

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ НА УЛИЦЕ ГОРОДОВ

*Т.И. Русакова, асс., **Н. Н. Беляев, д. т. н., проф.*

**Днепропетровский национальный университет*

им. О. Гончара

***Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна*

Ключевые слова: пылевой выброс, математическое моделирование, интенсивность, рассеивание, метод дискретных вихрей, уравнение переноса примеси.

Постановка проблемы. Прогноз качества воздушной среды – важная задача в области экологической безопасности. Традиционно такой прогноз делают для газообразных выбросов от автотранспорта (CO , NO_x , SO_2 и т.п.), но характерной особенностью многих отечественных автомагистралей является то, что при движении автотранспорта в атмосферу поступает пыль. В связи с этим для практики крайне важно прогнозировать запыленность воздушной среды возле автомагистралей. Следует отметить, что если рассматривать такой прогноз на улицах городов, т.е. в условиях размещения возле магистрали зданий, то решение задачи становится крайне сложным. Для практиков очень важными являются именно эффективные методы расчета качества воздушной среды на улицах, позволяющие оперативно получать прогнозные данные относительно возможной запыленности воздуха на улицах.

Анализ публикаций. Обычно проектировщики при решении экологических задач, связанных с оценкой уровня загрязнения на улицах, используют эмпирические модели (типа "STREET") или разные варианты модели Гаусса. Выбор этих моделей обусловлен тем, что для их практической реализации необходима минимальная входная информация: скорость ветра, интенсивность выброса загрязнителя, положение источника выброса и т.д. Вычисления на основе данных моделей не занимают много времени, что особенно важно при проведении серийных расчетов [3; 9; 12]. Использование мощных моделей, основанных на численном интег-

рировании уравнений Навье-Стокса [1; 3; 4; 10; 11; 13; 14], не применимо в настоящее время в практике серийных расчетов, что связано с необходимостью использования мощных компьютеров, длительного времени расчета и обоснования моделей турбулентности.

Целью данной работы является разработка прикладной численной модели для прогноза запыленности воздушной среды на улицах 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).

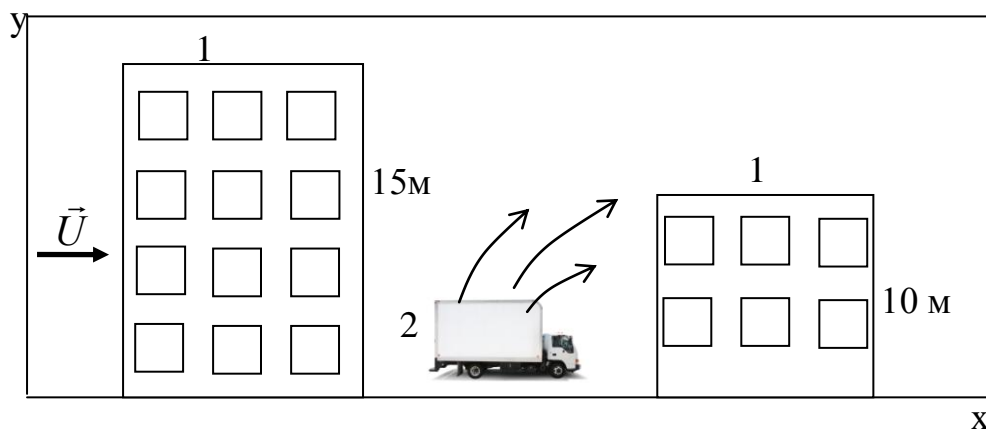


Рис.1. Схема расчетной области: 1 – здания; 2 – место эмиссии загрязнителя

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 [2], который дает возможность быстро рассчитать поле скорости ветрового потока в условиях размещения зданий различной геометрической формы [7]. Основные зависимости для расчета поля скорости

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

где Γ_μ – циркуляция μ -ого присоединенного вихря, Γ_{δ_r} – циркуляция свободного вихря r -ой вихревой пелены; $U_\infty(\tau)$ – скорость набегающего потока; V_{xi}, V_{yi} – компоненты скорости в рассматриваемой точке плоскости (x_i, y_i) , которые можно рассчитать как сумму соответствующих компонент скорости от всей вихревой системы: присоединенных вихрей μ_r (компоненты $V_{x\mu_r}, V_{y\mu_r}$), которыми моделируются поверхности зданий, и свободных вихрей δ_r (компоненты $V_{x\delta_r}, V_{y\delta_r}$), сошедших с острых кромок, на данный момент времени τ основной и зеркально отображенной вихревой системы.

Рассчитав поле скорости ветрового потока на улице, решается задача по моделированию пылевых выбросов на улице при движении автотранспорта. Для расчета концентрации пыли на улице используется осредненное уравнение переноса (модель акад. Марчука Г.И.) [5; 6]:

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

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 [4; 5; 8]. Для численного интегрирования этого уравнения используется неявная разностная схема расщепления [1; 4; 5; 6]. 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 прохож-

дения одного автомобиля за другим с известным интервалом времени Δt_A (рис.2).

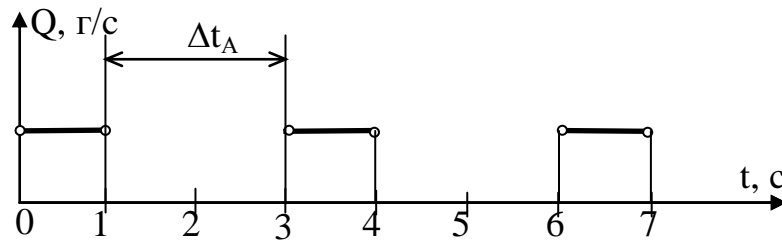


Рис.2. Схема эмиссии пыли на автомагистрали

Рассматривалось решение задачи при следующих исходных данных:

- длина расчетной области 100 м;
- ширина расчетной области 33,6 м;
- 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 $w = 0,0005 \text{ м/с}$.

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

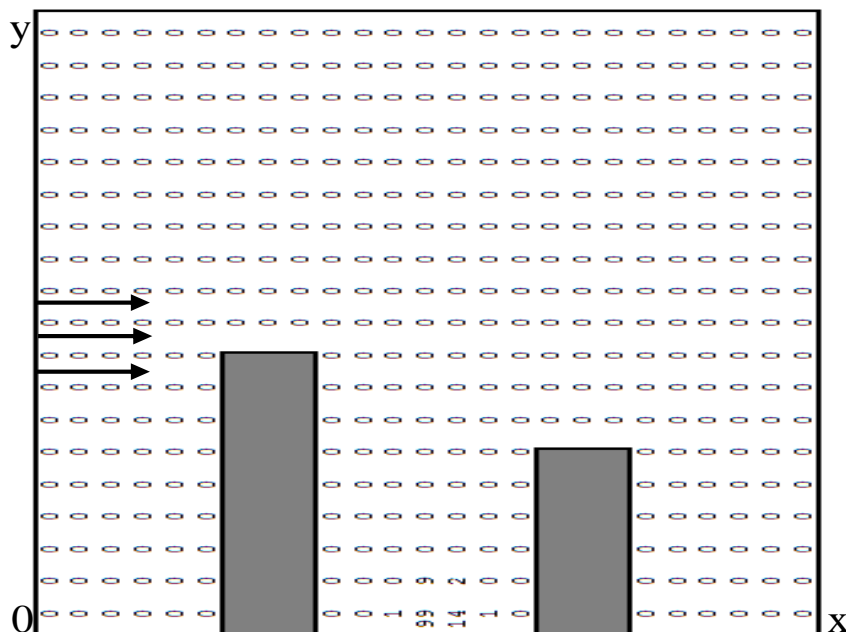


Рис. 3. – Зона загрязнения для момента времени $t=1 \text{ с}$
 ($C_{\max} = 7,19 \text{ мг/м}^3$, $U = 1,5 \text{ м/с}$, $w = 0,0005 \text{ м/с}$)

исходит оседание частиц пыли под действием силы тяжести, которая препятствует поднятию пыли вверх.

В заключение отметим, что для расчета задачи потребовалось 7 с. компьютерного времени.

Выводы. Рассмотрена эффективная модель прогноза пылевого загрязнения атмосферного воздуха на улицах городов. Модель основывается на совместном решении гидродинамической задачи по определению поля ветрового потока на улице 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.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ 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. **Белоцерковский С. М.** Математическое моделирование плоскопараллельного отрывного обтекания тел / С. М. Белоцерковский, В. Н. Котовский, М. И. Ништ – М. : Наука, 1988. – 232 с.

3. **Бруяцкий Е. В.** Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов. К. : Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.

4. **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.

5. **Марчук Г. И.** Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М. : Наука, 1982. – 316с

6. **Пшинько А. Н.** Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях / А. Н. Пшинько, Н. Н. Беляев, П. Б. Машина. – Д.: Нова ідеологія, 2011. – 168 с.

7. **Русакова Т. И.** Исследование поля скоростей при обтекании зданий воздушным потоком / Т. И. Русакова, В. И. Карплюк // Вісник Дніпропетр. ун - ту. Механіка. Т. 1, вип.12, 2008, С. 41 – 49.

8. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М. : Наука, 1983. – 616 с.

9. 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 – 52с.

10. Belyaev 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.

11. 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 Modeling and it's Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. № P1.7.

12. 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.

13. 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.

14. 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.