6. Охорона праці (практикум): Навч. посіб. / За заг. ред.. к. т. н., доц. І.П.Пістуна. - Львів: «Тріада плюс», 2011 - 436 с.
7. Управление инновационной деятельностью: магистерский курс (Инновационный менеджмент в знание - ориентованной экономике): учебник / под общ. ред. д.э.н., проф. С. М. Ильяшенко. - Сумы: ИТД «Университетская книга», 2013. - 728 с.
8. Офіційний сайт Держгірпромнагляду. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.dnop.kiev.ua.
9. Офіційний сайт Міністерства надзвичайних ситуацій України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.mns.gov.ua.

УДК 502.3:504.5:629.33

Беляев Н. Н.,
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,
Славинская Е. С., Кириченко Р. В.
Национальный транспортный университет, Киев

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ГОРОДЕ ОТ АВТОТРАНСПОРТА

Вступление. Как известно, автомобильный транспорт является самым крупным источником выброса загрязняющих веществ в атмосферу [15]. В настоящее время, в Украине наблюдается тенденция увеличения количества автомобилей на магистралях городов, что увеличивает антропогенную нагрузку на окружающую среду. Кроме этого идут плановые работы по реконструкции улиц, магистралей, развязок в различных городах страны. Все это ставит во главу угла проблему прогнозирования качества воздушной среды выбросами автотранспорта.

Рис. 1. Выбросы от автотранспорта

Анализ литературы. Прогнозирование качества атмосферного воздуха выбросами от автотранспорта осуществляется различными методами. Метод физического моделирования требует применения дорогостоящего экспериментального оборудования, достаточно много времени на постановку эксперимента, его проведение и обработку данных измерений [14]. Поэтому, метод физического моделирования не может быть каждодневным инструментом решения прогнозных задач, связанных с анализом загрязнения воздушной среды на будущих автомагистралях и т.п. Альтернативным подходом является применение метода математического моделирования. Наиболее часто для такого вида прогнозирования используются эмпирические и аналитические модели [4, 5, 7, 9]. Эти модели позволяют быстро получить прогнозные данные, но ориентированные, как правило, на ситуацию «постоянно действующий линейный источник» или «точечный источник». Другим подходом является использование метода численного моделирования на базе уравнения массопереноса [6]. Такой подход является более физически обоснованным, но не учитывает наличие застройки в области прогноза. Наиболее эффективным подходом для прогноза качества воздушной среды выбросами от автотранспорта является CFD моделирование, в рамках которого осуществляется расчет поля ско-

рости ветрового потока в условиях застройки [1, 2, 12, 13]. В настоящее время, в Украине, существует определенный дефицит CFD моделей для оценки влияния автомагистралей на уровень загрязнения атмосферного воздуха.

Целью данной работы является разработка 3D CFD моделей для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобилей. Ставиться задача создания моделей, которые давали бы возможность прогнозировать уровень загрязнения атмосферного воздуха в условиях застройки.

Методика. Для решения задачи по оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта будут использоваться фундаментальные уравнения аэродинамики и массопереноса. Для численного интегрирования моделирующих уравнений будет использоваться метод сеток.

Модель аэродинамики. Особенностью рассматриваемой задачи является рассеивание выбросов от автомобилей в условиях застройки. Каждое здание представляет собой препятствие на пути ветрового потока, а значит, приводит к деформации поля скорости этого потока. Поэтому, прежде чем приступить к моделированию рассеивания выбросов в атмосфере, необходимо рассчитать поле скорости ветрового потока в условиях застройки. Для решения этой задачи будем применять модель идеальной жидкости. Если сделать предположение о безвихревом воздушном потоке, то моделирующее уравнение будет иметь вид [1, 10, 11]:

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}=0, \qquad (1)$$

где φ – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушного потока определяется такими соотношениями:

$$u=\frac{\partial\varphi}{\partial x},\ v=\frac{\partial\varphi}{\partial y},\ w=\frac{\partial\varphi}{\partial z}. \qquad (2)$$

Постановка краевых условий для данного уравнения рассматривается в работах [1, 11].

Модель массопереноса. Для моделирования рассеивания выбросов от автомобилей в атмосферном воздухе будем использовать следующее уравнение [2, 4-6, 10, 11]:

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial uC}{\partial x}+\frac{\partial vC}{\partial y}+\frac{\partial(w-w_S)C}{\partial z}+\sigma C=$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_z\frac{\partial C}{\partial z}\right)+ \qquad (3)$$
$$+\sum Q_i(t)\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\delta(z-z_i),$$

где C – концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе; u, v, w – компоненты вектора скорости движения воздушной среды; μ_x, μ_y, μ_z – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; σ – коэффициент, учитывающий изменение концентрации за счет химических реакций, протекающих в атмосфере и вымывания вредного вещества осадками [5]; t – время; x_i, y_i, z_i – координаты расположения точечного источника выделения примеси (место расположения автомобилей); w_s – скорость гравитационного оседания загрязнителя; $Q_i(t)$ – интенсивность эмиссии точечного источника (интенсивность выброса от автомобилей); $\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\delta(z-z_i)$ – обозначение дельта-функции Дирака.

Таким образом, загрязнение примагистральной территории от автотранспорта моделируется серией точечных источников, заданной интенсивности. Поскольку выбросы от автомобилей содержат различные вредные вещества, уравнение (3) необходимо использовать для рассеивания каждого конкретного вредного вещества.

Постановка граничных и начальных условий для уравнения массопереноса рассмотрено в работах [1, 2, 6, 10, 11].

На входе в расчетную область задаются следующие значения параметров [3-5]:

$$u=u_1\left(\frac{z}{z_1}\right)^p,\ \mu_z=k_1\left(\frac{z}{z_1}\right)^m,\ \mu_x=k_0u,$$
$$\mu_x=\mu_y, \qquad (4)$$

где u_1 – скорость ветра на высоте z_1 (принимается $z_1 \approx 10\,м$); $k_1 = 0{,}2$; $k_0 = 0{,}1$; $p = 0{,}16$; $m \approx 1$.

С помощью маркеров в дискретной модели задается, положение автомагистрали, интенсивность выбросов от автомобилей и положение зданий в расчетной области. Это позволяет очень быстро формировать «геометрию» расчетной области, т.е. положение зданий, их форму, положение автомагистралей и т.д.

Метод численного решения. Для решения дифференциальных уравнений аэродинамики и массопереноса используются конечно-разностные методы. Так для численного интегрирования уравнения для потенциала скорости применяется метод условной аппроксимации [8]. Согласно этому методу уравнение для потенциала скорости, записанное в разностном виде, расщепляется на два уравнения, причем на каждом шаге расщепления неизвестное значение потенциала скорости определяется по явной схеме бегущего счета, при этом сама разностная схема – неявная. Для численного интегрирования уравнения рассеивания выбросов в атмосфере применяется неявная попеременно-треугольная разностная схема расщепления [1, 10, 11].

Практическая реализация модели. На базе построенных численных моделей разработан специализированный пакет программ (код). Данный пакет программ был использован для моделирования загрязнения атмосферного воздуха возле автомагистрали, рядом с которой находилось два здания (рис.2). Ставилась задача оценки размеров, формы зоны загрязнения возле автомагистрали.

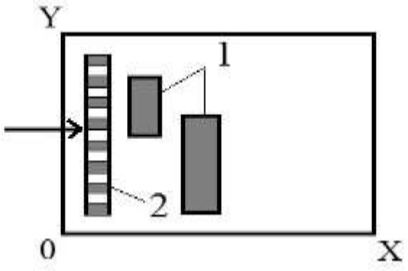

Рис. 2. Расчетная схема:
1 – здания; 2 – автомагистраль (уровень z=0)

На рис.3 представлена зона загрязнения атмосферного воздуха в расчетной области, полученная с помощью численного моделирования.

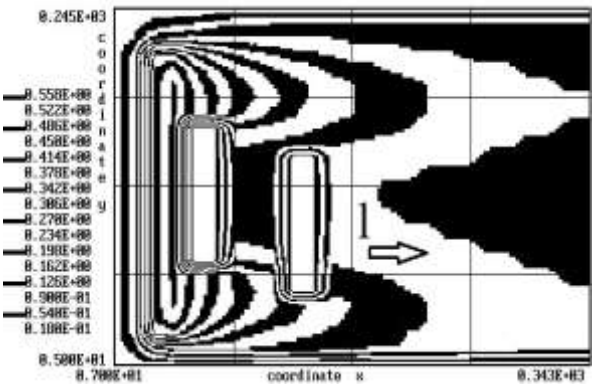

Рис. 3. Зона загрязнения возле зданий:
1 – направление ветра (z=6 м)

Как видно из рис.3, формирующаяся зона загрязнения может быть разбита на две подзоны. Первая подзона – формируется сбоку от зданий. Эта подзона имеет форму «языка», который вытягивается вдоль боковых сторон зданий в направлении движения ветрового потока. Вторая подзона – формируется на подветренной стороне зданий. Из представленного рисунка видно, что в зону влияния автомагистрали попадают оба здания.

Отметим, что на решение задачи потребовалось около 10 сек компьютерного времени.

Выводы. Рассмотрены эффективные 3D численные модели для прогноза уровня загрязнения воздушной среды на улицах городов выбросами от автотранспорта. Разработанные численные модели позволяют рассчитать 3D аэродинамику ветрового потока в условиях застройки и процесс массопереноса выбросов от автотрассы. Выбросы от автотрассы моделируются серией точечных источников заданной интенсивности. Разработанные модели позволяют оперативно получить информацию об уровне загрязнения воздушной среды и оценить влияние автомобилей на интенсивность такого загрязнения. Дальнейшее совершенствование моделей следует проводить в направлении ее развития для расчета аэродинамики на базе уравнений вязкой жидкости.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беляев Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2013. – 159 с.
2. Беляев Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов: монография / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – 159 с.
3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
4. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. – 273с.
5. Бруяцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруяцкий. – Киев: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва: Наука, 1982. – 320с.
7. Рудаков Д. В. Модель рассеивания примеси в приземном слое атмосферы над поверхностью со сложным рельефом / Д. В. Рудаков // Вісн. ДНУ. Серія: Механіка. – Дніпропетровськ, 2004. – № 6. – Вип. 8, т. 1. – С. 89-97.
8. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва: Наука, 1983. – 616 с.
9. Уорк К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – Москва: Мир, 1980. – 539 с.
10. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ: Наук. думка, 1997. – 368 с.
11. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – 2011. – P. 87–91.
12. Li Xianxiang Large-Eddy Simulation of Wind Flow and Air Pollutant Transport inside Urban Street Canyons of Different Aspect Rations / Li Xianxiang // A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy at the University of Hong Kong, June. – 2008. – P. 205.
13. Mitran G. The identification of major factors from road traffic which produce the air pollution and presentation of the current stage of the research in road traffic modeling and air pollution from road vehicles / G. Mitran // PhD Scientific Report No. 1, University of Pitești, Romania, 2011. – P. 60-63.
14. Ooka R. Wind – tunnel test of gaseous diffusion in street canyon with thermal stratificution / R. Ooka, S. Murakami, S. Iizuka / Wind Engeneering into the 21st Century. Vol. 2, Balkena, Rotterdam. – 1999. – P. 781-786.
15. Sethe Yogesh V. Air Quality Modeling in Street Canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India / Yogesh V. Sethe // Universal J. of Environmental Research and Technology.– P. 97-105.

УДК [504.3:622.411.52]:656.2

Беляев Н. Н., Оладипо Мутиу Олатойе

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ УНОСА ПЫЛИ ИЗ ВАГОНА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЯ

Вступление. В Нигерии транспортировка угля осуществляется железнодорожным транспортом (рис.1). Как известно, это приводит к уносу угольной пыли при транспортировке. Результатом такого уноса пыли является загрязнение путей, примагистральной территории и рабочих