» ОАО «Газпром»,
Волгоград, e-mail: y.lapynin@mail.ru

Показано, что проведение земляных работ влияет на степень запыленности городской среды, особенно важен процесс снижения пылевыведения в зонах жилых застроек, концентрации общественных сооружений, детских площадок, парковых зон. Проведены исследования выделения мелкодисперсной пыли в зонах разработки дисперсных грунтов, которые в 70% задействованы при проведении земляных работ в г. Волгограде. Выполнено комплексное исследование физико-химических процессов в приземном слое атмосферы при земляных работах, построенное на натурном и вычислительном эксперименте. С помощью лабораторной аэродинамической трубы выявлено, что характер выделения пыли при разработке дисперсных массивов зависит от климатических условий, в частности скорости ветра и физико-механических свойств пород. Создано специализированное ГИС-приложение, позволяющее моделировать динамику воздушных потоков на территориях с антропогенной застройкой, в основу которого положены методы математического и имитационного моделирования, методы визуализации и построения поверхностей, методы разработки программных приложений.

Ключевые слова: пылевыведение, атмосферные загрязнения, грунтовый массив, геоинформационные технологии, моделирующие комплексы

STUDY OF THE DYNAMICS OF THE AIRFLOW DURNING EXCAVATION WORKS IN ZONES ANTHROPOGENOUS BUILDING

¹Trokhimchuk K.A., ²Khrapov S.S., ²Malyarchuk Y.D., ³Lapynin Y.G.

¹Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering,
Volgograd, e-mail: tro232957@mail.ru;

²Volgograd State University, Volgograd, e-mail: xss-ip@mail.ru;

³Volgograd College of oil and gas «OAO Gazprom», Volgograd, e-mail: y.lapynin@mail.ru

It is shown that the excavation affect the degree of dust urban environment is particularly important process of reducing dust emissions in the areas of residential buildings, the concentration of public buildings, playgrounds, parks. Researches selection of fine silt dust in the areas of development of fine-grained soil that 70% involved during excavation in Volgograd. Performed a comprehensive study of the physico-chemical processes in the atmospheric boundary layer during excavation, built on natural and computational experiments. On a laboratory wind tunnel revealed that the nature of dust dispersed in the development of arrays depends on climatic conditions, in particular, wind speed and physico-mechanical properties of rocks. The specialized GIS application that allows you to simulate the dynamics of air flow in areas with anthropogenic buildings, which is based on the methods of mathematical modeling and simulation, visualization techniques and building surfaces, methods for developing software applications.

Keywords: dust emissions, atmospheric pollution, ground array, geoinformation technology, systems modeling

В процессе проведения земляных работ происходит загрязнение атмосферного воздуха частицами пыли различных фракций. При этом наиболее пылящим является технологический процесс устройства котлована или траншеи, включающий разработку грунта с выгрузкой в транспортные средства или на бровку котлована или траншеи, где формируется строительный отвал, сложенный из природного грунта. Грунтовые массивы подвергаются климатическому воздействию, в частности интенсивной ветровой нагрузке, где наиболее подверженными данным условиям являются дисперсные породы. Происходит загрязнение атмосферного воздуха частицами различных фракций.

Как отмечает целый ряд исследователей, наиболее опасными для жизнедеятельности человека являются мелкодисперсные частицы с размерами менее 2,5 мкм (PM_{2,5}) и не более 10 мкм (PM₁₀), образующиеся в большом процентном составе у дисперсных грунтов. Поэтому на сегодняшний день важной задачей является исследования процесса движения пылевоздушных потоков на территориях с антропогенной застройкой [1]. Поскольку наиболее полным исследованием для любых физико-химических процессов в приземном слое атмосферы является комбинация натурного и вычислительного эксперимента, то данная работа также выполнялась по этому принципу.

Цель исследования: изучение процесса динамики воздушных потоков у дисперсных горных пород Волгограда (глинистых и лессовых пород), задействованных при земляных работах путем проведения натурального и вычислительного эксперимента.

Материал и методы исследования

Для натурального эксперимента использована лабораторная аэродинамическая труба, представляющая собой установку для получения в рабочей части трубы искусственного равномерного прямолинейного потока воздуха, имитирующего действие ветра. Опыты в аэродинамической трубе основываются на принципе обратимости движения, когда движение воздуха набегаёт на неподвижное тело. Для моделирования движения тела в покоем воздухе в аэродинамической трубе создается равномерный поток, имеющий в любых точках равные и параллельные скорости (равномерное поле скоростей), одинаковые плотность и температуру. В качестве побудителя движения воздуха используются два осевых вентилятора мощностью 110 Вт и совершающих 1400 оборотов в минуту (рис. 1). Аэродинамическая труба снабжена панелью управления и соединена с компьютером, имеющим программное обеспечение, позволяющее задавать и фиксировать скорость потока воздуха, время прове-

дения эксперимента, характер работы вентиляторов. Исследованы наиболее распространенные дисперсные грунты территории г. Волгограда: верхнечетвертичные лессовые породы валдайского горизонта; морские нижнехвалынские глины (образцы взяты из выветрелой поверхностной толщи и зоны природного залегания); современные аллювиальные супеси; техногенный грунт. Дисперсный состав пыли определялся по методике [2] с использованием оптической микроскопии и программы «Dust».

В вычислительном эксперименте использованы геоинформационные технологии и методы решения задач по моделированию динамики распространения загрязняющих веществ.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного эксперимента получены следующие значения весовой доли пылевой фракции дисперсного грунтового массива в зависимости от скорости ветра (таблица). Наиболее неустойчивым к ветровой нагрузке грунтом является техногенная порода, имеющая неоднородный состав и высокий процент пылевой фракции. Весовая доля пылевой фракции колеблется от 2,34 до 4,89% и зависит от интенсивности ветра.

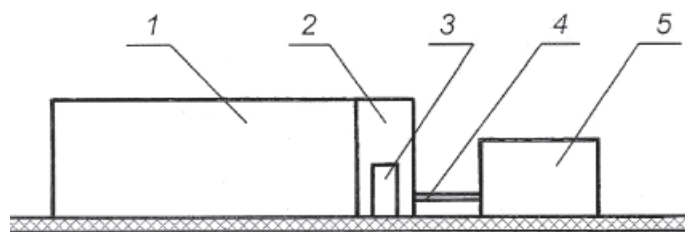


Рис. 1. Схема лабораторной аэродинамической трубы:

1 – прямоточный воздуховод; 2 – отсек с двумя осевыми вентиляторами; 3 – панель управления; 4 – блок соединения с компьютером; 5 – компьютер

Результаты эксперимента по определению весовой доли пылевой фракции дисперсного грунтового массива в зависимости от скорости ветра

Наименование грунта	Скорость воздушного потока, м/с	Выветрелая масса дисперсного грунта, %
Верхнечетвертичные лессовые породы валдайского горизонта	3	1,12
	6	1,59
	15	2,35
Морские нижнехвалынские глины (выветрелая толща)	3	0,98
	6	1,35
	15	1,94
Морские нижнехвалынские глины (естественное залегание)	3	0,05
	6	0,82
	15	1,05
Современные аллювиальные супеси	3	1,09
	6	1,66
	15	2,12
Техногенный грунт	3	2,34
	6	3,11
	15	4,89

Верхнечетвертичные лессовые породы валдайского горизонта и современные аллювиальные супеси также склонны к пылевыведению, особенно при высоких скоростях ветрового потока. Весовая доля пылевой фракции данных дисперсных грунтовых массивов составляет от 1,12 до 2,35 % от двухкилограммовой навески (100%), что связано с особенностями гранулометрического состава грунтов и физико-механическими свойствами.

К наименее пылевыведяющим грунтам относятся морские нижнехвалынские глины, весовая доля пылевой фракции которых колеблется от 0,05 до 1,94%. Они являются более плотными и влажными, характеризуются высоким процентным содержанием глинистых минералов. Отмечена повышенная степень пылевыведения у морских нижнехвалынских глин в верхней, выветрелой поверхностной толще, имеющей более низкие показатели влажности и плотности. Кроме того, процесс выветривания глин сопровождается возникновением вторичных минералов, хорошо подверженных интенсивному пылевыведению.

Анализ существующих программных комплексов для моделирования динамики воздушных потоков показал, что они опираются на стандартные методы вычислительной гидродинамики: метод конечных элементов для несжимаемой жидкости и методы интегрирования уравнений Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. На рис. 2 изображена диаграмма развертывания программных модулей, разработанной специализированной ГИС на базе программного комплекса «AirFlowBuild», который является наиболее оптимальным для моделирования динамики воздушных потоков на территориях, задействованных в земляных работах [3, 4].

Основной функционал программного комплекса распределяется следующим образом: интерфейс пользователя осуществляет контроль над всей геоинформационной системой; модуль работы с картой содержит функции открытия карты, добавления, удаления существующих зданий, строительства объектов и отображения карты пользователю; модуль визуализации 3D отвечает за построение 3D-модели рельефа; расчетный модуль (включает в себя:

а) блок расчета динамики примесей и аэрозолей, решающий уравнение диффузии по численным схемам;

б) блок «Газовая динамика» является внешним подключаемым модулем).

Разработанная информационная модель специализированной ГИС для моделирования динамики воздушных потоков предоставляет пользователям такие возможности, как:

а) работа с картографическими данными, в частности с картами рельефа местности в форматах 2D и 3D в различных вариантах отображения карты и объектов на карте;

б) выбор участка территории в любом масштабе, нанесение на карту существующих сооружений, объектов строительства и других конструкций (рис. 3);

в) экспорт карт в формат .grd;

г) построение срезов поверхности по выделенной траектории (рис. 4);

д) расчет динамики воздушных потоков и распространения загрязняющих примесей на территориях строительства в зонах с антропогенной застройкой осуществляется по двум методам: с использованием явной и неявной численных схем. Если выбранный пользователем метод не является оптимальным для данного расчета, система извещает об этом пользователя и предлагает провести расчет по другому

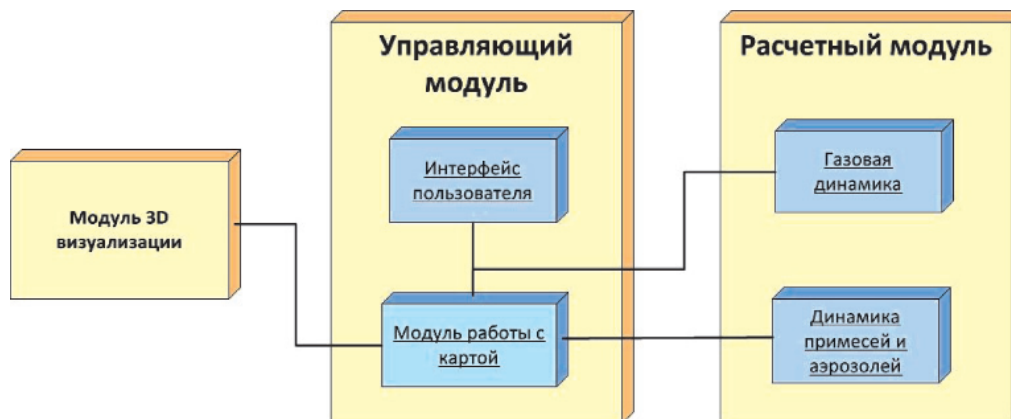


Рис. 2. Диаграмма развертывания программных модулей

методу. Проверка оптимальности решения по выбранной численной схеме осуществляется по условию

$$\frac{h}{|\vec{V}|} > \delta \frac{h^2}{2D},$$

где $\delta = 3$, если данное условие выполняется, то используется неявная численная схема;

е) визуализация произведенных расчетов путем построения 2D и 3D-моделей (рис. 5).

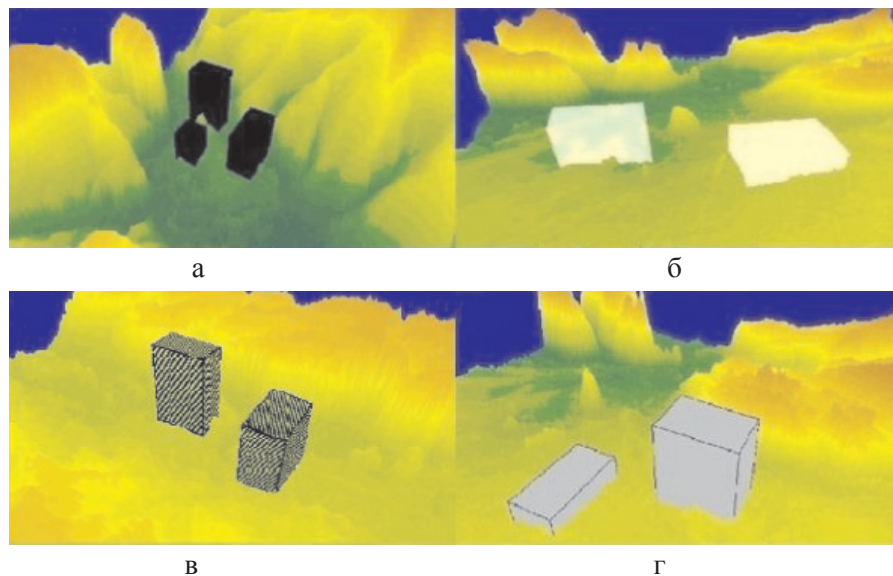


Рис. 3. Построение 3D-модели существующего застроенного массива с размещением строительного объекта:

а – сплошной черный каркас; б – черный контур;
в – черный контур и серый каркас; г – полупрозрачный каркас

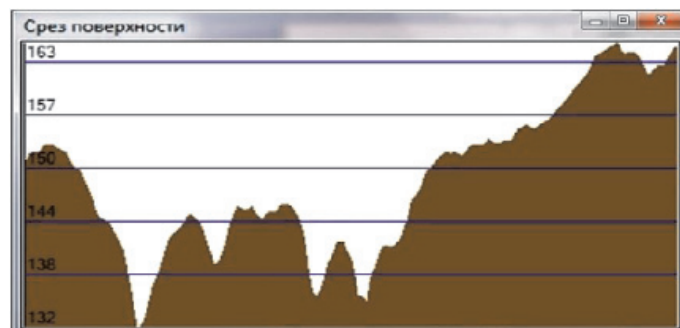


Рис. 4. Отображение среза поверхности

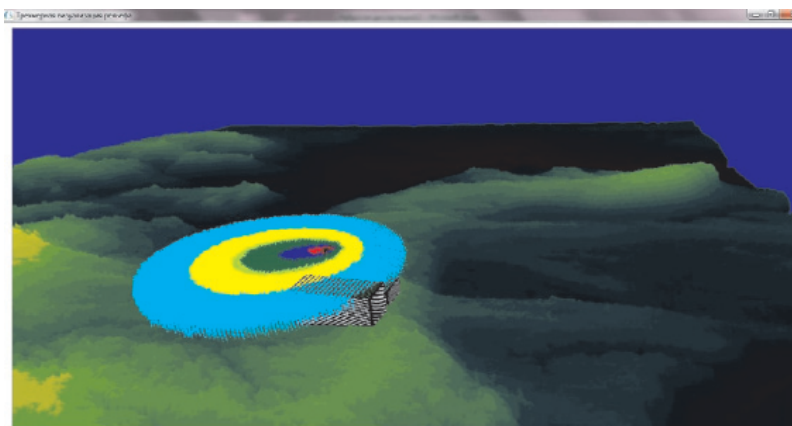


Рис. 5. Расчет распространения примеси. Ветер восточный

Таким образом, программно реализован управляющий модуль «AirFlowBuild», включающий в себя интерфейс приложения и модуль для работы с картой и её объектами. Реализован модуль визуализации 2D и 3D-карт и расчетов, который позволяет строить двух- и трехмерную модель рельефа местности в различных вариантах отображения карты и объектов на карте. Разработан расчетный модуль, позволяющий моделировать динамику распространения примесей и аэрозолей с учетом внешних нестационарных факторов.

Заключение

Проведенные исследования показали, что переотложенные грунтовые массивы, особенно дисперсного характера, в отвалах и накоплениях изменяют физико-механические свойства, что сказывается на степени пылевыведения и характере загрязнения атмосферного воздуха. На основании проведенных экспериментов на лабораторной аэродинамической трубе получено, что наиболее выветриваемым грунтом является техногенная пылеватая порода, имеющая неоднородный состав и высокий процент пылеватой фракции. Также склонны к пылевыведению верхнечетвертичные лессовые породы валдайского горизонта и современные аллювиальные супеси, особенно при высоких скоростях ветрового потока. К наименее пылевыведяющим грунтам относятся морские глинистые отложения.

Расчеты, проведенные на основании математических моделей: приземного слоя атмосферы и динамики загрязняющих примесей, которые достаточно точно описывают динамику движения воздушных потоков и характер переноса загрязняющих веществ, что позволяет сформировать информационную модель специализированной геоинформационной системы. Программно реализован управляющий модуль «AirFlowBuild», включающий в себя интерфейс приложения и модуль для работы с картой и её объектами, также реализован модуль визуализации 2D и 3D-карт и расчетов, который позволяет строить двух- и трехмерную модель рельефа местности в различных вариантах отображения карты и объектов на карте. Разработан расчетный модуль, позволяющий моделировать динамику распространения примесей и аэрозолей с учетом внешних нестационарных факторов. На основании проведенных исследований представляется возможным расчет характеристик источников выбросов загрязняющих веществ в период строительства, в частности коэф-

фициента весовой доли пылевой фракции [4], а также осуществление прогнозов по характеру выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городской среды при подготовке проектной документации в разделах «Оценка воздействия на окружающую среду» и «Перечень мероприятий по охране окружающей среды».

Список литературы

1. Азаров В.Н. Проблемы промышленной экологии. – Волгоград: Изд. ВолгГАСУ, 2006. – 145 с.
2. Азаров В.Н., Юркин В.Ю., Сергина Н.М. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) // Законодательная и прикладная метрология. – 2004. – № 1. – С. 46–48.
3. Малярчук Ю.Д., Храпов С.С. Информационная модель специализированной ГИС для моделирования динамики воздушных потоков // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. – 2013. – № 5-1. – С. 79–83.
4. Малярчук Ю.Д., Храпов С.С. Специализированная геоинформационная система для моделирования динамики воздушных потоков на территориях с антропогенной застройкой // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616685 от 16.07.2013. Заявка № 2013614300 от 21.05.2013.
5. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. – Новороссийск, ЗАО «НИПИОТСТРОМ», 2002. – 28 с.

References

1. Azarov V.N. Problemy promyshlennoy ekologii / V.N. Azarov. Volgograd: Izd. VolgGASU, 2006. 145 p.
2. Azarov V.N., Yurkin V.YU., Sergina N.M. Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniem personalis computera (PK). *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya*. 2004. no. 1. pp. 46–48.
3. Malyarchuk YU.D, Hrapov S.S. Informatsionnaya model' spetsializirovannoy GIS dlya modelirovaniya dinamiki vozdushnykh potokov. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = Research Journal of International Studies*. 2013. no. 5–1. pp. 79–83.
4. Malyarchuk Y.D, Hrapov S.S. Spetsializirovannaya geoinformatsionnaya sistema dlya modelirovaniya dinamiki vozdushnykh potokov na territoriyakh s antropogennoy zastroykoy. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM*. no. 2013616685. 16.07.2013. Zayavka no. 2013614300. 21.05.2013.
5. Metodicheskoe posobie po raschetu vybrosov ot neorganizovannykh istochnikov v promyshlennosti stroitelnykh materialov. Novorossiysk, ZAO NIPIOTSTROM, 2002. 28 p.

Рецензенты:

Азаров В.Н., д.т.н., профессор, генеральный директор, ООО «НИПИ Волгогорхимстрой», г. Волгоград;

Трига А.Д., д.т.н., профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника», филиал, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Волжский.

Работа поступила в редакцию 10.04.2015.