

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 502.36/.504.3.054:656.2

Н. Н. БЕЛЯЕВ<sup>1\*</sup>, Л. Я. МУНТЯН<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup>Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1659-7740

### ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА ПРИ АВАРИЯХ НА ТРАНСПОРТЕ

**Цель.** Данное исследование направлено на разработку метода оценки потенциального территориального риска при авариях на железнодорожном транспорте, учитывающего специфику эмиссии химически опасных веществ при чрезвычайных ситуациях во время их транспортировки. **Методика.** Основу предложенного метода составляет численное моделирование процесса переноса химически опасного вещества в атмосфере. Основой численной модели является уравнение массопереноса химически опасных веществ. Данное уравнение учитывает рассеивание в атмосфере опасного вещества за счет ветра и атмосферной диффузии. Для численного интегрирования уравнения переноса химически опасного вещества в атмосфере применяется неявная разностная схема расщепления. На основе построенной численной модели разработан метод оценки потенциального территориального риска и создан код на алгоритмическом языке Фортран. Разработанный метод пространственно-временной оценки территориального риска учитывает: вероятные метеоситуации; режим эмиссии химически опасного вещества; мощность эмиссии; движение источника эмиссии. Проведен вычислительный эксперимент по оценке уровня загрязнения атмосферы над поселком Синельниково при аварийной утечке аммиака. **Результаты.** Предложенный метод позволяет оперативно рассчитать возможный потенциальный риск утечки химически опасных веществ на основе расчета уровня загрязнения атмосферы при различных метеоситуациях. Метод позволяет определить размеры зоны токсичного поражения людей и оценить уровень опасности аварий на железнодорожном транспорте. С помощью разработанной численной модели выполнена оценка риска поражения людей в селитебной зоне поселка Синельниково. **Научная новизна.** Учеными создан метод оценки потенциального территориального риска, основанный на численном моделировании процесса загрязнения атмосферы. Выполнен расчет потенциального риска для селитебной зоны поселка Синельниково. **Практическая значимость.** Разработанный метод оценки потенциального риска может быть использован не только для решения задач данного класса для объектов железнодорожного транспорта, но и для других химически опасных объектов. С помощью разработанного метода выполнена оценка потенциального риска для поселка Синельниково в случае аварийной эмиссии аммиака.

*Ключевые слова:* аварийное загрязнение атмосферы; выброс химически опасных веществ; численное моделирование; оценка риска

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

**Введение**

Оценка уровня загрязнения окружающей среды в случае аварий при транспортировке химически опасных грузов является специфической и особо важной задачей, возникающей в области научных исследований, связанных с эксплуатацией железнодорожного транспорта [1, 2]. В рамках этой проблемы следует выделить одну, крайне важную задачу – оценку территориального риска при аварийных ситуациях на железнодорожном транспорте [9, 14, 17]. Используемые в настоящее время на практике методики решения таких задач не отвечают современным требованиям и не дают возможности получить научно обоснованные данные относительно уровня загрязнения окружающей среды и оценки риска при чрезвычайных ситуациях (рис. 1) [5, 6, 9–12].



Рис. 1. Эмиссия загрязняющих веществ при аварии на железной дороге

Fig. 1. Emission of pollutants in the accident on the railroad

Важность решения задач данного класса, особенно сейчас, привлекает к себе внимание в связи с повышенной угрозой террористических атак и диверсий на железной дороге, когда эмиссия опасных веществ может быть значительно больше, чем при авариях. Таким образом, создание методов оценки уровня загрязнения окружающей среды и риска, при чрезвычайных ситуациях на железной дороге, является актуальной научной задачей.

**Цель**

Целью данной работы является разработка метода для оперативной оценки потенциально-го территориального риска при аварийной эми-

ссии химически опасных веществ на объектах железнодорожного транспорта.

*Анализ публикаций.* В Украине в настоящее время для оценки риска при чрезвычайных ситуациях используется нормативная методика [9], которая носит декларативный характер и не содержит конкретных расчетных зависимостей, позволяющих прогнозировать величину риска для конкретных аварийных ситуаций. Как известно, величина риска зависит от величины поражающих факторов, которые возникают при той или иной чрезвычайной ситуации. При аварийной эмиссии химически опасных веществ возникает поражающий фактор – концентрация. В случае ситуаций, связанных эмиссией химически опасных веществ, для оценки последствий аварий на химически опасных объектах и транспорте используется нормативная методика [10], которая основана на ряде эмпирических зависимостей. Данная методика не учитывает скорость ветра, атмосферную диффузию, режим эмиссии химически опасного вещества на процесс формирования зоны загрязнения, а значит, на величину риска. Эта методика не позволяет оценить величину концентрации, то есть оценить риск. Кроме этой методики, применяются также аналитические модели, в частности модель Гаусса для оценки аварийного загрязнения атмосферы и оценки риска поражения людей [6, 14]. Как известно, модели данной группы позволяют быстро рассчитать зону загрязнения, но только для модельных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник или точечный мгновенный выброс. В ряде случаев используются CFD модели [2, 3, 15, 16], но они «сложны» для рядового пользователя. В настоящее время очевиден дефицит моделей и методов прогноза территориального риска, позволяющих оперативно получать необходимые прогнозные данные.

*Постановка задачи.* Рассматривается рассеивание в атмосфере токсичного вещества, попавшего в нее при чрезвычайной ситуации. Известна интенсивность выброса загрязняющего вещества и продолжительность эмиссии опасного вещества по времени, а также возможные метеоситуации. Необходимо оценить риск токсичного поражения людей на открытом пространстве возле места аварии.

### Методика

Платформой решения задачи по оценке потенциального территориального риска в случае аварий при транспортировке химически опасных грузов является осредненное по высоте переноса  $H$  уравнение массопереноса примеси Г. И. Марчука [4, 7]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q(t) \cdot \delta(x - x_0(t)) \cdot \delta(y - y_0(t)), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация опасного вещества;  $u, v$  – компоненты вектора скорости ветрового потока;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии;  $t$  – время;  $Q$  – интенсивность эмиссии опасного вещества;  $x_0(t), y_0(t)$  – координаты источника эмиссии, зависящие от времени;  $\delta(x - x_0(t)), \delta(y - y_0(t))$  – дельта функция Дирака.

Задавая зависимость от времени координат источника эмиссии  $x_0(t), y_0(t)$ , мы можем моделировать движение источника эмиссии (разгерметизированная цистерна). Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [2, 7, 13].

В данном разделе рассмотрена новая методология оценки территориального риска в случае аварийной эмиссии опасного вещества на железной дороге. Полагается, что вероятность инициирующего события (аварийный выброс)  $P=1$ .

Алгоритм определения величины территориального риска разбивается на ряд этапов. На *первом* этапе решения задачи формируется блок данных относительно инициирующего события (место эмиссии, интенсивность эмиссии, режим эмиссии). На *втором* этапе формируется блок данных относительно вероятных метеоситуаций  $PW_i$ , характерных для рассматриваемого региона. На *третьем* этапе рассчитывается уровень загрязнения в регионе для вероятных метеоситуаций (численное решение уравнения (1)). На *четвертом* этапе определяются подзоны, где концентрация превышает пороговое значение (ПДК, смертельную концентрацию и т.п.) при той или иной метеоси-

туации. На заключительном, *пятом* этапе, осуществляется построение поля риска для рассматриваемого региона.

При построении поля территориального риска следует учесть, что каждому погодному состоянию  $P(W_i)$  отвечает конкретная зона загрязнения, характеризующаяся размерами и концентрацией опасного вещества. Вероятность реализации конкретного погодного состояния определяется по зависимости

$$P(W_i) = N_{II} / T, \quad (2)$$

где  $N_{II}$  – число дней (часов), соответствующих определенной метеоситуации;  $T$  – период наблюдений (прогноз метеоситуации).

В данном случае под определенной метеоситуацией будем понимать конкретное значение скорости и направления ветра. Данная информация может быть получена исходя из имеющейся базы наблюдений за погодными условиями в конкретном регионе или на основе прогнозов метеостанций.

Для оценки потенциального территориального риска необходимо оценить вероятность для каждой точки рассматриваемого региона, прилегающего к железной дороге, оказаться под действием шлейфа (облака) опасного вещества.

Исходя из данных рассуждений, можем утверждать, что вероятность попадания какого-либо рецептора под действие шлейфа опасного вещества определится, таким образом, по зависимости:

$$P(W)_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n P(W_i), \quad (3)$$

где  $P(W)_{\Sigma}$  – суммарная вероятность всех погодных состояний, отвечающих данному направлению ветра, при котором рецептор попал в зону влияния источника эмиссии.

Таким образом, для расчета вероятности оказаться в зоне поражения (то есть для оценки величины территориального риска) необходимо выполнить расчеты для конкретного рецептора по формуле (3). Необходимо подчеркнуть, что для решения поставленной задачи надо знать концентрацию опасного вещества в точке расположения конкретного рецептора и на сколько эта величина превосходит некоторый порого-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

вый уровень (например, ПДК или какую – либо другую величину). Следовательно, мы приходим к первоочередной задаче – определение поля концентрации опасного вещества для конкретного региона (территории) и конкретной метеоситуации.

Отметим, что для прогноза потенциального территориального риска необходимо знать:

1. мощность эмиссии опасного вещества, режим эмиссии, скорость и направление движения разгерметизированной цистерны;
2. место начала эмиссии;
3. метеоситуацию;
4. концентрационное поле опасного вещества, которое формируется для конкретной метеоситуации.

На базе предложенной модели разработан код **«RISK – QUICK»**, который осуществляет расчет возможного потенциального риска на базе предложенного подхода. Программная реализация кода осуществлена на языке FORTRAN. Разработанный код состоит из нескольких подпрограмм типа SUBROUTINE, каждая из которых осуществляет решение определенной задачи: расчет динамики формирования зоны загрязнения, расчет концентрации химически опасного вещества в заданной точке и т.п. Для решения различных задач по оценке территориального риска нет необходимости вносить какие-либо изменения в разработанный код, изменения вносятся только в файл исходных данных.

### Результаты

Для иллюстрации возможностей разработанного метода оценки территориального риска ниже представлено решение конкретной прикладной задачи. Рассматривается регион возле станции «Синельниково» (рис. 2). Размеры региона  $10 \times 10$  км. Полагается, что в случае чрезвычайной ситуации может произойти утечка аммиака – краткосрочный выброс химически опасного вещества (аммиак), в течении 1 мин. Место эмиссии условно изображено на рис. 4. в виде «кружка». Масса выброшенного вещества 1т. Полагается, что состав сначала движется со скоростью 4 км/час в течение 4 мин, а затем останавливается.



Рис. 2. Расчетная область (ст. «Синельниково»): «кружок» – место аварийной эмиссии

Fig. 2. Estimated area (St. «Sinelnikovo») «circle» – a place of emergency issue

При оценке потенциального территориального риска принималось, что при концентрации равной или большей величины  $0,2 \text{ мг/м}^3$  рецептор попадает в зону риска.

Предположим, что на станции в период с ночи 24.00 (12 декабря) по 18.00 (13 декабря) по данным метеопрогноза, в течение 42 часов возможны такие метеоситуации: северо-восточный ветер со скоростью:

1. в период с 24.00 по 6.00, (ночь–утро) ожидается скорость ветра 1 м/с;
2. в период с 6.00 по 12.00, (утро–день) скорость ветра 2 м/с;
3. в период с 12.00 (12 декабря) по 18.00 (день 13 декабря) скорость ветра 3 м/с.

Таким образом, на протяжении 42 часов вероятность реализации каждой метеоситуации составляет:

$$P(W_1) = \frac{6}{42} \times 100 = 14.3\% ;$$

$$P(W_1) = \frac{6}{42} \times 100 = 14.3\% ;$$

$$P(W_2) = \frac{30}{42} \times 100 = 71.4\% .$$

Требуется оценить потенциальный территориальный риск для рассматриваемой ситуации

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

аварійної утечки опасного вещества на железнодорожной станции «Синельниково».

На последующих рисунках показаны карты возможного потенциального риска для рассматриваемой ситуации. Необходимо отметить, что представлены данные о величине территориального риска для различных моментов времени, так как исходная задача – нестационарная по своей постановке: эмиссия идет только 1 мин, а далее в атмосфере мигрирует сформировавшаяся зона загрязнения.

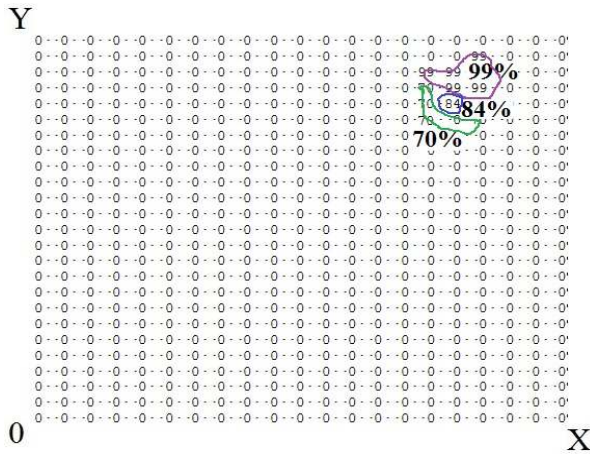


Рис. 3. Матрица территориального риска (t = 1 мин)

Fig. 3. Matrix of territorial risk (t = 1 min)

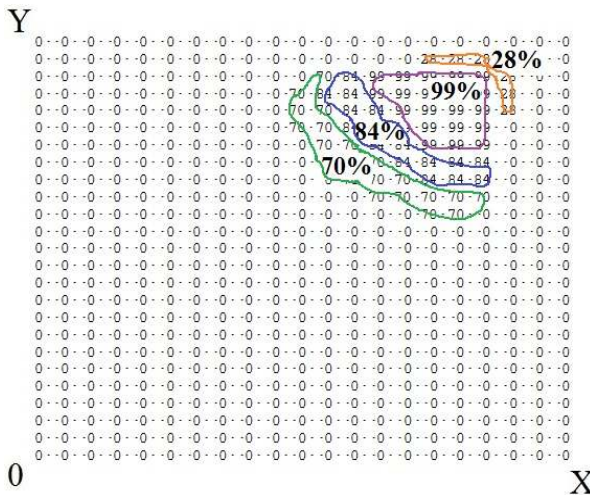


Рис. 4. Матрица территориального риска (t = 8 мин)

Fig. 4. Matrix of territorial risk (t = 8 min)

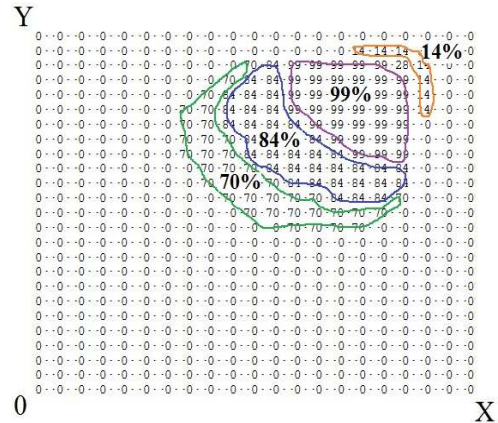


Рис. 5. Матрица территориального риска (t = 15 мин)

Fig. 5. Matrix of territorial risk (t = 15 min)

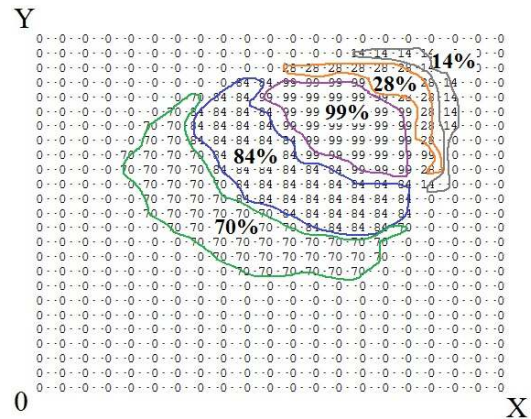


Рис. 6. Матрица территориального риска (время t = 22 мин)

Fig. 6. Matrix of territorial risk (t = 22 min)

Как видно из рис. 3–6, зона возможного территориального риска постоянно изменяется с течением времени – она увеличивается в размерах. Так для момента времени t = 1 мин площадь потенциального территориального риска составляет порядка 5 % рассматриваемого региона, то к моменту времени t = 22 мин, площадь потенциального территориального риска практически равна половине площади рассматриваемого региона и полностью покрывает поселок «Синельниково». Это указывает на огромную опасность аварий на объектах железнодорожного транспорта. Кроме этого видно, что величина потенциального риска изменяется для различных точек региона со временем. Так для точек региона, где первоначально величина

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

риска составляла порядка 70 % (момент времени 8 мин после аварии), то для момента времени  $t = 22$  мин в этих точках значение потенциального риска уже составляет порядка 84 %, т.е. риск вырос. Это значит, что в случае аварий такого типа размещение жилой застройки на определенном расстоянии, даже достаточно большом от железнодорожной магистрали, еще не гарантирует безопасность для людей.

Анализируя матрицы территориального риска, представленные на приведенных выше рисунках, можно сделать вывод о том, что разработанный метод позволяет оценивать территориальный риск для ситуации, которая характерна при аварийных эмиссиях на объектах железнодорожного транспорта – полунепрерывный выброс химически опасных веществ. Необходимо подчеркнуть, что в Украине нет аналогичного метода решения задач такого класса.

В заключение отметим, для решения задачи потребовалось около 10 с компьютерного времени.

#### Научная новизна и практическая значимость

Создана численная модель, позволяющая оперативно оценить величину потенциального территориального риска в случае аварийной эмиссии химически опасных веществ на объектах железнодорожного транспорта.

Особенностью построенной модели является использование стандартной исходной информации, быстрота в получении расчетных данных и удобство для анализа получаемых результатов.

#### Выводы

В работе представлена новая численная модель для расчета возможного потенциального риска при авариях на объектах железнодорожного транспорта. Научной платформой решения задачи является численное интегрирование 2-D модели переноса примеси в атмосфере для различных метеоситуаций. Дальнейшее развитие данной тематики следует проводить в направлении создания 3-D модели аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайных ситуациях при транспортировке опасных грузов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авария и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учебн. пособие в 5-ти книгах / Под ред. В. А. Котляревского, А. В. Забегаява. – Москва : АСВ, 2001. – Кн. 5. – 416 с.
2. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2013. – 159 с.
3. Беляев, Н. Н. Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – № 42. – С. 160–167.
4. Берлов, А. В. Расчет загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива / А. В. Берлов // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. / Харк. нац. ун-т буд-ва та архіт. – Харків, 2014. – № 1 (75). – С. 185–189.
5. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
6. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 257 с.
7. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
8. Машихина, П. Б. Моделирование распространения примеси в атмосфере с учетом рельефа местности / П. Б. Машихина // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 27. – С. 138–142.
9. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки : затв. наказом № 637 від 04.12.2002. – Київ, 2002. – 25 с.
10. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті : затв. наказом № 73/82/64/122 від 27.03.2001. – Київ, 2001. – 33 с.
11. Рудаков, Д. В. Модель рассеивания примеси в приземном слое атмосферы над поверхностью со сложным рельефом / Д. В. Рудаков // Вісник ДНУ. Серія : Механіка. – Дніпропетровськ, 2004. – № 6. – Вип. 8, т. 1. – С. 89–97.
12. Светличная, С. Д. Оценка полученной токсодозы при распространении первичного облака токсического вещества / С. Д. Светличная // Проблеми надзвичайних ситуацій : зб. наук.

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

- пр. / Нац. ун-т цив. захисту України. – Харків, 2011. – Вип. 13. – С. 127–132.
13. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
  14. Швыряев, А. А. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе / А. А. Швыряев, В. В. Меньшиков. – Москва : Изд-во МГУ, 2004. – 124 с.
  15. Biliaiev, N. N. Expert system to predict the atmosphere pollution in the case of the accident at the solid rocket propellant storage / N. N. Biliaiev, A. V. Berlov // Стр-во, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепров. гос. акад. стр-ва и архит. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 76. – С. 57–61.
  16. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // Air Pollution Modeling and its Application XXI. – Netherlands : Springer, 2012. – P. 87–91.
  17. Maximum Possible Risk Modelling / M. Schutz, M. Cohen, T. Whalen, T. Taylor // Proc. of the 11<sup>th</sup> Joint Conf. on Information Sciences. – Netherlands : Atlantis Press, 2008. – P. 1–6. doi: org/10.2991/jcis.2008.15.

М. М. БІЛЯЄВ<sup>1\*</sup>, Л. Я. МУНТЯН<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup>Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1659-7740

## ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНКИ ПОТЕНЦІЙНОГО ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РИЗИКУ ПРИ АВАРІЯХ НА ТРАНСПОРТІ

**Мета.** Дане дослідження спрямоване на розробку методу оцінки потенційного територіального ризику при аваріях на залізничному транспорті, що враховував би специфіку емісії хімічно небезпечних речовин при надзвичайних ситуаціях під час їх транспортування. **Методика.** Основу запропонованого методу становить чисельне моделювання процесу переносу хімічно небезпечної речовини в атмосфері. Основою чисельної моделі є рівняння масопереносу хімічно небезпечних речовин. Дане рівняння враховує розсіювання в атмосфері небезпечної речовини за рахунок вітру та атмосферної дифузії. Для чисельного інтегрування рівняння переносу хімічно небезпечної речовини в атмосфері застосовується неявна різницева схема розщеплення. На основі побудованої чисельної моделі розроблено метод оцінки потенційного територіального ризику та створений код алгоритмічною мовою Фортран. Розроблений метод просторово-часової оцінки територіального ризику враховує: ймовірні метеорологічні ситуації; режим емісії хімічно небезпечної речовини; потужність емісії; рух джерела емісії. Проведено обчислювальний експеримент по оцінці рівня забруднення атмосфери над селищем Синельникове при аварійному витокі аміаку. **Результати.** Запропонований метод дозволяє оперативно розрахувати можливий потенційний ризик витоків хімічно небезпечних речовин на основі розрахунку рівня забруднення атмосфери при різних метеоситуаціях. Метод дозволяє визначити розміри зони токсичного ураження людей та оцінити рівень небезпеки аварій на залізничному транспорті. За допомогою розробленої чисельної моделі виконана оцінка ризику ураження людей у селітебній зоні селища Синельникове. **Наукова новизна.** Вченими створено метод оцінки потенційного територіального ризику, заснований на чисельному моделюванні процесу забруднення атмосфери. Виконано розрахунок потенційного ризику для селітебної зони селища Синельникове. **Практична значимість.** Розроблений метод оцінки потенційного ризику може бути використаний не тільки для розв'язання задач даного класу для об'єктів залізничного транспорту, але й для інших хімічно небезпечних об'єктів. За допомогою розробленого методу виконана оцінка потенційного ризику для селища Синельникове у разі аварійної емісії аміаку.

**Ключові слова:** аварійне забруднення атмосфери; викиди хімічно небезпечних речовин; чисельне моделювання; оцінка ризику

M. M. BILIAIEV<sup>1\*</sup>, L. YA. MUNTIAN<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup>Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1659-7740

## EXPRESS METHOD OF ESTIMATION OF THE POTENTIAL TERRITORIAL RISK IN CASE OF ACCIDENTS ON TRANSPORT

**Purpose.** The present research is aimed to the development of a method to assess the potential territorial risk in accidents on the railways, which takes into account the specificity of the chemically hazardous substances emission in emergency situations during their transportation. **Methodology.** The basis of the proposed method is numerical modeling of the transfer process of chemically dangerous substances in the atmosphere. The basis of the numerical model is the equation of convective-diffusion transfer of chemically hazardous substances. This equation takes into account the dispersion in atmosphere of dangerous substances due to wind and atmospheric diffusion. For the numerical integration of the equations of transfer of chemically hazardous substances in the atmosphere is applied an implicit finite-difference scheme of splitting. Based on the constructed numerical model was developed method for the assessment of potential territorial risk and generated code in algorithmic language Fortran. The developed method of spatio-temporal risk assessment takes into account: the territorial probable weather situations; emission mode of chemically hazardous substances; emission power; the movement of the source of emission. A computational experiment to assess the level of air pollution above the village Sinelnikovo during the emergency leak of ammonia was conducted. **Findings.** The proposed method allows calculating quickly the potential risk of the leakage of chemically hazardous substances on the basis of the calculation of the level of pollution in different mesosituation. The method allows determining the size of the zone of toxic casualties and assessing the level of risk of accidents in railway transport. Using the developed numerical model evaluated the assessment of risk of casualties in the residential area of the village Sinelnikovo. **Originality.** The scientists established the method for the assessment of potential territorial risk, based on the numerical modeling of air pollution. The calculation of potential risk to residential areas of the village Sinelnikovo was executed. **Practical value.** The developed method of assessing risk potential can be used not only for solving problems of this class to objects of railway transport but also for other chemically dangerous objects. By using the developed method was evaluated potential risk to the village Sinelnikovo in the event of accidental emission of ammonia.

**Keywords:** accidental pollution of the atmosphere; the emission of chemically hazardous substances; numerical simulation; risk assessment

### REFERENCES

1. Kotlyarevskiy V.A., Zabegayev A.V. *Avariya i katastrofy. Preduprezhdeniye i likvidatsiya posledstviy. Uchebnoye posobiye v 5-ti knigakh* [Accident and disasters. Warning and liquidation of consequences. Manual in 5 books]. Moscow, ACB Publ., 2001, book 5. 416 p
2. Belyayev N.N., Gunko Ye.Yu., Mashikhina P.B. *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychaynykh situatsiy* [Mathematical modeling in problems of environmental safety and monitoring emergencies]. Dnepropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2013, 159 p.
3. Belyayev N.N., Berlov A.V. *Prognozirovaniye zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery pri gorenii tverdogo raketnogo topliva v khranilishche* [Prediction of pollution in the atmospheric surface layer during combustion of solid rocket fuel in storage]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho Hirnychoho universytetu* [Proc of National Mining University]. Dnipropetrovsk, Natsionalnyi Hirnychiy Universytet Publ., 2013, no. 42, pp. 160-167.
4. Berlov A.V. *Raschet zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery pri gorenii tverdogo raketnogo topliva* [Calculation of the pollution of the ground atmospheric layer during combustion of solid rocket fuel]. *Naukovyi visnyk budivnytstva: zbirnyk naukovykh prats* [Scientific Bulletin of Construction: Proc.], 2014, no. 1 (75), pp.185-189.



## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

5. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 273 p.
6. Gusev N.G., Belyayev V.A. *Radioaktivnyye vybrosy v biosfere* [Radioactive emissions in the biosphere]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 257 p.
7. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
8. Mashikhina P.B. Modelirovaniye rasprostraneniya primesi v atmosfere s uchetom relefa mestnosti [The distribution modeling of impurities in the atmosphere taking into account of terrain]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 138-142.
9. *Metodyka vyznachennia ryzykiv ta yikh pryiniatnykh rivniv dlia deklaruvannya bezpeky ob'ektiv pidvyshchanoi nebezpeky* [Risks definition technique and their acceptable levels for the declaration of security high-risk facilities]. Kyiv, 2002. 25 p.
10. *Metodyka prohnozuvannya naslidkiv vylyvu (vykydu) nebezpechnykh khimichnykh rehovyn pry avariiakh na promyslovykh ob'ektakh i transporti* [Methods of prediction the consequences of the spout (emission) of hazardous chemicals in accidents at industrial objects and transport]. Kyiv, 2001. 33 p.
11. Rudakov D.V. Model rassevaniya primesi v prizemnom sloye atmosfery nad poverkhnostyu so slozhnym relefom [Model of impurity dispersion in the atmospheric surface layer over a surface with complex relief]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Mekhanika. Vypusk 8* [Bulletin of Oles Honchar Dnipropetrovsk National University. Series: Mechanics. Volume 8], 2004, no. 6, vol. 1, pp. 89-97.
12. Svetlichnaya S.D. Otsenka poluchennoy toksodozy pri rasprostraneniі pervichnogo oblaka toksicheskogo veshchestva [Evaluation of the toxic dose received at the distribution of the primary cloud of toxic substances]. *Problemy nadzvychainykh situatsii: zbirnyk naukovykh prats* [Problems of emergency situations: Proc.], 2011, issue 13, pp. 127-132.
13. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyayev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution spreading in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
14. Shvyryayev A.A., Menshikov V.V. *Otsenka ryzyka vozdeystviya zagryazneniya atmosfery v issleduyemom regione* [Risk assessment of pollution in the research area]. Moscow, Izdatelstvo MGU Publ., 2004. 124 p.
15. Biliaiev N.N., Berlov A.V. Expert system to predict the atmosphere pollution in the case of the accident at the solid rocket propellant storage. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye: sbornik nauchnykh trudov* [Construction, Material science, Mechanical Engineering: Proc.]. Dnepropetrovsk, 2014, issue 76, pp. 57-61.
16. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI*. Netherlands, Springer Publ., 2012. pp. 87-91.
17. Schutz M., Cohen M., Whalen T., Taylor T. Maximum Possible Risk Modelling. Proc. of the 11th Joint Conf. on Information Sciences. Netherlands, Atlantis Press Publ., 2008, pp. 1-6. doi: org/10.2991/jcis.2008.15.

*Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина); д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина)*

Поступила в редколлегию: 11.12.2015

Принята к печати: 08.02.2016