

УДК 519.6:504.3.054

**Н.Н. БЕЛЯЕВ**, *д-р техн. наук, проф., заведуючий кафедрою гидравлики і водоснабження Днепропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Україна*

**Т.И. РУСАКОВА**, *ассистент Днепропетровського національного університету ім. О.Гончара, г. Днепропетровск, Україна*

## CFD ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА УЛИЦАХ

Построена CFD модель для прогноза уровня загрязнения атмосферы на улицах. Модель может быть использована как для прогноза загрязнения атмосферы от транспорта, так и для прогноза загрязнения воздушной среды при аварийных выбросах на улицах. Для расчета гидродинамики ветрового потока используется модель вихревых отрывных течений идеальной жидкости. Представлены результаты вычислительного эксперимента.

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

### Введение

В настоящее время повышенный интерес проявляется к проблеме прогноза уровня загрязнения воздушной среды на улицах. Следует подчеркнуть, что в рамках данной проблемы можно выделить две важные задачи. Первая задача – это загрязнение воздушной среды от транспорта, стационарных источников на улице (выбросы с миникотелен, от труб ресторанов, кафе и т.п.). Вторая задача – это прогноз загрязнения атмосферы на улицах в случае аварийных выбросов (пожары на АЗС, разгерметизация движущихся цистерн, аварийные разливы и т.д.). В этой связи возникает проблема создания эффективных математических моделей, которые позволяли бы быстро рассчитать степень загрязнения атмосферы на улицах для каждого класса задач. Сейчас используется несколько классов математических моделей для решения данных задач. Как правило, это аналитические модели – модель Гаусса [2, 8, 9] и численные модели [1, 2, 3, 11, 12, 13]. Аналитические модели позволяют оперативно рассчитать поле концентрации загрязняющего вещества, как для стационарных выбросов, так и для аварийных ситуаций. Большим недостатком этих моделей является

то, что они не учитывают влияние зданий на улицах на процесс формирования зоны загрязнения. Необходимо отметить, что при использовании численных моделей, которые основаны на уравнениях Навье-Стокса требуется значительное количество компьютерного времени (порядка нескольких суток), что не позволяет применять эти модели для серийных расчетов [10]. Кроме этого, как известно в настоящее время существует большая проблема моделирования турбулентности. Даже общеизвестные модели турбулентности [10] дают достаточно плохие результаты при моделировании обтекания зданий. Отдельно следует отметить существующую нормативную методику [4], которая используется в Украине для расчета зон поражения с химически опасными веществами. Ее существенным недостатком является также то, что она не учитывает влияние зданий на перенос загрязняющих веществ в атмосфере.

Целью данной работы является разработка CFD модели прогноза загрязнения атмосферы на улицах, не требующей больших затрат компьютерного времени и применения мощных ПК при проведении серийных расчетов.

### Математическая модель

Процесс расчета переноса загрязняющих веществ на улицах, с учетом зданий разбивается на два шага. На первом шаге решается

задача по определению поля скорости ветра при обтекании зданий (плановая задача). Для решения этой задачи применяется модель отрывных вихревых течений идеальной несжимаемой жидкости [3]. В этом случае

базовими уравнениями являются: уравнение переноса завихренности (1) и уравнение Пуассона для расчета функции тока (2) [3]:

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

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

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

Компоненты вектора скорости ветрового потока рассчитываются так:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Будем считать, что отрыв потока происходит в угловых точках зданий. Так как при отрыве потока образуются вихри, то возникает задача расчета их интенсивности. Для решения этой задачи используется подход, рассмотренный в работе [3].

Для данных уравнений гидродинамики осуществляется постановка следующих граничных условий. Так, для уравнения Пуассона на поверхности препятствий ставится граничное условие «непротекания» [3]:  $\psi=0$ .

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u C}{\partial x} + \frac{\partial v C}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества;  $u, v$  – компоненты вектора скорости ветра;  $\mu=(\mu_x, \mu_y)$  – коэффициент турбулентной диффузии;  $Q$  – интенсивность выброса загрязнителя;  $\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $x_i, y_i$  – координаты источника выброса;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий химический распад загрязнителя;  $t$  – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [5, 3].

### Метод решения

Для численного интегрирования уравнений гидродинамики используются неявные разностные схемы. Так для интегрирования уравнения переноса завихренности применяется попеременно-треугольная разностная

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j} - v_{i,j}^+ \omega_{i,j-1}}{\Delta y} = 0;$$

На границе входа воздушного потока в расчетную область задается профиль скорости воздушного потока  $u=f(y)$  и соответствующее значения функции тока  $\psi$  и завихренности  $\omega$ :

$$\psi|_{\text{вход}}=\psi(y), \quad \omega|_{\text{вход}}=\omega(y).$$

На верхней границе расчетной области также ставится условие «непротекания»:  $\psi=\text{const}$ .

На границе выхода воздушного потока из расчетной области ставятся «мягкие» граничные условия, необходимые для замыкания разностных уравнений [3].

Решение стационарной гидродинамической задачи находится методом установления решения по времени  $t$ . Для этого в начальный момент  $t=0$  для завихренности ставится начальное условие типа:  $\omega|_{t=0}=0$  или  $\omega|_{t=0}=\omega_0(x,y)$ .

После решения уравнений (1) и (2) и расчета поля скорости ветрового потока начинается решение задачи о переносе загрязняющих веществ на улицах (второй шаг). Для моделирования этого процесса используется уравнение переноса примеси в атмосфере [1, 3, 5]:

Для формирования вида расчетной области, положения зданий, их формы, используется метод маркирования расчетной области [1, 3]. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке. Используя данный метод, можно формировать любую форму зданий на улицах и выбирать их взаимное расположение.

схема [3, 6]. Разностные уравнения для расчета завихренности на каждом шаге расщепления, имеют вид:

- на первом шаге расщепления:

- на втором шаге расщепления:

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = 0,$$

где  $u^+ = \frac{u+|u|}{2}$ ,  $u^- = \frac{u-|u|}{2}$ ,  $v^+ = \frac{v+|v|}{2}$ ,  
 $v^- = \frac{v-|v|}{2}$ .

Значение завихренности на каждом расчетном шаге рассчитывается по формуле бегущего счета.

Значение функции тока рассчитывается с помощью разностной схемы суммарной аппроксимации [6]. В этом случае, разностные уравнения записываются так:

- на первом шаге:  $\frac{\psi_{ij}^{n+\frac{1}{4}} - \psi_{ij}^n}{\Delta t} = \frac{-}{2} \omega_{ij}^-$ ;

- на втором шаге:

$$\frac{\psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \psi_{i,j}^n}{\Delta t} = - \frac{\psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \psi_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} - \frac{\psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \psi_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2};$$

- на третьем шаге:

$$\frac{\psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}} - \psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{\psi_{i+1,j}^{n+\frac{3}{4}} - \psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta x^2} + \frac{\psi_{i,j+1}^{n+\frac{3}{4}} - \psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta y^2};$$

- на четвертом шаге:  $\frac{\psi_{i,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta t} = \frac{-}{2} \omega_{i,j}^-$ ,

где  $\omega_{i,j}^- = \frac{1}{4}(\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j+1} + \omega_{i-1,j-1} + \omega_{i,j-1})$ .

Численное интегрирование уравнения переноса примеси проводится с помощью неявной разностной схемы расщепления [1,3].

$$\frac{\partial}{\partial x} (\mu_x \frac{\partial C}{\partial x}) \approx \mu_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_x \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}.$$

Здесь  $L_x^+$ ,  $L_x^-$ ,  $L_y^+$ ,  $L_y^-$ ,  $M_{xx}^+$ ,  $M_{xx}^-$ ,  $M_{yy}^+$ ,  $M_{yy}^-$  – условные обозначения разностных операторов.

$$\frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + \sigma C_{ij}^{n+1} = (M_{xx}^+ C^{n+1} + L_{xx}^- C^{n+1} + L_{yy}^+ C^{n+1} + L_{yy}^- C^{n+1}) + q_{ij} \delta_{ij}.$$

Обозначаем  $\delta_{ij}$  – число “1” или “0”, в зависимости от того, расположен или нет в

Производная по времени аппроксимируется разделенной разностью «назад»  $\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t}$ .

В конвективных производных слагаемые однонаправленного переноса записываются в виде:

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}; \quad \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}.$$

С учетом предыдущего выражения конвективные производные аппроксимируются разделенными разностями “против потока” на верхнем временном слое:

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}.$$

Компоненты скорости  $u$  определяются на вертикальных гранях разностных ячеек, а компоненты скорости  $v$  – на горизонтальных гранях. Индексы этих граней соответствуют индексам ячеек, расположенных правее или выше соответствующей грани.

Вторые производные аппроксимируются следующим образом:

С учетом приведенных выше обозначений разностный аналог уравнения (3) записывается:

разностной ячейке “ij” источник загрязнения. Значение  $q_{ij}$  равно интенсивности  $q_k$

соответствующего  $k$ -го источника, размещенного в разностной ячейке “ $ij$ ”, деленной на площадь этой ячейки:

$$q_{ij} = q_k / (\Delta x \cdot \Delta y).$$

Расщепляем разностное уравнение на четыре разностных уравнения так, чтобы на

$$k = \frac{1}{4}$$

$$\frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \frac{1}{4}(M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l; \quad (21)$$

- на втором шаге расщепления:

$$k = n + \frac{1}{2}, \quad c = n + \frac{1}{4}$$

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l;$$

- на третьем шаге расщепления:

$$k = n + \frac{3}{4}, \quad c = n + \frac{1}{2}$$

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \frac{1}{4}(M_{xx}^- \varphi^c + M_{xx}^+ \varphi^k + M_{yy}^- \varphi^k + M_{yy}^+ \varphi^c) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l;$$

- на четвертом шаге расщепления:

$$k = n + 1, \quad c = n + \frac{3}{4}$$

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ij}^k = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{\bar{q}_l}{4} \delta_l.$$

В данных разностных уравнениях используется значение  $\bar{q}_l = \frac{q_l}{\Delta x \cdot \Delta y}$ . Значение функции  $\delta_l$  тождественно нулю во всех ячейках, кроме тех, где расположен источник выброса.

каждом шаге учитывалось лишь одно направление переноса возмущений, определяемое знаком при конвективной производной. В этом случае разностные уравнения имеют вид:

- на первом шаге расщепления:

Поскольку на каждом шаге расщепления шаблон разностных уравнений имеет треугольную форму, то на верхнем временном слое неизвестное значение функции  $C$  находится по методу «бегущего счета».

### Практическая реализация модели

На базе рассмотренной CFD модели был создан пакет прикладных программ (STREET-2), в качестве языка программирования используется Fortran. Разработанная модель была использована для решения следующей задачи. Рассматривается участок города, в рамках которого расположены 6 зданий (рисунок 1). Здания расположены несимметрично, возле первых двух зданий происходит залповый выброс загрязняющего

вещества. Требуется рассчитать динамику загрязнения атмосферы вблизи зданий.

Исходные данные: размеры расчетной области 125 м×105 м, скорость ветра 3,5 м/с, коэффициент турбулентной диффузии по всем направлениям приняты 2,5 м<sup>2</sup>/с [5]. Концентрация загрязнителя в облаке в начальный момент времени принята равной 1 (в безразмерном виде). На приведенных рисунках стрелкой показано направление ветра.

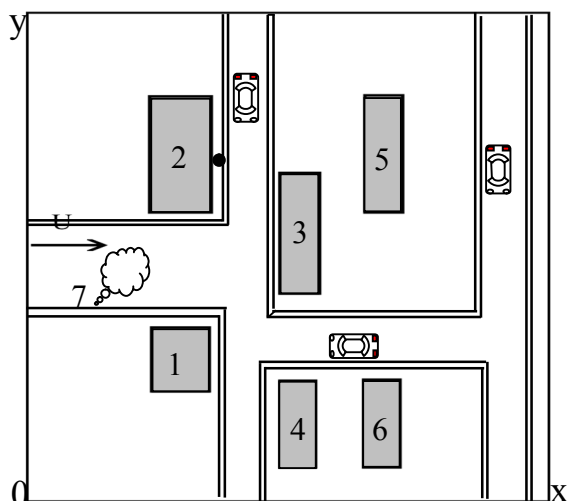


Рисунок 1 – Схема расчетной области:  
1-6 – здания, 7 – место аварийного выброса

Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента. На приведенных ниже рисунках показана динамика загрязнения атмосферы в районе для различных моментов времени. Эти данные позволяют оценить вид формирующейся зоны загрязнения, ее размеры и интенсивность.

На этих рисунках значение концентрации представлено в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации на данный момент времени. 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 «9,6 %» от максимальной концентрации на входе в помещение, то на печать будет выведено число «9». 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 расчетной области. Отметим, что по требованию пользователя, разработанный код осуществляет вывод на печать результатов по формату «действительное число», т.е. с сохранением дробной части числа.

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

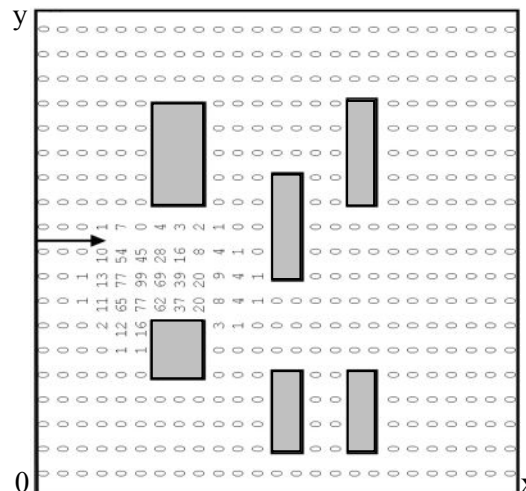


Рисунок 2 – Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 1,5$  с  
(максимальная концентрация  $C_{\max} = 0,566$ )

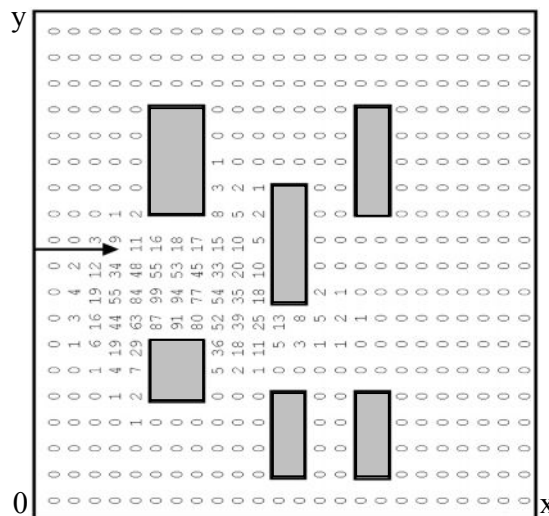


Рисунок 3 – Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 3$  с  
(максимальная концентрация  $C_{\max} = 0,287$ )

С помощью разработанной модели можно оценить уровень загрязнения воздушной среды на улицах в любой интересующей точке. Например, рассмотрим точку, которая показана на рисунке 1, условным символом (кружочек). Это место расположения двери, эвакуационного выхода из здания.

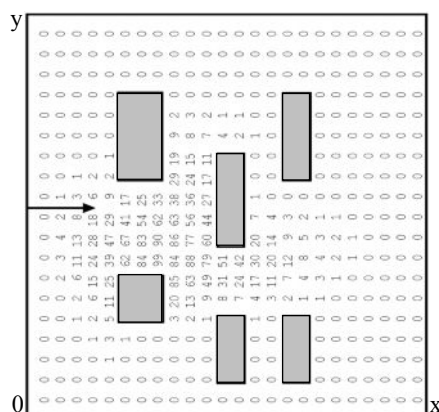


Рисунок 4 – Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 5$  с (максимальная концентрация  $C_{\max} = 0,185$ )

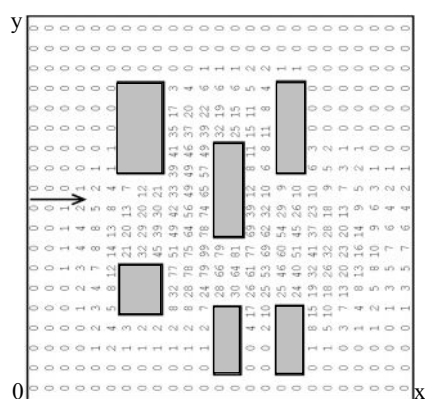


Рисунок 5 – Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 9$  с (максимальная концентрация  $C_{\max} = 0,112$ )

Рассмотрена эффективная CFD модель для прогноза уровня загрязнения атмосферы на улицах. Предложенная модель позволяет рассчитать гидродинамику ветрового потока при обтекании зданий и рассчитать динамику распространения загряз-

нения на улицах. Отличительной чертой модели является оперативность ее реализации на ПК. Дальнейшее совершенствование модели следует проводить в направлении ее адаптации к 3-D расчету рассеивания газов.

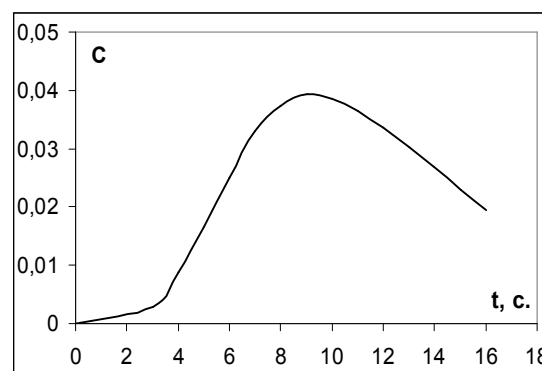


Рисунок 6 – График изменения безразмерной величины концентрации загрязняющего вещества возле второго здания в течение первых 16 с

Результаты данной задачи иллюстрируют возможность применения построенной численной модели для решения актуальных задач урбоэкологии. На расчет задачи потребовалось 7 с компьютерного времени.

### Выводы

### Перечень ссылок

1. Моделирование аварийных ситуаций на промышленных объектах и безопасность жизнедеятельности / [Антошкина Л.И., Беляев Н.Н., Долина Л.Ф., Коренюк Е.Д.]. – Д. : Нова ідеологія, 2011. – 123 с.
2. Бруязцкий Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Бруязцкий Е.В. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / [Згуровский М.З., Скопецкий В.В., Хрущ В.К., Беляев Н.Н.]. – К.: Наукова думка, 1997. – 368 с.
4. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті – К., 2001. – 33 с.
5. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г.И. – М. : Наука, 1982. – 316 с.
6. Самарский А.А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М. : Наука, 1983. – 616 с.

7. Хміль Г.А. Концептуально-методичний апарат аналізу й оцінки техногенних та природних ризиків / Г.А. Хміль // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – № 5. – С. 47-55.
8. Шаталов А.А. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеивания тяжелого газа / А.А. Шаталов, М.В.Лисанов // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 9. – С. 46 – 52.
9. Hanna S. Air Quality Modeling Over Short Distances / S. Hanna // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling: 16 May-3 June 1994. №SMR/760-2 – P. 712 – 743.
10. 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 – P. 3.
11. Belyaev M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances / M. Belyaev // Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment. NATO Science for Peace and / Security Series. – С.: Environmental Security, Springer, 2007. – P. 327 – 336.
12. Biliaiev M.M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography / M.M. Biliaiev, M.M. Kharytonov // Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. – P. 1-4.
13. Tedeschi G. Study of vertical transport of marine aerosol using an unsteady 2D model / G. Tedeschi // Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. – P. 5 -9.

*Стаття надійшла до редколегії 21.07.2013 р. російською мовою.  
Стаття рекомендована членом редколегії канд. техн. наук М.А. Ємцем.*

**М.М. БІЛЯЄВ\*, Т.І. РУСАКОВА\*\***

*\*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна*

*\*\*Дніпропетровський національний університет ім. О.Гончара, м. Дніпропетровськ, Україна*

### **CFD ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВУЛИЦЯХ**

Побудована CFD модель для прогнозу рівня забруднення атмосфери на вулицях. Модель може бути використана як для прогнозу забруднення атмосфери від транспорту, так і для прогнозу забруднення повітряного середовища при аварійних викидах на вулицях. Для розрахунку гідродинаміки повітряного потоку використовується модель вихрових відривних течій ідеальної рідини. Представлені результати обчислювального експерименту.

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

**M.M. BILIAIEV\*, T.I. RUSAKOVA\*\***

*\*Dnipropetrovsk National University of Railway Transport academician V.Lazaryana,  
Dnipropetrovsk, Ukraine*

*\*\*Dnipropetrovsk National University O.Gonchara, Dnipropetrovsk, Ukraine*

### **CFD PREDICTION OF AIR POLLUTION IN THE STREETS**

CFD model to simulate the pollutant dispersion in the streets was proposed. The model developed can be used to predict the level of pollution from transport or in the case of accidents. To calculate the wind flow with account of buildings influence the model of separated inviscid flows. Results of numerical experiment are presented.

**Keywords:** model for prediction, air pollution, emergency emissions, hydrodynamics of the wind flow.