

Беляев Н. Н., Мунтян Л. Я.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. академика В. Лазаряна

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫТЯЖНОГО ЗОНТА

**Вступление.** Железнодорожный транспорт перевозит в больших объемах химически-опасные грузы. Наиболее часто при транспортировке таких грузов происходят аварийные разливы. В этой связи крайне важно оперативно прогнозировать уровень загрязнения атмосферы и эффективно применять мероприятия по локализации зон загрязнения в случае испарения опасных веществ от зоны разлива.

В настоящее время для решения этой задачи используются эмпирические зависимости. 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 и ее защиты в случае аварийных ситуаций на транспорте, связанных с эмиссией химически опасных веществ.

**Анализ литературы.** 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]. Кроме проблемы разработки эффективных методик для прогноза загрязнения атмосферы при аварийных разливах на транспорте, в настоящее время существует проблема создания методик для оценки эффективности защиты атмосферы от загрязнения при использовании специальных методов (например, отсос паров от зоны разлива, подача нейтрализатора и т.д.). Сейчас в Ук-

раине практически отсутствуют такие методики. Поэтому при разработке ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации) оценка эффективности методов защиты не осуществляется.

**Целью** данной работы является разработка численной модели для оперативного прогноза аварийного загрязнения атмосферы при эмиссии опасных веществ от зоны разлива и для оценки эффективности применения местных отсосов, забирающих загрязненный воздух от зон разлива.

**Математическая модель.** Для решения задачи массопереноса примеси в случае испарения токсичного вещества от свободной поверхности зоны разлива и при работе вытяжных зонтов, удаляющих токсичное вещество от зоны разлива, используется следующее уравнение:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \mu \Delta C + \sum_{i=1}^N q_i(t) \delta(r - r_i), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация примеси;  $r_i = (x_i, y_i)$ ,  $x_i, y_i$  – координаты источника выброса примеси (зона разлива);  $u, v$  – компоненты вектора скорости воздушного потока;  $q_i$  – интенсивность эмиссии примеси;  $\mu$  – коэффициент диффузии;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий химический распад примеси.

Краевые условия для данного уравнения рассмотрены в [2, 4].

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

$$v = v_1 \frac{\lg y / y_0}{\lg y_1 / y_0},$$

где  $v_1$  – значение скорости ветра на высоте  $y_1$  (высота флюгера);  $y_0$  – шероховатость поверхности.

Шероховатость подстилающей поверхности определяется экспериментальным путем и ориентировочно составляет: для почвы без покрова  $y_0 \approx 0,005$  м; для леса  $y_0 \approx 1$  м; для травы  $y_0 \approx 0,01$  м. Для зданий эта величина рассчитывается так:

$$y_0 = (1,0 - 1,4) \cdot H,$$

где  $H$  – высота здания.

Для расчета коэффициентов диффузии используются зависимости [5-7]:

$$\mu_y = k_0 \cdot u;$$

$$k_0 = 0,1;$$

$$\mu_y = k_1 \cdot \left( \frac{y}{y_1} \right)^m,$$

где  $y$  – высота, на которой определяется величина коэффициента  $\mu_y$ ;  $m \approx 1$ ,

$$\mu_x = \mu_y.$$

Для определения интенсивности поступления в атмосферу токсичного вещества от зоны разлива используется следующая зависимость [2]:

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

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

Для забора загрязненного воздуха от зоны разлива могут использоваться отсосы. Поскольку при работе отсоса происходит локальное движение воздушной среды, то необходимо учесть влияние этого движения на перенос паров загрязнителя. Иными словами, пары токсичного вещества от зоны разлива попадают под влияние как ветра так и отсоса. Это вызывает необходимость расчета поля скорости воздушного потока в зоне установки отсоса, т.е. необходимо решить аэродинамическую задачу. Для решения этой задачи используется модель безвихревого движения идеальной жидкости:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Для уравнения (2) ставятся следующие граничные условия:

- на твердых стенках (поверхность земли, вытяжной зонт, верхняя граница расчетной области, стенка) граничное условие имеет вид:  $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ , где  $n$  – единичный вектор внешней нормали к твердой стенке;
- на входной границе: (границы втекания ветрового потока)  $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ , где  $V_n$  – известное значение скорости ветра. Это же условие реализуется на всасывающей поверхности вытяжного зонта, но учитывается скорость всасывания. Данная величина считается известной и определяется размерами всасывающей поверхности вытяжного зонта и производительностью вентилятора;
- на выходной границе (границы выхода ветрового потока из расчетной области):  $P = P_0 + const.$  (условия Дирихле).

**Метод численного решения.** Численное 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. Для численного решения уравнения (2) применяется попеременно-треугольный метод А.А. Самарского.

**Практическая реализация модели.** Выполнена программная реализация разработанной численной модели. Для программной реализации использовался алгоритмический язык «FORTRAN». Разработанный код «UMB» ориентирован на решение следующих задач:

1. Оценка размеров, формы зоны загрязнения, интенсивности загрязнения атмосферы при испарении токсичных веществ от свободной поверхности зоны разлива.

2. Оценка размеров, формы, интенсивности зоны загрязнения атмосферы при работе вытяжных зонтов и при наличии защитных стенок возле зоны разлива.

Разработанная численная модель была использована для оценки размеров и интенсивности зоны загрязнения атмосферного воздуха при работе отсоса, отводящего пары токсичного вещества от зоны разлива. Рассматривалось два варианта задачи: первый вариант – над зоной разлива устанавливается только вытяжной зонт отсоса; второй вариант – кроме вытяжного зонта на границе зоны разлива размещается вертикальная стенка. Результаты вычислительного эксперимента представлены на последующих рисунках (рис.2,3).

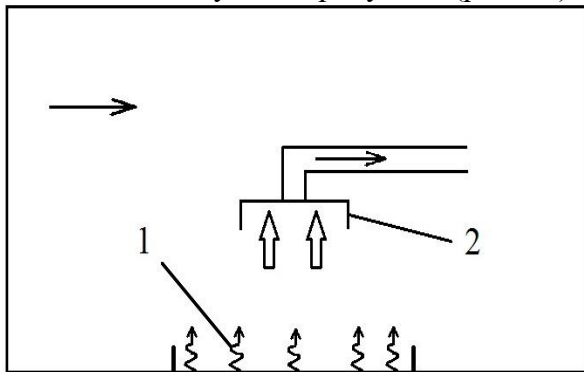


Рис. 1. Схема расчетной области: 1 – зона разлива; 2 – вытяжной зонт отсоса

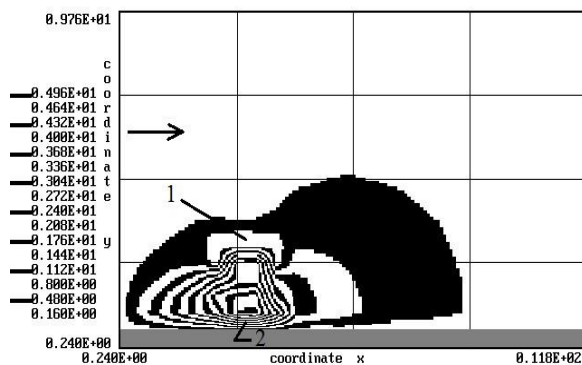


Рис. 2. Зона загрязнения атмосферы при работе отсоса: 1 – вытяжной зонт, 2 – зона разлива

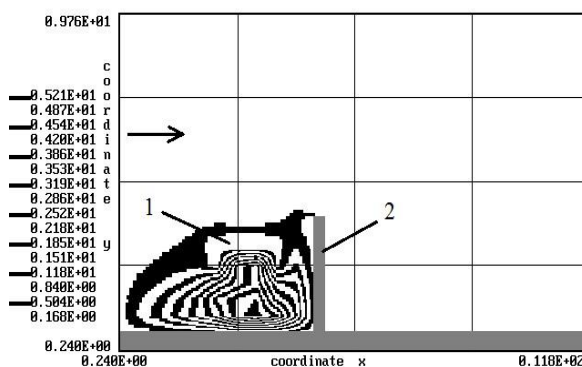


Рис.3. Зона загрязнения атмосферы при работе отсоса: 1 – вытяжной зонт, 2 – вертикальная стенка на границе зоны разлива.

Как видно из представленных рисунков область химического загрязнения атмосферы при наличии вертикальной стенки на границе зоны разлива резко уменьшает размеры области загрязнения в атмосфере. При отсутствии такой стенки, за счет сноса ветром, область загрязнения выходит за границы зоны разлива и создается угроза токсичного поражения людей, работающих на месте аварии.

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

**Выводы.** В работе рассмотрена численная модель для оперативного расчета динамики загрязнения атмосферы при аварийных разливах на транспорте. Модель, в отличие от используемой нормативной методики имеет более широкие прикладные возможности. Разработанная численная модель позволяет рассчитывать зону загрязнения атмосферы при наличии отсоса, эвакуирующего пары токсичного вещества, испаряющегося от зоны разлива. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания 3D модели для расчета рассеивания примеси в атмосфере.

#### ЛИТЕРАТУРА<sup>^</sup>

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. Бруяцкий Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Бруяцкий 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. Соботович Е.В. Аварія з фосфором у Львівській області: факти, проблеми, екологічні наслідки / Е.В. Соботович, 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.

УДК 519.6: 697.953: 004.94

**Беляев Н.Н.**

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

**Цыганкова С. Г.**

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

### ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ЭКСПРЕСС РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ПОМЕЩЕНИИ

**Постановка проблемы.** Обеспечение необходимого состава воздушной среды в помещениях является важной задачей в области экологической безопасности и охраны труда [4-6]. Как правило, для поддержания необходимой концентрации аэроионов в помещениях применяют искусственную ионизацию воздуха. При этом возникает необходимость прогноза концентрационных полей аэроионов в любой части помещения для обоснования места рационального расположения ионизаторов.

В данное время, для решения задач такого класса требуется разработка специальных методов расчета, позволяющих быстро определять рациональное расположение ионизаторов в помещениях и необходимую их интенсивность.

**Анализ публикаций.** На данный момент в Украине для расчета аэроионного режима в помещениях, в основном используются аналитические модели [4-6], дающие возможность рассчитывать концентрацию аэроионов, однако не учитывающие при расчете размещение в помещении оборудования, мебели, источников

выделения пыли, аэродинамики воздушных струй в помещении, комплекса факторов, оказывающего определяющее влияние на формирование концентрационного поля аэроионов. Более полное представление о уровнях концентрации аэроионов в помещениях можно получить с помощью CFD моделей [2, 3, 8, 9], учитывающих при моделировании геометрические характеристики помещений и физические факторы, влияющие на поведение ионов, либо балансовых моделей [7], дающих возможность проведения так называемых «пилотных» расчетов.

**Целью** данной работы является разработка численных моделей для расчета аэроионного режима в помещениях различного назначения, позволяющих с достаточной оперативностью определять концентрацию аэроионов в помещении с учетом наиболее существенных физических факторов, влияющих на формирование концентрационного поля аэроионов.

**Изложение основного материала исследования.** Для расчета аэроионного режима в помещениях были разработаны две численные модели. Первая – CFD модель, основанная на двухмерных уравнениях