



RS Global

INTERNATIONAL

Scientific and Practical CONFERENCE

.....

International Trends in Science and Technology

**Proceedings of the
XV International Scientific and
Practical Conference**

**International Trends in
Science and Technology**

**Vol.1, July 31, 2019,
Warsaw, Poland**

Copies may be made only from legally acquired originals.
A single copy of one article per issue may be downloaded for personal use (non-commercial research or private study). Downloading or printing multiple copies is not permitted. Electronic Storage or Usage Permission of the Publisher is required to store or use electronically any material contained in this work, including any chapter or part of a chapter. Permission of the Publisher is required for all other derivative works, including compilations and translations. Except as outlined above, no part of this work may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means without prior written permission of the Publisher.

ISBN 978-83-954081-6-8

© RS Global Sp. z O.O.;
© The Authors

**RS Global Sp. z O.O.
Warsaw, Poland
2019**

Founder:
RS Global Sp.z O.O.,

Research and Scientific
Group
Warsaw, Poland

**Publisher Office's
address:**

Dolna 17, lok. A_02
Warsaw, Poland,
00-773

E-mail:
rsglobal.poland@gmail.com

The authors are fully responsible for the facts mentioned in the articles. The opinions of the authors may not always coincide with the editorial boards point of view and impose no obligations on it.

ОЦІНКА ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РИЗИКУ У ВИПАДКУ АВАРІЙНОГО ВИКИДУ ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ РЕЧОВИНИ

д.т.н., Біляєв М.М.¹, к.т.н., Берлов О.В.², к.т.н. Калашиков І.В.¹, к.т.н. Козачина В.А.¹,
к.т.н., Татарко Л.Г.³

¹Україна, м. Дніпро, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

²Україна, м. Дніпро, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

³Україна, м. Дніпро, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Abstract. A numerical model has been developed to predict accidental air pollution at the storage of toxic chemicals. The model allows to assess the potential risk. The numerical model takes into account the atmospheric diffusion, profile of wind speed, intensity of toxic chemical emission. For the numerical integration of the mass transfer equation, the implicit difference scheme of splitting was used. To model the wind velocity structure in the case of flow over buildings the model of potential flow was used. The results of numerical experiment of the accidental emission of chlorine are presented. The model can be used in the Ministry of Emergency Situations for rapid analysis and prediction of the risk of toxic damage to people in emergency situations.

Keywords: risk assessment, numerical model, pollution of the atmosphere

Вступ. В результаті аварії на хімічно небезпечних об'єктах можливі викид (випів) аварійно-хімічно небезпечних речовин (АХОВ) в кількостях, які можуть становити небезпеку для здоров'я і життя людей. До найбільш поширених АХОВ відноситься хлор. Один кг рідкого хлору при випаровуванні дає 315 л газоподібного хлору, при випаровуванні на повітрі в значних кількостях дає з водяними парами білий туман. У суміші з воднем (більше 50% водню) вибухонебезпечний, при нагріванні ємності з хлором вибухають. В разі аварій на промислових об'єктах, де використовується хлор, виникає ризик токсичного ураження людей на підприємстві та на прилеглих до підприємства територіях. У зв'язку з цим постає вкрай важлива задача по оцінці ризику токсичного ураження людей та розробці адекватних заходів, щодо зняття негативних наслідків, спричинених аварійною ситуацією.

Аналіз літературних даних. Для вирішення задач даного класу використовуються модель Сеттона, модель Гауса, модель Берлянда, аналітичні рішення моделі масопереносу [1, 2]. На базі цих моделей розроблено спеціалізовані пакети програм типу: «Токсид», «Аміак», «SLAB», «ALONA» та ін. Але моделі даного класу не дозволяють прогнозувати ризик токсичного ураження персоналу, якщо хмара хімічно небезпечної речовини поширюється в умовах забудови. Тому для прогнозу ризику токсичного ураження людей необхідно мати моделі, які б дозволяли враховувати вплив будівель на формування зон забруднення. В теперішній час для розрахунку формування зон забруднення в умовах забудови використовуються досить поширені моделі, що базуються на використанні рівнянь Нав'є – Стоксу. На базі цих рівнянь визначається поле швидкості повітряного потоку в умовах забудови, а далі вирішується задача масопереносу. Зараз для проведення таких розрахунків досить часто використовуються комерційні пакети програм (наприклад пакет програм ANSYS). Але використання рівнянь Нав'є – Стоксу для розв'язання задач даного класу потребує декілька днів на розрахунок типової задачі. Тому для практики дуже важливим є розробка математичних моделей, які б дозволяли швидко прогнозувати формування зон хімічного зараження в умовах забудови.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка чисельної моделі для оперативної оцінки територіального ризику токсичного ураження людей при аварійній емісії хімічно небезпечної речовини.

Математична модель поширення домішки в атмосфері. Основою оцінки територіального ризику хімічного ураження людей є інформація про зони хімічного зараження при аварійних викидах хімічно небезпечних речовин. Для розрахунку динаміки формування

зон хімічного зараження при аварійному витокі хімічно небезпечної речовини будемо використовувати рівняння масопереносу:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_g)C}{\partial z} + \sigma C = \\ = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x-x_i) \delta(y-y_i) \delta(z-z_i), \end{aligned} \quad (1)$$

де C – концентрація токсичної речовини; u, v, w – компоненти швидкості вітрового потоку; $\delta(x-x_i) \delta(y-y_i) \delta(z-z_i)$ – дельта-функція Дірака; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; x_i, y_i, z_i – координати джерела емісії токсичної речовини; σ – коефіцієнт, що враховує хімічний розпад токсичної речовини, вимивання опадами; Q – інтенсивність викиду токсичної речовини; w_g – швидкість гравітаційного осідання токсичної речовини; t – час.

Постановка крайових умов для даного рівняння розглянута в роботі [3].

Як відомо, для практики дуже важливо враховувати профіль швидкості вітру та змінне значення вертикального коефіцієнту дифузії. В запропанованій математичній моделі використовувались наступні залежності:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^p, \quad \mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m, \quad \mu_x = \mu_y = k_0 u, \quad (2)$$

де $p = 0,15$; $m = 1$; $k_1 = 0,2$; $k_0 = 0,1 \div 1$.

Модель аеродинаміки. Для розрахунку поля швидкості повітряного потоку в умовах забудови використовується модель потенціальної течії. Базовим рівнянням цієї моделі є рівняння Лапласа для потенціала швидкості:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0. \quad (3)$$

Значення компонент швидкості повітря визначається залежностями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial P}{\partial z}. \quad (4)$$

Граничні умови для рівняння (3) такі:

1. $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ на твердих непроникливих границях та на верхній поверхні.
2. $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ на границі, де потік входить в розрахункову область, V_n – відома швидкість повітря.
3. $P = \text{const}$ – на границі «виходах» потоку з розрахункової області.

Для чисельного розв'язання рівняння (3) використовується метод скінченних різниць, а саме – метод Річардсона. Значення потенціалу швидкості визначається в центрах різницьових комірок. Перед проведенням чисельного розрахунку рівняння (3) приводиться до вигляду:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}, \quad (5)$$

де t – фіктивний час.

Розрахункова залежність для визначення потенціалу швидкості має вигляд:

$$\begin{aligned} P_{ijk}^{n+1} = P_{ijk}^n + \Delta t \frac{P_{i+1,j,k}^n - 2P_{ijk}^n + P_{i-1,j,k}^n}{\Delta x^2} + \Delta t \frac{P_{i,j+1,k}^n - 2P_{ijk}^n + P_{i,j-1,k}^n}{\Delta y^2} + \\ + \Delta t \frac{P_{i,j,k+1}^n - 2P_{ijk}^n + P_{i,j,k-1}^n}{\Delta z^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для початку розрахунку за формулою (6) потрібно задати «початкове» значення потенціалу P в розрахунковій області, наприклад, можна прийняти $P = 0$.

Розрахунок за залежністю (6) закінчується коли:

$$|P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^n| \leq \varepsilon \quad (7)$$

де ε – мале число; n – номер ітерації (кількість кроків за «часом»).

Компоненти вектору швидкості повітряного потоку визначаються на сторонах комірок за залежностями

$$u_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i-1,j,k}}{\Delta x}, \quad v_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j-1,k}}{\Delta y}, \quad w_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j,k-1}}{\Delta z}. \quad (8)$$

Метод розв'язання рівняння масопереносу. Для чисельного інтегрування рівняння (1) будемо використовувати кінцево-різницеві методи. Попередньо ми здійснили розщеплення рівняння (1) на послідовність рішення наступних рівнянь

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right),$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right),$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (w - w_g)C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right),$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sigma C = \sum Q_i(t) \delta(x - x_i(t)) \delta(y - y_i(t)). \quad (9)$$

Перші три рівняння з системи (9) описують рух небезпечної речовини тільки в одному напрямі. Таке розщеплення є базовим для побудови локально-одновимірної різницевої схеми. Для чисельного інтегрування перших трьох рівнянь використовується неявна поперемінно-трикутна різницева схема.

Розглянемо побудову цієї різницевої схеми. Поперше виконаємо наступне представлення:

$$\frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x},$$

$$\frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y},$$

$$\frac{\partial wC}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z},$$

$$\text{де } u^+ = \frac{u + |u|}{2}, u^- = \frac{u - |u|}{2}; v^+ = \frac{v + |v|}{2}, v^- = \frac{v - |v|}{2}; w^+ = \frac{w + |w|}{2}, w^- = \frac{w - |w|}{2}.$$

Далі виконаємо апроксимацію похідних за формулами [3]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} - \mu_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} - \mu_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}.$$

Для апроксимації конвективних похідних використовуємо вирази [3]:

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^+ C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^- C_{i,j+1,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^+ C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - w_{i,j,k}^+ C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial w^- C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^- C_{i,j,k+1}^{n+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}.$$

Різницеву схему за допомогою якої визначається концентрація хімічно небезпечної речовини розглянемо на прикладі тільки першого рівняння з системи (9), тому що друге та третє рівняння є аналогічними. Різницєва схема для першого рівняння переносу з системи (9) має вигляд:

на першому кроці розщеплення ($k = \frac{1}{2}$):

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^k = M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n, \quad (10)$$

на другому кроці розщеплення:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^k}{\Delta t} + L_x^- C^{n+1} = M_{xx}^+ C^n + M_{xx}^- C^{n+1}. \quad (11)$$

І так саме для другого та третього рівняння з системи (9).

Невідоме значення концентрації C на кожному кроці розщеплення (10), (11) знаходиться за явною формулою «розрахунку, що біжить». Останнє рівняння з системи (9) розв'язується за допомогою методу Ейлера.

Методологія розрахунку територіального ризику на промислових майданчиках при викидах хімічно небезпечних речовин. Як відомо, розподіл небезпечного фактору – концентрації, на території промислового об'єкту у випадку аварійної емісії токсичної речовини, має суттєво імовірніший характер. Цей характер розподілу буде залежати від:

- повторюваності різного значення швидкості, напрямку вітру,
- імовірності стійкості атмосфери,
- сценарію аварії,
- місця викиду, інтенсивності емісії,
- присутності перешкод на шляху формування зон зараження.

Тому, при оцінці територіального ризику на проммайданчику будемо враховувати ці фактори. Відзначимо, що зона хімічного зараження – різна для різних метеорологічних ситуацій $P(W_i)$. Дійсно, при великій швидкості повітря концентрація небезпечної речовини в повітрі зменшується, а при низькій швидкості – зростає, бо нема швидкого розсіювання. Крім цього, на процес розсіювання домішки впливає стан атмосфери, який в побудованих моделях враховується вертикальним коефіцієнтом атмосферної дифузії. На промислових майданчиках, на формування зон хімічного зараження, суттєво впливають різного роду перешкоди – будівлі та таке інше.

При побудові методу оцінки ризику під конкретною метеорологічною ситуацією будемо розуміти конкретне значення швидкості і напрямку вітру та стійкість атмосфери. Як

відомо, вірогідність реалізації конкретної метеоситуації для даного регіону визначається на основі статистичних даних (або на основі метеопрогнозу):

$$P(W_i) = N_{ii} / T, \quad (12)$$

де N_{ii} - число днів (годин), що відповідають конкретній метеорологічній ситуації; T - період спостережень.

Ймовірність потрапляння людини в зону ураження визначиться наступним чином:

$$P(W)_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n P(W_i), \quad (13)$$

де $P(W)_{\Sigma}$ - ймовірність всіх розглянутих метеорологічних ситуацій, при яких людина перебуває в зоні, де концентрація небезпечної речовини перевищує деяке порогове значення, при якому виникає ураження певної тяжкості.

Для розрахунку ймовірності опинитися в зоні токсичного ураження при емісії небезпечної речовини необхідно, для конкретної точки розрахункової області, виконати розрахунки за формулою (13).

Алгоритм розв'язання задачі. Оцінку територіального ризику хімічного ураження персоналу на промайданчику при ймовірній метеорологічній ситуації PW здійснюватимемо в такій послідовності:

1) на першому етапі рішення задачі формується блок даних щодо ініціювання події (можливе місце емісії хімічно небезпечної речовини, інтенсивність емісії, режим емісії, вид хімічного агента, форма будівель, розміщення будівель на промайданчику);

2) на другому етапі формується блок даних щодо ймовірних метеоситуацій PW_i , характерних для області, де знаходиться підприємство;

3) на третьому етапі розраховується рівень хімічного зараження для ймовірних метеоситуацій (на цьому етапі проводиться чисельне інтегрування рівнянь для потенціалу швидкості і масопереносу для конкретної метеоситуації);

4) на четвертому етапі визначаються зони, де концентрація перевищує порогове значення (наприклад, смертельну концентрацію, або ГДК) при конкретній метеоситуації;

5) на п'ятому етапі здійснюється побудова поля (матриці) ризику для даного об'єкту.

Для проведення розрахунків з метою визначення величини територіального ризику хімічного ураження персоналу на промшлядці потрібно задати такі параметри:

1. Розміри розрахункової області.
2. Розміри будівель.
3. Геометрична форма будівель.
4. Параметри метеоситуації.
5. Потужність емісії небезпечної речовини.
6. Координати джерела емісії.
7. Координати рецептора.
8. Вірогідність реалізації кожної метеоситуації.
9. Розташування будівель на промшловому майданчику.

Результатом моделювання є матриця територіального ризику на промшлядці або прилеглий території для конкретного моменту часу після аварії або концентрація хімічно небезпечної речовини та зміна її з часом в цій або іншій робочій зоні. При необхідності, користувач може «включати» в розрахунок ймовірність місця аварії та таке інше. На базі розробленого алгоритму була створена компютерна програма «ProbT». Для кодування різних рівнянь використовувався Фортран.

Результати дослідження. Розроблений метод аналізу та оцінки територіального ризику токсичного ураження був використаний для визначення ризику у випадку можливої аварійної емісії хлору на Аульській хлорпереплавній станції (рис. 1, м. Дніпро).



Рис. 1. Промисловий майданчик на території Аульської хлорпереливної станції (Google image 2019): 1 – місце викиду; 2, 3 – будівлі; 4 – робоча зона

При розрахунку використовувались наступні дані: інтенсивність викиду хлору 33 кг/с на протязі 1 хвилини. Вірогідність швидкості вітру 3 м/с дорівнює 25%; вірогідність швидкості вітру 6м/с дорівнює 75%. Стійкість атмосфери – клас D по шкалі Гіффорда. Оцінка ризику здійснюється на базі тривимірної моделі, яка була розглянута вище. Для оцінки територіального ризику приймалось: якщо концентрація хлору більш ніж 3 мг/м³, рецептор потрапляє в зону ризику.

На рис. 2, 3 зображено матриці потенційного територіального ризику (імовірність токсичного ураження персоналу на промисловому майданчику) для різних моментів часу при реалізації вказаних імовірних метеоситуацій.

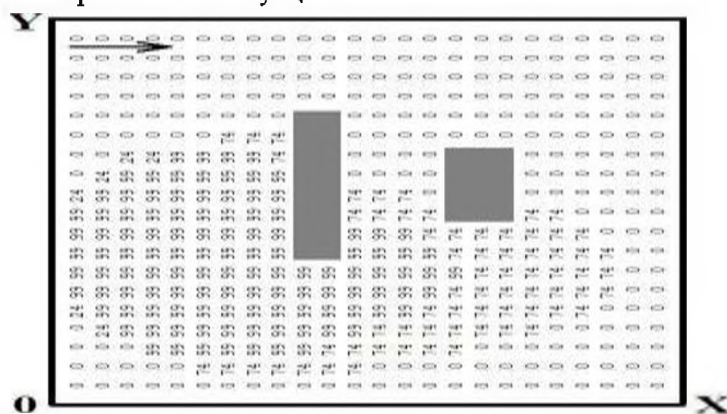


Рис. 2. Імовірність токсичного ураження персоналу на промисловому майданчику на моменті часу, $t=8$ с (рівень $z=2$ м)

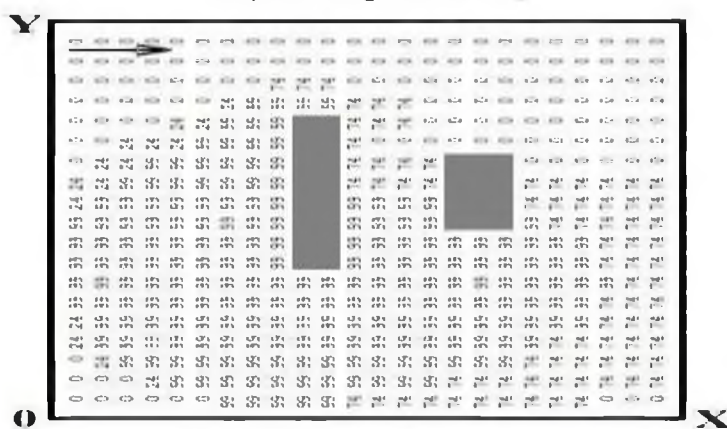


Рис. 3. Імовірність токсичного ураження персоналу на промисловому майданчику на моменті часу, $t=14$ с (рівень $z=2$ м)

Друк величини ризику на рисунках виконано у форматі «ціле число», тобто без дрібної частини числа.

З наведених рисунків ми бачимо, що площа зони територіального ризику, з часом, швидко збільшується в розмірах, та створюється велика загроза токсичного ураження персоналу на промисловому майданчику.

В таблиці 1 представлені дані, щодо концентрації хлору в робочій зоні при швидкості повітря 6 м/с (рис. 1). В цій зоні знаходяться робітники підприємства (6 осіб: бригада вантажників).

Таблиця 1. Значення концентрації хлору в робочій зоні для різних моментів часу

Час	концентрація хлору
9 с	198 мг/м ³
10 с	236 мг/м ³
11 с	268 мг/м ³
13 с	309 мг/м ³

Як ми бачимо з табл. 1, концентрації хлору в робочій зоні швидко зростають, та вже за 10с в 230 разів перевищує ГДК, тобто, токсичне ураження персоналу в робочій зоні – очевидне.

Підкреслимо, що для розрахунку задачі потрібно 10с комп'ютерного часу.

Висновки. 1. Запропоновано математичну модель для оперативної оцінки територіального ризику токсичного ураження людей у випадку аварійної емісії хімічного агенту.

2. Розроблена комп'ютерна програма для проведення обчислювального експерименту по визначенню територіального ризику при аварійній емісії хімічних агентів на промислових об'єктах. Особливістю програми є можливість оцінки територіального ризику при поширенні токсичного агенту в умовах забудови.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басманов, А.Е., Говаленков, С.С., & Васильев, М.В. (2011). Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества. *Проблеми надзвичайних ситуацій*, 13, 20-33. Retrieved from <http://mcszu.edu.ua/ukr/science>
2. Заказнов, В.Ф., & Куршева, Л.А. (1985). Распространение аммиака при разгерметизации аммиакопровода, емкостей. *Исследования и разработки по созданию магистральных аммиакопроводов и складов жидкого аммиака: Труды ГИАП*, 57.
3. Згуровский, М.З., Скопецкий, В.В., Хрущ В.К., & Беляев Н.Н. (1997). *Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде*. Київ: Наук. думка.
4. Amelina, L. V., Biliaiev, M.M., & Mashykhina, P.B. (2017). Reducing ammonia concentrations in atmosphere after its unplanned release. *Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, 70(4), 16-22. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2017/109520>.
5. Amelina, L. V., & Biliaiev, M.M. (2017). Numerical simulation of air pollution in case of unplanned ammonia release. *Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, 69(3), 7-14. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104142>.
6. Biliaiev, M., & Kharitonov, M. (2013). The Numeric Forecast of Air Pollution Caused by a Blasting Accident in the Enterprise Responsible for Rocket Fuel Utilization in Ukraine. *Disposal of Dangerous Chemicals in Urban Areas and Mega Cities. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. Springer*, 120, 313-327. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-5034-0_25.