

УДК 519.6:504.3.054

## **АНАЛИЗ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ АВТОТРАНСПОРТА**

**Русакова Т.И.**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара  
г. Днепропетровск, Украина*

*Разработана эффективная численная модель, которая применена для анализа распространения загрязнения от пылевого загрязнения атмосферного воздуха на улицах городов. Модель основывается на совместном решении гидродинамической задачи на основе метода дискретных вихрей и задачи массопереноса. Отличительной особенностью построенной модели является возможность оперативного расчета поля концентрации пыли на улице, что позволяет применять ее для проведения серийных расчетов.*

Анализ качества воздушной среды является одной из важных задач безопасного состояния территорий горнодобывающих регионов. Характерной особенностью многих отечественных автомагистралей, которые находятся на территории этих регионов, является то, что при движении автотранспорта в атмосферу поступает большое количество пыли. Поэтому для практики очень важно оценить запыленность воздушной среды возле автомагистралей. Нужно отметить, что если рассматривать такой прогноз в условиях размещения возле магистрали зданий, то решение задачи становится крайне сложным. В связи с этим очень важным является разработка и применение эффективных методов расчета качества воздушной среды на запыленных территориях, с помощью которых можно оперативно получать прогнозные данные относительно возможной запыленности воздуха на улицах.

Для решения экологических задач, связанных с оценкой уровня загрязнения на улицах, очень часто используются эмпирические модели или различные верификации модели Гаусса. Эти модели используются потому, что для их практической реализации необходима минимальная входная информация: скорость ветра, интенсивность выброса загрязнителя, положение источника выброса, скорость оседания и т.д. Вычисления на основе данных моделей не занимают много времени, что особенно важно при проведении серийных расчетов [1 - 3]. Использование мощных моделей, основанных на численном интегрировании уравнений Навье-Стокса [4 - 9] и на использовании различных моделей турбулентности, не применимо в настоящее время для серийных расчетов на практике. Это связано с необходимостью использования мощных компьютеров, длительного времени расчета и обоснования моделей турбулентности.

Целью работы является разработка прикладной численной модели для анализа запыленности воздушной среды на улицах территорий горно-

добывающих регионов с учетом цикличности эмиссии пыли при движении автотранспорта.

**Математическая модель и метод решения.** Рассматривается сценарий выброса пыли на улице для расчетной схемы типа «уличный каньон» (рис.1).

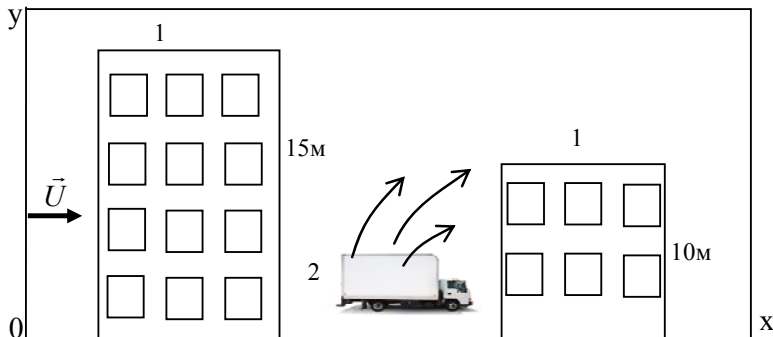


Рис.1. Схема расчетной области: 1 – здания; 2 – место эмиссии загрязнителя

Как известно, для прогноза качества воздушной среды, необходимо предварительно решить гидродинамическую задачу по определению поля скорости ветрового потока на улице. Для моделирования процесса обтекания зданий ветровым потоком используется метод дискретных вихрей [10], который дает возможность быстро рассчитать поле скорости ветрового потока в условиях размещения зданий [11]. Для расчета поля скорости используются основные зависимости:

$$\left\{ \begin{array}{l} (V_x)_i = \sum_{r=1}^p \sum_{i=0}^n \Gamma_{\mu_r} (V_{x\mu_r} - V'_{x\mu_r})_i + \sum_{r=1}^p \sum_{j=1}^k \Gamma_{\delta_r} (V_{x\delta_r} - V'_{x\delta_r})_j + \\ + U_{\infty}(\tau); \\ (V_y)_i = \sum_{r=1}^p \sum_{i=0}^n \Gamma_{\mu_r} (V_{y\mu_r} - V'_{y\mu_r})_i + \sum_{r=1}^p \sum_{j=1}^k \Gamma_{\delta_r} (V_{y\delta_r} - V'_{y\delta_r})_j; \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\Gamma_{\mu}$  – циркуляция  $\mu$ -ого присоединенного вихря,  $\Gamma_{\delta_r}$  – циркуляция свободного вихря  $r$ -ой вихревой пелены;  $U_{\infty}(\tau)$  – скорость набегающего потока;  $V_{x_i}$ ,  $V_{y_i}$  – компоненты скорости в рассматриваемой точке плоскости  $(x_i, y_i)$ , которые можно рассчитать как сумму соответствующих компонент

скорости от всей вихревой системы: присоединенных вихрей  $\mu_r$  (компоненты  $V_{x\mu_r}, V_{y\mu_r}$ ), которыми моделируются поверхности зданий, и свободных вихрей  $\delta_r$  (компоненты  $V_{x\delta_r}, V_{y\delta_r}$ ), сошедших с острых кромок, на данный момент времени  $\tau$  основной и зеркально отображенной вихревой системы.

После вычисления поля скорости ветрового потока на улице, решается задача по моделированию пылевых выбросов на улице при движении автотранспорта. Для расчета концентрации пыли на улице используется усредненное уравнение переноса [12; 13]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (\mu_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \sum Q_i \delta(x-x_i) \delta(y-y_i) \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в атмосфере;  $u, v$  – компоненты вектора скорости ветра;  $w$  – скорость гравитационного оседания загрязняющего вещества,  $\mu=(\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты турбулентной диффузии;  $x_i, y_i$  – координаты источника выброса загрязняющего вещества;  $Q_i$  – интенсивность эмиссии загрязнителя в точке  $x_i, y_i$ ;  $\delta(x-x_i), \delta(y-y_i)$  – дельта-функция Дирака, с помощью которой моделируется выброс загрязнителя.

Постановка краевых условий для решения уравнения переноса рассмотрена в работе [5; 12; 14]. Для численного интегрирования этого уравнения используется неявная разностная схема расщепления [4; 5; 12; 13]. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке.

**Практическая реализация модели.** Разработанная численная модель была применена для прогноза уровня запыленности воздуха на улицах при движении автотранспорта. Полагалось, что эмиссия пыли на автомагистрали происходит циклически с известной интенсивностью  $Q_i$ . Это моделировало ситуацию прохождения одного автомобиля за другим с известным интервалом времени  $\Delta t_A$  (рис.2).

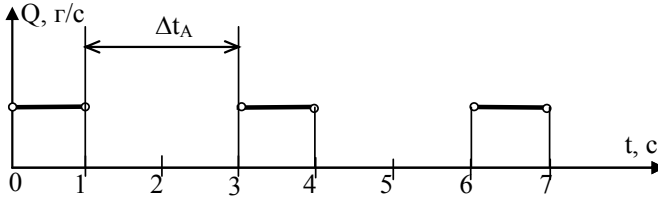


Рис.2. Схема эмиссии пыли на автомагистрали

Рассматривалось решение задачи для двух сценариев, которые характеризовались следующими исходными данными: длина расчетной области 100 м; ширина расчетной области 33,6 м.

Первый сценарий:

- скорость ветра 1,2 м/с;
- коэффициенты диффузии  $\mu_x = \mu_y = 0,1 \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- интенсивность  $Q = 100 \text{ г/с}$ ;
- скорость гравитационного оседания  $w = 0,002 \text{ м/с}$ .

Второй сценарий:

- скорость ветра 1,5 м/с;
- коэффициенты диффузии  $\mu_x = \mu_y = 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- интенсивность  $Q = 100 \text{ г/с}$ ;
- скорость гравитационного оседания  $w = 0,005 \text{ м/с}$ .

На последующих рисунках представлена динамика формирования зоны загрязнения в различные моменты времени для обоих сценариев.

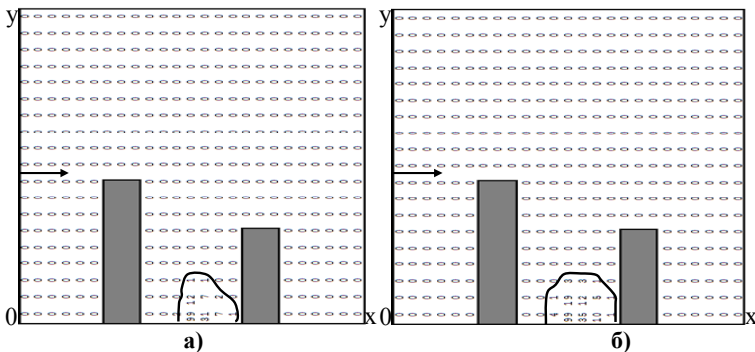


Рис. 3. – Зона загрязнения момент времени  $t = 4 \text{ с}$  :

- а) первый сценарий:  $U = 1,2 \text{ м/с}$ ,  $w = 0,002 \text{ м/с}$ ,  $C_{\text{max}} = 20,19 \text{ мг/м}^3$ ;
- б) второй сценарий:  $U = 1,5 \text{ м/с}$ ,  $w = 0,0005 \text{ м/с}$ ,  $C_{\text{max}} = 8,34 \text{ мг/м}^3$

Отметим, что 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 «5,6 %» от максимальной концентрации, то на печать будет выведено число «5». Этот вывод результатов на печать (рис.3, 4.) эффективен при проведении серийных расчетов, когда осуществляется «перебор» различных вариантов с целью выбора наиболее оптимального для конкретной ситуации.

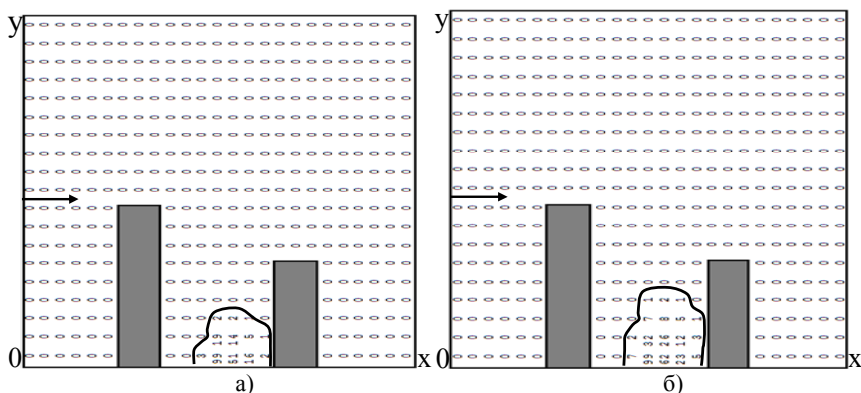


Рис. 4. – Зона загрязнения в момент времени  $t=5,2$  с.:

- а) первый сценарий:  $U=1,2$  м/с,  $w=0,002$  м/с,  $C_{\max}=15,09$  мг/м<sup>3</sup>;
- б) второй сценарий:  $U=1,5$  м/с,  $w=0,0005$  м/с,  $C_{\max}=5,56$  мг/м<sup>3</sup>

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.

Эти данные (рис. 3, 4.) позволяют оценить вид формирующейся зоны загрязнения, ее размеры и интенсивность. Как видно из представленных рисунков, формирующаяся зона загрязнения представляет собой достаточно ограниченную область по высоте, которая вытягивается вверх и составляет приблизительно 7 м, а справа развитие этой зоны ограничивается зданием, поэтому внешне эта зона напоминает «сплюснутую» подобласть близкую к сферической. Форма и размеры области зависят от време-

ни, так как рассматривается действие циклического источника выброса рис. 2.

На рис. 5 - 6 показано изменение во времени концентрации пыли для рассматриваемых сценариев в двух точках возле второго здания (наветренной его стороны). Первая точка выбрана на высоте 0,8 м, а вторая на высоте 4 м. Из этих рисунков хорошо видно, что на большей высоте концентрация пыли существенно меньше, чем возле поверхности земли, что обусловлено гравитационным оседанием пыли.

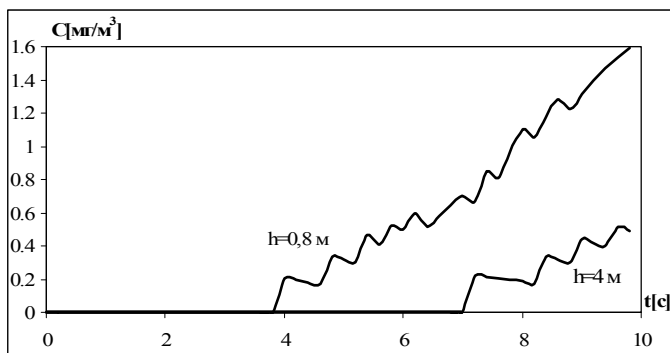


Рис. 5. Изменение концентрации пыли на различной высоте (первый сценарий:  $U=1,2$  м/с,  $w=0,002$  м/с,  $\mu_x=\mu_y=0,1$  м<sup>2</sup>/с)

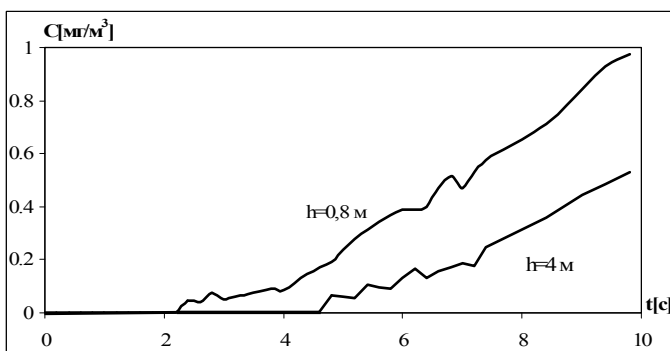


Рис. 6. Изменение концентрации пыли на различной высоте (второй сценарий:  $U=1,5$  м/с,  $w=0,0005$  м/с,  $\mu_x=\mu_y=0,2$  м<sup>2</sup>/с)

Для расчета задачи потребовалось 7 секунд компьютерного времени.

**Выводы.** Рассмотрена эффективная модель прогноза пылевого загрязнения атмосферного воздуха на улицах территорий горнодобывающих регионов. Модель основывается на совместном решении гидродинамической задачи по определению поля ветрового потока, где использовался метод дискретных вихрей и задачи массопереноса. Отличительной особенностью построенной модели является возможность оперативного расчета поля концентрации пыли на улице. Дальнейшее развитие данного направления необходимо проводить в рамках создания трехмерной численной модели.

#### Литература

1. Бруцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов. К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
2. 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.
3. Hanna S. Air Quality Modeling Over Short Distances. // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling: 16 May-3 June 1994. №SMR/760-2 – P. 712 – 743.
4. 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.
5. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
6. Belyaev M. M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances // 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.
7. 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. № P1.7.
8. 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.
9. Tedeschi G. Study of vertical transport of marine aerosol using an unsteady 2D model // Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and it's Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. № 4.9.
10. Белоцерковский С. М. Математическое моделирование плоскопараллельного отрывного обтекания тел / С. М. Белоцерковский, В. Н. Котовский, М. И. Ништ – М.: Наука, 1988. – 232 с.

11. Русакова Т. И. Исследование поля скоростей при обтекании зданий воздушным потоком / Т. И. Русакова, В. И. Карплюк // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. Т. 1, вип.12, 2008, С. 41 – 49.
12. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 316с
13. Пшинько А. Н. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях / А. Н. Пшинько, Н. Н. Беляев, П. Б. Машихина. – Д.: Нова ідеологія, 2011. – 168 с.
14. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

УДК 574

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАЗАХСТАНА**

**Хан В.А., Сариева Д.З., Жалкенова С.Т., Отарбаева Л.С.**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,  
г. Астана, Казахстан*

*В статье рассмотрены вопросы экологической безопасности производственной сферы деятельности в нефтегазодобывающей отрасли. Раскрыты основные источники загрязнения окружающей среды на разных этапах производства.*

Вопросы разработки экологически чистых процессов (утилизации отходов, очистка газовых выбросов и нефтехимических производств, очистка сточных вод, мониторинг загрязнения нефтью и нефтепродуктами окружающей среды и другие) в области охраны природы при добыче и переработки нефти и газа являются особенно актуальными.

Загрязнение окружающей среды начинается с поискового бурения и строительства нефте- и газодобывающих скважин. Основными источниками загрязнения являются: выхлопы дизелей буровых установок, дегазаторы бурового раствора, емкости для хранения сыпучих порошкообразных материалов, шламовые амбары с производственно-технологическими отходами, а также циркуляционные системы. Во многих случаях на буровых установках не проводят мероприятия по охране почв и водоемов от загрязнения. Вследствие этого прилегающие земли загрязняются буровым раствором и нефтепродуктами. Затем происходит смыв этих вредных веществ тальми водами на прилегающие земли и водоемы. Процесс загрязнения почвы усугубляется содержанием в ней высокоминерализованных пластовых и сточных вод, закачиваемых для поддержания давления в продуктивные пласты и поглощающие горизонты. Отходы бурения в отвалах на буровой площадке должны быть собраны и размещены на специально отведенной территории. При этом особую важность приобретают вопросы оценки их загрязняющей способности. От этого зависят количество и токсичность загрязняющих веществ в подземных водах.