

УДК 519.6:504.3.054

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА УЛИЦАХ

Т.И. Русакова, ассистент, ДНУ им. О.Гончара, Н.Н. Беляев, проф., д.т.н., ДНУЖТ

***Аннотация.** Разработана CFD модель для оценки качества воздушной среды на улицах. Модель может быть использована для прогноза уровня загрязнения атмосферы при выбросах от автотранспорта.*

***Ключевые слова:** численная модель, загрязняющие вещества, автотранспорт, поле скорости, рассеивание.*

CFD МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВУЛИЦЯХ

Т.І. Русакова, асистент, ДНУ ім. О.Гончара, М.М. Біляєв, проф., д.т.н., ДНУЗТ

***Анотація.** Розроблена CFD модель для оцінки якості повітряного середовища на вулицях. Модель може бути використана для прогнозу рівня забруднення атмосфери при викидах від автотранспорту.*

***Ключові слова:** чисельна модель, забруднюючі речовини, автотранспорт, поле швидкості, розсіювання.*

CFD MODELING OF AIR QUALITY IN THE STREETS

T.I. Rusakova, assistant, DNU O.Gonchara, N.N. Biliaiev, professor, dr. eng. sc., DNURT

***Abstract.** CFD model to simulate the pollutant dispersion in the streets was proposed. The model can be used to predict the level of pollution from auto transport.*

***Key words:** numerical model, pollutants, auto transport, speed field, dissipation.*

Введение

В работе решается важная экологическая задача – применение разработанной CFD модели для прогноза качества воздушной среды на улицах при выбросах от автотранспорта. Разработанная CFD модель включает в себя два блока:

- первый гидродинамический блок – расчет поля скорости ветрового потока при обтекании зданий;
- второй блок решения задачи массопереноса – расчет рассеивания загрязняющих веществ на улицах.

Анализ публикаций

Для решения задачи прогнозирования качества воздушной среды на улицах существует несколько классов математических моделей. Аналитические модели – модель Гаусса [2] и численные модели [1,3,4,5].

Аналитические модели позволяют быстро рассчитать поле концентрации загрязняющего вещества, как для стационарных выбросов, так и для аварийных ситуаций, но они не учитывают влияние зданий на улицах на процесс формирования зоны загрязнения.

При использовании численных моделей, которые основаны на уравнениях Навье-Стокса требуется большое количество компьютерного времени (порядка нескольких суток).

Цель

Целью данной работы является разработка и применение CFD модели для прогноза качества воздушной среды на улицах при выбросах от автотранспорта, не требующей больших затрат компьютерного времени и применения мощных ПК при проведении серийных расчетов.

Математическая модель

Для решения гидродинамической задачи используется модель отрывных течений идеальной жидкости. В основе модели лежит два уравнения – уравнение переноса завихренности и уравнение для функции тока

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega, \quad (2)$$

где $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ – завихренность;

ψ – функция тока.

Для численного интегрирования уравнений гидродинамической модели применяется неявная разностная схема.

Для решения задачи массопереноса используется следующее уравнение [3,4]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u C}{\partial x} + \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \sum Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \quad (3)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества в атмосфере; u, v – компоненты вектора скорости ветра; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты диффузии; x_i, y_i – координаты источника выброса загрязняющего вещества; Q_i – интенсивность выброса загрязняющего вещества; $\delta(x - x_i), \delta(y - y_i)$ – дельта-функция.

Выброс от автотранспорта на улицах моделируется системой точечных источников.

Для численного интегрирования уравнения переноса примеси применяется неявная попеременно-треугольная разностная схема расщепления. На каждом шаге расщепления неизвестные значения концентрации загрязняющего вещества определяются по явной схеме «бегущего счета» [1,3,4].

В разработанной численной модели для формирования расчетной области используется метод маркирования. Применение этого метода позволяет быстро формировать вид расчетной области, положение источника выброса загрязнителя и другие особенности данного класса задач.

Практическая реализация модели

На базе разработанной CFD модели выполнен расчет уровня загрязнения воздушной среды в районе города. Расчет выполнялся при следующих данных: ■■■■■ положение автомагистралей; скорость ветра 4 м/с; интенсивность выброса 0,009 г/(с·м); коэффициенты диффузии $\mu_x = \mu_y = 2 \text{ м}^2/\text{с}$.

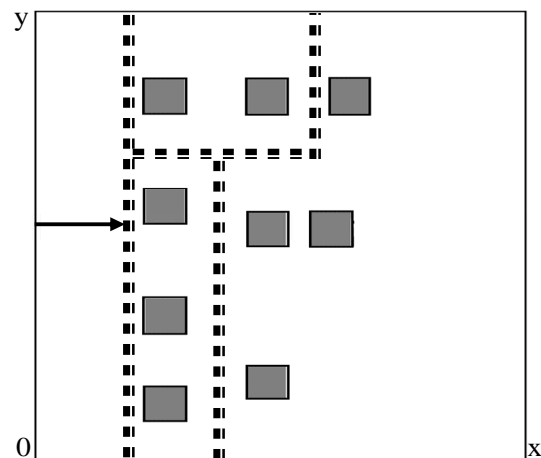


Рис.1. Схема расчетной области

На рис.2., рис.3. представлены результаты моделирования, где показана динамика загрязнения атмосферы в районе для различных моментов времени. Эти данные позволяют оценить вид формирующейся зоны загрязнения, ее размеры и интенсивность.

Значение концентрации представлено в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации на данный мо-

мент времени.

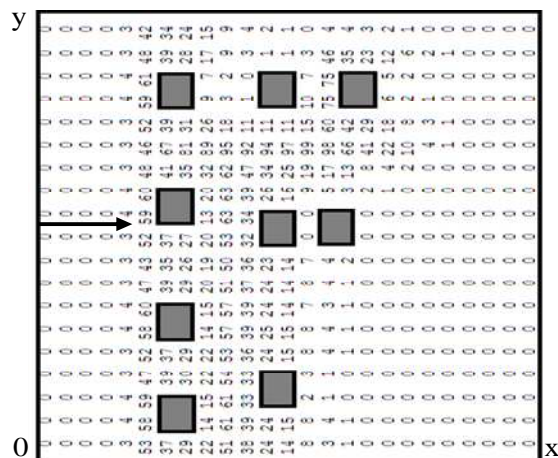


Рис. 2. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t=5\text{с}$ (максимальная концентрация $C_{\text{max}} = 3,65 \text{ мг/м}^3$)

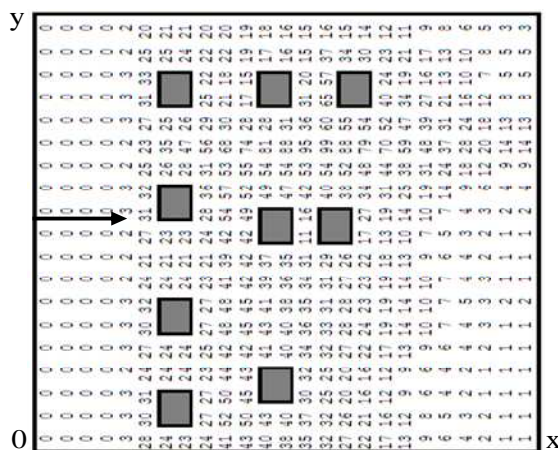


Рис. 3. Зона загрязнения атмосферы для момента времени $t=20\text{с}$ (максимальная концентрация $C_{\text{max}} = 9,25 \text{ мг/м}^3$)

Вывод на печать чисел осуществлен по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать. Это значит, что если, например, в какой-то точке расчетное значение концентрации составляет «8,5%» от максимальной концентрации, то на печать будет выведено число «8». Этот вывод результатов на печать эффективен при проведении серийных расчетов, когда осуществляется «перебор» различных вариантов с целью выбора наиболее оптимального для конкретной ситуации.

Указанное представление результатов расчета в виде «целых» чисел позволяет оперативно анализировать информацию относительно величины концентрации в любой части рас-

четной области. Отметим, что по требованию пользователя, разработанный код осуществляет вывод на печать результатов по формату «действительное число», т.е. с сохранением дробной части числа.

На представленных рисунках хорошо видно, как с течением времени формируется сложная зона загрязнения, вызванная влиянием зданий, своего рода препятствий, на процесс распространения загрязняющего вещества.

Выводы

1. На основе разработанной CFD модели создан пакет прикладных программ, реализованный на языке FORTRAN.
2. Приводятся результаты вычислительного эксперимента по прогнозу качества воздушной среды на улицах для заданной метеорологической ситуации.
3. Пакет программ ориентирован на решение экологических задач – определение концентрации загрязнителя вблизи магистрали, перед зданиями и за зданиями.

Литература

1. Антошкина Л.И. Моделирование аварийных ситуаций на промышленных объектах и безопасность жизнедеятельности / Л.И. Антошкина, Н.Н. Беляев, Л.Ф. Долина, Е.Д. Коренюк – Д.: Нова ідеологія, 2011. – 123 с.
2. Бруацкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов. Киев: Институт гидромеханики НАН України, 2000. – 443 с.
3. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
4. Пшинько А.Н. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях / А.Н. Пшинько, Н.Н. Беляев, П.Б. Машихина – Д.: Нова ідеологія, 2011. – 168 с.
5. Murakami S. Comparison of “k-ε” model, ASM and LES with wind tunnel test for flow field around cubic model / S. Murakami, A. Mochida, H. Yoshihiko // 8th Intern. Conf. on Wind Engineering, Western Ontario, July 8-11, 1991. – № 12 – 3.