

Беляев Н. Н., Мунтян Л. Я.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. академика В. Лазаряна

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В СЛУЧАЕ АВАРИИ ПРИ  
ТРАНСПОРТИРОВКЕ ОПАСНОГО ГРУЗА**

**Вступление.** Железнодорожный транспорт перевозит в больших объемах химически-опасные грузы. Поэтому возникает важная задача прогноза уровня загрязнения окружающей среды в случае аварий при транспортировке таких грузов. В настоящее время для решения этой задачи используются эмпирические зависимости (методика ОНД-86). Эти зависимости не отвечают современным требованиям к прогнозным моделям, не учитывают существенные физические факторы, влияющие на формирование зоны загрязнения в атмосфере. В этой связи возникает важная задача по разработке эффективных методов и моделей для прогноза загрязнения атмосферы в случае аварийных ситуаций на транспорте и выбросе химически опасных веществ.

**Анализ литературы.** В настоящее время, в Украине, для решения задач, связанных с прогнозом загрязнения атмосферы при эмиссии химически-опасных веществ используются три подхода. Первый подход – это применение нормативной методики ОНД-86 [9]. Второй подход – использование аналитических моделей, наиболее часто – модель Гаусса [3,5,6]. Третий подход – применение метода численного моделирования, CFD моделирование [1,2,4,10]. Первые два подхода позволяют быстро выполнить экспресс прогноз, но не учитывают ряд важных процессов, которые влияют на формирование зоны аварийного загрязнения атмосферы, например, неравномерный профиль ветра, полунепрерывный выброс и т.п. Третий подход позволяет учесть основные физические факторы, влияющие на процесс рассеивания опасных веществ в атмосфере, но требует иногда больших затрат компьютерного времени, а также достаточно высокой квалификации пользователя. В настоящее время ощущается дефицит расчетных методов, которые позволяли бы

быстро получить прогнозные данные об уровне аварийного загрязнения атмосферы, не предъявляя больших требований, как к пользователю, так и к возможностям персональных компьютеров. Такие расчетные методы крайне необходимы в организациях, занимающихся разработкой ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации).

**Целью** данной работы является разработка численной модели для оперативного прогноза аварийного загрязнения атмосферы при эмиссии опасных веществ на транспорте.

**Математическая модель.** Для моделирования процесса рассеивания опасных веществ в атмосфере используется трехмерное уравнение миграции примеси [4,5,7,10]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} (\mu_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_z \frac{\partial C}{\partial z}) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация химически опасного вещества, поступившего в атмосферу при аварии;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости воздушной среды;  $w_s$  – скорость оседания примеси;  $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии;  $Q$  – интенсивность выброса примеси (испарение от зоны разлива и т.п.);  $\delta(r - r_i)$  – дельта-функция Дирака;  $r_i = (x_i(t), y_i(t), z_i(t))$  – координаты источника эмиссии.

Краевые условия для данного уравнения рассмотрены в [4,7,10].

Изменение скорости ветра с высотой учитывается, в разработанной численной модели, следующей зависимостью [5,6]

$$\omega = \omega_1 \frac{\lg z/z_0}{\lg z_1/z_0},$$

где  $\omega_1$  – значение скорости ветра на высоте  $Z_1$  (высота флюгера);  $Z_0$  – шероховатость поверхности.

Шероховатость подстилающей поверхности определяется экспериментальным путем и ориентировочно составляет: для почвы без покрова  $z_0 \approx 0,005$  м; для леса  $z_0 \approx 1$  м; для травы  $z_0 \approx 0,01$  м. Для зданий эта величина рассчитывается так:

$$Z_0 = (1,0 - 1,4) \cdot H,$$

где  $H$  – высота здания.

Для расчета коэффициентов диффузии используются зависимости [5-7]

$$\mu_y = k_0 \cdot u,$$

$$k_0 = 0,1,$$

$$\mu_z = k_1 \cdot \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^m,$$

где  $Z$  – высота, на которой определяется величина коэффициента  $\mu_z$ ;  $m \approx 1$ ,

$$\mu_x = \mu_y.$$

Для определения интенсивности поступления в атмосферу опасного вещества используется следующая эмпирическая модель [2]:

$$Q = (5,83 + 4,1 V) P_H \sqrt{M},$$

где  $Q$  – интенсивность выброса, г/(м<sup>2</sup>/ч),  $V$  – скорость ветра;  $P_H$  – давление насыщенных паров;  $M$  – молекулярная масса вещества.

**Метод численного решения.** Численно интегрирование уравнения переноса примеси осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Для интегрирования применяется попеременно-треугольная разностная схема [4,10], особенностью ее построения является расщепление уравнения переноса по физическим процессам.

#### Практическая реализация модели.

На основе попеременно-треугольной разностной схемы разработана численная модель, которая реализована в виде пакета программ (кода) «Emission». Для программной реализации построенной численной модели использовался «FORTRAN». Разработанный код ориентирован на решение следующих задач:

1. Прогноз уровня загрязнения атмосферы от движущихся источников (выброс от

движущейся разгерметизированной цистерны).

2. Прогноз уровня загрязнения атмосферы при аварийных выбросах, разливах на железнодорожном транспорте (с учетом типа выброса – залповый, полунепрерывный и т.п.).

3. Экспертиза уровня загрязнения примыкающей территории.

На рис. 1-3, в качестве иллюстрации, представлены результаты расчета загрязнения атмосферы при аварийном разливе аммиака на ст. Илларионово (Днепропетровская область). Моделировалось загрязнение атмосферы при разливе 60т аммиака. Поскольку речь идет о разливе «перегретой» жидкости, то процесс расчета разбивался на два этапа: сначала рассчитывалось загрязнение атмосферы от первичного облака, а затем – загрязнение атмосферы при испарении аммиака от зоны разлива [1].



Рис. 1. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t=21$  сек (уровень  $Z=10$ м, первичное облако)



Рис. 2. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t=36$  сек (уровень  $Z=10$ м, первичное облако)

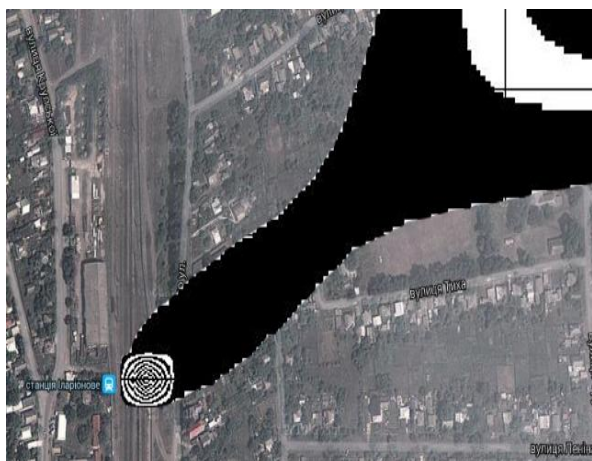


Рис.3. Зона загрознення атмосфери для моменту времени  $t=261$  сек (уровень  $Z=10$ м, шлейф от зоны испарения)

Как видно из представленных рисунков зона химического загрязнения атмосферы очень быстро покрывает жилые кварталы на ст. Илларионово, создавая угрозу токсичному поражению людей.

Отметим, что для решения задачи потребовалось 10 сек. компьютерного времени.

**Выводы.** В работе рассмотрена 3D численная модель для оперативного расчета динамики загрязнения атмосферы при аварийных выбросах на транспорте. Модель, в отличие от используемой нормативной методики имеет более широкие прикладные возможности. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания модели для расчета рассеивания примеси совместно с расчетом аэродинамики воздушного потока.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учеб. Пособие. В 6-ти кн. / Под ред. В.А. Котляревского

и А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 200 с.

2. Антошкина Л.И. Оценка экологического риска при авариях с химически опасными веществами / Л.И. Антошкина, Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько – Д.: Наука и образование, 2008. – 136 с.
3. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Збірка наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій». – 2011. – Вип. 13. – С. 20 – 33.
4. Беляев Н.Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, Н.В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
5. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
6. Бруцкий Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Бруцкий Е.В. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
7. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г.И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
8. Самарский А.А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М.: Наука, 1983. – 616с.
9. Собонович Е.В. Аварія з фосфором у Львівській області: факти, проблеми, екологічні наслідки / Е.В. Собонович, Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, В.В. Ковалевський, М.Г. Бондаренко, Б.В. Сліпченко // Вісник Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2007. – Вип. 14. – С. 8–18.
10. 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.