

нии разработки новых растворов, способствующих снижению интенсивности сноса угля из полувагонов.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Долина Л. Ф. Классификация низко-молекулярных поверхностно-активных веществ по смачиваемости углей и горных пород / Л.Ф. Долина // Уголь Украины. – Киев, 1980. – Вып. № 3. – С. 27–29.
2. Ищук И. Г. Охрана окружающей среды при перевозке угля железнодорожным транспортом [Электронный ресурс] / И. Г. Ищук, Е. А. Старокожева // Материалы симпозиума «Неделя горняка 2000» – Москва, МГУ, 2000. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ohrana-okruzhayushey-sredy-pri-perevozke-uglya-zheleznodorozhnym-transportom>
3. Патент 109510 України, МПК E21F 5/06, C09K 3/22. Композиція для зниження пилоутворюючої спроможності поверхні штабелів вугілля / Давиденко В. А., Карпо А. О. (Україна);– № а 2014 08254; заяв. 21.04.2014; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16. – 4 с.
4. Патент 2061641 Россия, МПК 7 **B65G6 9/18**. Способ борьбы с пылью при складировании и переработке угольных штабелей в условиях отрицательных температур атмосферного воздуха / Быков Н. А., Быков А. Н. (Россия), заявители на патентообладание [Институт горного дела Севера СО РАН](#). – № 93040115/11, заяв. 06.08.1993; публ. 10.06.1996.
5. Патент 2137923 Россия, МПК 6 E21F 5/06, C09K 3/22. Состав для закрепления пылящих поверхностей / Кичигин Е. В., Тикунова И. В., Дейнека Л. А (Россия); заявители на патентообладание Кичигин Е. В., Тикунова И. В., Дейнека Л. А. – № 98107795/03, заяв. 27.04.1998; публ. 20.09.1989.
6. Blazek, C. F., 2003. The role of Chemicals in Controlling Coal Dust Emission. In Benetech Inc, American Coal Council, PRB Coal Use: Risk management strategies and tactics course. Michigan, USA 25-26 June 2003. Benetech Inc: Illinois.
7. Einicke, G., Hargrave, C., Haustein, K. & Plunkett, C., 2007. Analysis of carry-back at the RG Tanna Coal Terminal (Draft).October 2007. [report] CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation).
8. Ferreira, A. D. & Vaz, P. A., 2004. Wind tunnel study of coal dust release from train wagons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 92, p.676-577.
9. McGilvray, M., 2006. CFD simulations of coal dust saltation/suspension. October 2006. QRN Coal Division.

УДК 519.6

**Мунтян Л. Я.**

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

**ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В СЛУЧАЕ АВАРИИ  
ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ОПАСНОГО ГРУЗА**

**Вступление.** Как известно, железнодорожный транспорт является основным перевозчиком химически опасных грузов в Украине. Это связано с тем, что в стране находится большое количество предприятий, которые производят, используют или хранят химически опасные вещества. Доставку этих веществ, в промышленных объемах обеспечивает железнодорожный транспорт. В этой связи возникает важная задача в области экологической и про-

мышленной безопасности – прогноз уровня загрязнения атмосферы в случае возможных аварий на этапе транспортировки опасных грузов и оценка экологического ущерба. Для решения таких важных задач необходимы специализированные методы расчета, учитывающие особенности аварий на транспорте.

**Анализ литературы.** Для прогноза загрязнения атмосферы в Украине исполь-

зуються декілька підходів. Найбільше часто, при аварійних ситуаціях – нормативна методика, заснована на застосуванні ряду емпіричних формул. Крім неї також використовується методика ОНД-86 [9], в основу якої також покладені емпіричні залежності. Іншим підходом для оцінки рівня забруднення атмосфери є застосування моделі Гауса [3,5,6]. Данна модель представляє собою аналітичне рішення рівняння масопереносу, доповнене рядом емпіричних залежностей для оцінки стану атмосфери. Ця модель дає можливість розрахувати факел забруднення, але, на жаль, не враховує ряд важливих фізичних факторів, наприклад профіль швидкості вітру. Значно рідше в Україні для прогнозу рівня забруднення повітряного середовища застосовується чисельне моделювання, засноване на розв'язанні двох- або тривимірних рівнянь масопереносу [1,2,4,10]. Варто зазначити, що в Україні існує дефіцит моделей і методик для оперативної оцінки і прогнозу забруднення атмосфери при аварійних ситуаціях, які супроводжуються емісією хімічно небезпечних речовин.

Метою даної роботи є розробка чисельної моделі для оперативного прогнозу забруднення атмосфери при емісії небезпечного речовини з рухомого джерела.

**Математична модель.** Для моделювання процесу розсіювання небезпечних речовин в атмосфері використовується тривимірне рівняння міграції приміси [4,5,7,10]:

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

де  $C$  – концентрація хімічно небезпечного речовини, що потрапивши в атмосферу при аварії;  $u, v, w$  – компоненти вектора швидкості повітряного середовища;  $w_s$  – швидкість осідання приміси;  $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  –

коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії;  $\sigma$  – коефіцієнт, що враховує хімічний розпад забруднювача і його вимивання осадками;  $Q$  – інтенсивність викиду небезпечного речовини;  $\delta(r - r_i)$  – дельта-функція Дірака;  $r_i = (x_i(t), y_i(t), z_i)$  – координати джерела емісії. Варто зазначити, що застосовуючи залежність координат джерела емісії від часу, ми можемо моделювати забруднення атмосфери, на основі даного рівняння, від рухомого джерела (наприклад: розгерметизована цистерна, з якої відбувається емісія небезпечного речовини).

Крайові умови для даного рівняння розглянуті в [4,7,10].

Зміна швидкості вітру з висотою враховується в розробленій чисельній моделі, наступною залежністю [5,6]

$$u = u_1 \frac{\lg z/z_0}{\lg z_1/z_0}$$

де  $u_1$  – значення швидкості вітру на висоті  $z_1$  (висота флюгера);  $z_0$  – шорховатість поверхності.

Для розрахунку коефіцієнтів дифузії використовуються залежності [5-7]

$$\mu_y = k_0 \cdot u, \quad k_0 = 0,1,$$

$$\mu_z = k_1 \cdot \left( \frac{z}{z_1} \right)^m,$$

де  $z$  – висота, на якій визначається значення коефіцієнта  $\mu_z$ ;  $m \approx 1$ ,  $\mu_x = \mu_y$ .

**Метод чисельного рішення.** Чисельно інтегрування рівняння переносу приміси здійснюється на прямокутній різницевої сітці. Для інтегрування застосовується поперемітно-трикутна різницева схема [4,10], особливістю її побудови є розщеплення рівняння переносу за фізичними процесами і розрахунок невідомої величини за формулою бегущого рахунку.

**Практична реалізація моделі.** На основі поперемітно-трикутної різ-

ностной схемы разработана численная модель, которая реализована в виде пакета программ (кода) «Emission».

Данный код был использован для решения следующей задачи. На участке Приднепровской железной дороги возле ст. «Илларионово» происходит чрезвычайная ситуация, в результате которой нарушается герметизация цистерны и из нее начинает выходить токсичный газ (рис.1). Поезд продолжает движение. Необходимо определить уровень загрязнения воздушной среды и подстилающей поверхности для оценки экологического ущерба.

Отметим, что данная задача имеет следующие особенности, существенно осложняющие расчет:

- источник эмиссии – движется;
- необходимо учитывать сложное движение примеси в атмосфере – под действием ветра + движение источника.

Для решения задачи на базе данного кода необходимо задать следующую информацию:

Размеры расчетной области (3000м×3000м).

Интенсивность эмиссии опасного вещества – постоянная или изменяющаяся со временем.

Скорость оседания примеси (0.01м/с).

Траекторию маршрута поезда (в модели задается маркерами; на рис.1 траектория – железная дорога, условно это показано в виде «точек»).

Скорость движения поезда 8,33 м/с.

Место начала аварийной утечки (в модели задается с помощью маркеров; на рис.1 это место условно показано «прямоугольником»)

Скорость ветра на высоте флюгера (в данной задаче 7м/с).

Направление ветра – азимут 2600.

Коэффициент учета вымывания примеси, химических преобразований (принимается в расчетах  $\sigma=0$ ).



Рис. 1. Вид расчетной области: 1 – поле; 2 – поле; точки – положение железной дороги; сплошной прямоугольник на железной дороге – место начала эмиссии опасного вещества; прямоугольник в поселке – место положения рецептора

Рассмотрим результаты моделирования, полученные на базе разработанной численной модели. На приведенных ниже рисунках представлена картина формирования зоны загрязнения в атмосфере для различных моментов времени после начала эмиссии опасного вещества из движущейся цистерны.

Из представленных рисунков видно, что зона загрязнения представляет собой эллипс, который меняет свою ориентацию относительно положения магистрали, что связано как с движением поезда, так и вследствие сноса ветром. Это приводит к попаданию под влияние источника эмиссии различных зон, прилегающих к магистрали.



Рис. 2. Зона загрязнения для момента времени  $t=31c$  (уровень 12м)



Рис. 3. Зона загрязнения для момента времени  $t=284c$  (уровень 12м)

Для оценки экологического ущерба, дополнительно решались задачи:

а) расчет динамики формирования зоны загрязнения подстилающей поверхности (определении площади, попавшей под влияние источника эмиссии);

б) расчет массы примеси, попавшей на определенные участки в поселке (для конкретности выбраны два участка – поля, которые отмечены числами 1 и 2 на рис.1 и располагаются возле поселка «Илларионово»).

Результаты решения этих задач приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Динамика формирования зоны загрязнения подстилающей поверхности

время	126 сек	205 сек	315 сек
Загрязненная площадь	1645*103 м2	3017*103 м2	4594*103 м2

Таблица 2 – Масса примеси, попавшая на каждый участок

время	Участок 1	Участок 2
173 сек	327 грамм	0
299 сек	3000 грамм	234 грамм
362 сек	4828 грамм	1320 грамм

Таким образом, результаты, представленные в приведенных таблицах, свидетельствуют о том, что разработанная модель позволяет оценить величину экологического риска в случае такой сложной картины выброса – выброс от движущегося поезда.

На третьем этапе расчета определялась динамика изменения концентрации в точке расположения рецептора (жилой дом в поселке). Если за пороговое значение принять значение ПДК = 0.2 мг/м3, то видно, что имеет место превышение этого порога, что создает риск токсичного поражения людей.

Таблица 3 – Динамика загрязнения воздушной среды в точке расположения рецептора поселке (уровень 4м)

Время	63 сек	142 сек	236 сек
Концентрация	0.011 г/м3	0.0077 г/м3	0.0014 г/м3

Хорошо видно, что за короткий промежуток времени после начала эмиссии произойдет опасное загрязнение воздушной среды и таким образом очевиден социальный риск для населения в поселке. Но высокий уровень концентрации опасного вещества в атмосфере, в точке расположения рецептора, долго не держится (длительность импульса порядка 180 сек) после начала выброса, что связано с двумя факторами:

Движением поезда.

Сносом шлейфа ветром.

Отметим, что на решение задачи потребовалось порядка 1мин компьютерного времени.

**Выводы.** В работе рассмотрена эффективная 3D численная модель для расчета динамики загрязнения атмосферы при аварийных выбросах на железнодорожном транспорте. Модель позволяет оперативно получать прогнозные данные. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания модели для расчета рассеивания примеси совместно с расчетом аэродинамики воздушных потоков.



**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. 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

**Беляев Н.Н., Берлов А.В., Кириченко П.С.**

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

**ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Вступление.** Железнодорожный транспорт осуществляет перевозку в больших масштабах химически опасных грузов и в частности компонентов ракетного топлива. К числу наиболее опасных источников возможного химического загрязнения окружающей среды при авариях, диверсиях на железной дороге относится твердое ракетное топливо (ТРТ) ракетной системы РС-22 (рис. 1). При таких чрезвычайных ситуациях происходит возгорание ракетного топлива, которое сопровождается интенсивной эмиссией химически опасных веществ в атмосферу. Это создает угрозу масштабного загрязнения окружающей среды и риска токсичного пора-

жения людей не только вблизи места аварии, но и на значительном расстоянии от нее. Поэтому, одной из важных задач в области экологической безопасности является прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха при чрезвычайной ситуации при транспортировке ракетного топлива и разработка технологий по минимизации уровня загрязнения воздушной среды. Решение данной задачи составляет основу разработки ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации). Как известно в соответствии с законом Украины «Об объектах повышенной опасности» данный документ обязан быть разработан для потенциально опасных объектов.