

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ

Новожилова М. В., Чуб І. А., Ісікова Н. П.

Оперативное определение параметров химической чрезвычайной ситуации и прогнозирования ее развития является важной проблемой, особенно в случае, когда источник загрязнения размещается в густонаселенном районе. В этом случае авария может привести к потерям среди незащищенного персонала и населения, что требует оперативного определения ее параметров в режиме реального времени. В работе предложено методическое обеспечение оценки параметров выброса газообразного опасного химического вещества. При определении концентрационного поля опасного химического вещества использовалась модель рассеивания Гаусса. Оценка параметров чрезвычайной ситуации и прогнозирования ее развития выполнялись на основе обработки данных от множества датчиков измерения концентрации газообразного опасного химического вещества.

Оперативне визначення параметрів хімічної надзвичайної ситуації та прогнозування її розвитку є важливою проблемою, особливо у випадку, коли джерело забруднення розміщується у густонаселеному районі. У цьому випадку аварія може привести до втрат серед незахищеного персоналу та населення, що потребує оперативного визначення її параметрів в режимі реального часу. В роботі запропоновано методичне забезпечення оцінки параметрів викиду газоподібної небезпечної хімічної речовини. При визначенні концентраційного поля небезпечної хімічної речовини використовувалася модель розсіювання Гаусса. Оцінка параметрів надзвичайної ситуації та прогнозування її розвитку виконувалися на основі обробки даних від множини датчиків вимірювання концентрації газоподібної небезпечної хімічної речовини.

The rapid identification of the parameters of a chemical emergency and the prediction of its expansion is an important problem, especially when the source of pollution is located in a densely populated area. In this case, the accident can lead to losses among unprotected personnel and the population, which requires the operative determination of its parameters in real time. The paper suggests methodological support for the estimation of the emission parameters of a gaseous hazardous chemical. When determining the concentration field of a hazardous chemical, the Gauss dispersion model was used. Estimation of parameters of an emergency situation and forecasting of its development were carried out on the basis of data processing from a set of sensors for measuring the concentration of gaseous hazardous chemical.

Новожилова М. В.

д-р фіз.-мат. наук, зав. каф. ХНУМГ

Чуб І. А.

д-р техн. наук, нач. каф. НУЦЗУ
igorchub1959@gmail.com

Ісікова Н. П.

канд. екон. наук, ст. викл. каф. ІСПР ДДМА

ХНУМГ – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків.

НУЦЗУ – Національний університет цивільного захисту України, м. Харків.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК 614.8

Новожилова М. В., Чуб І. А., Ісікова Н. П.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ

Рівень створених цивілізацією продуктивних сил та ступінь їх впливу на природу досягли таких масштабів, що це призвело до появи складних екологічних та соціальних проблем. Тому серед головних пріоритетних напрямків соціально-економічної політики України виділена необхідність підвищення техногенної та екологічної безпеки [1–3]. В матеріалах щорічних Національних доповідей про стан техногенної та природної безпеки в Україні [4] розкриваються напрями розвитку системи захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру, дається оцінка природних та техногенних загроз, розроблюються заходи щодо ліквідації НС та мінімізації їх наслідків.

На території України розташована велика кількість промислових підприємств. Третина з них відноситься до потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), на яких виробляються, зберігаються та транспортуються небезпечні хімічні речовини (НХР). Ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, зокрема хімічних аварій, на цих об'єктах постійно зростає, оскільки рівень зносу виробничого устаткування наближається до критичного. Визначення параметрів хімічної аварії на ПНО з можливим викидом НХР є багатокроковим процесом, тому що обстановка на місці аварії залежить від багатьох факторів, головними з яких є кількість та характеристики НХР, напрям та швидкість вітру, температура зовнішнього середовища, стан атмосфери, пора року, параметри рельєфу та щільність забудови тощо. Особливої важливості ця проблема набуває у випадку, коли ПНО розміщується у густонаселеному районі, і її вирішення повинно відбуватися у режимі реального часу. Зона хімічного забруднення може займати десятки квадратних кілометрів та покривати житлові райони, що призводить до втрат серед незахищеного персоналу та населення. У цих умовах оперативне визначення параметрів надзвичайної ситуації та прогнозування її розвитку є вкрай актуальним. Але, не зважаючи на значну практичну потребу, наявне в Україні методичне забезпечення оцінки розвитку хімічної аварії охоплює лише деякі часткові сторони проблеми і потребує подальшого розвитку.

Для кількісної оцінки наслідків хімічних аварій на промисловому об'єкті з викидом НХР в атмосферу запропоновано декілька методик, що враховують ті чи інші особливості аварії [5–7]. Широке поширення отримала методика ТОКСІ [5], в основі якої закладена гаусова модель дифузії пасивної хімічної домішки. Осадження НХР на підстилаючу поверхню і його хімічні перетворення не враховуються. Методика ТОКСІ дозволяє визначити просторово-часове поле концентрації НХР, розміри зон зараження. Вона використовується при розробці декларацій безпеки потенційно небезпечного об'єкта, при розробці планів щодо захисту персоналу та населення. Іншими, рекомендованими для практичного застосування в Україні, є методики [6–7] розрахунку поширення НХР в атмосферу за умов їх викиду в газоподібному або аерозольному станах.

При цьому слід відмітити, що усі вказані методики потребують для розрахунків великий обсяг інформації щодо параметрів джерела викиду, характеристик НХР, метеорологічних даних та стану атмосфери. Тому використання їх в умовах невизначеності та браку інформації пов'язане зі значними труднощами, а застосування у якості прогностичних не дозволяють структура побудови та особливості моделей.

Мета статті – розробка методики оцінки невідомих параметрів джерела викиду газоподібної НХР та прогнозування наслідків НС за результатами обмеженої кількості замірів концентрації НХР.

На відкритому технологічному майданчику в результаті надзвичайної ситуації з повною розгерметизацією ємності, яка містить аміак у газоподібному стані, відбувається викид газу з утворенням хмари НХР (первинної). Маса газу, що перейшла до хмари, невідома. Треба по обмеженій кількості замірів концентрації аміаку оцінити невідому масу викиду та розрахувати концентраційне поле НХР у приповерхневому шарі атмосфери (на висоті 1 м) за межами зони установки датчиків контролю.

Розташуємо систему координат таким чином, що початок координат O буде співпадати з джерелом викиду НХР, вісь OX направимо за напрямком вітру, вісь OZ – вертикально вгору, а вісь OY спрямуємо перпендикулярно осям OX і OZ так чином, щоб система координат була правою (рис. 1).

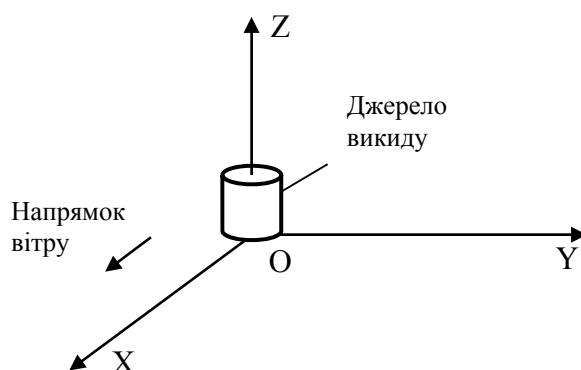


Рис. 1. Система координат

У якості математичної моделі виберемо модель розсіювання Гаусса, яка описує процес поширення легких НХР і визначення їх концентрації в приземному шарі атмосфери для відстаней до 10 км від точкового джерела [5].

Основне припущення моделі полягає в тому, що швидкість і напрямок вітру постійні і не змінюються при русі потоку. Відповідно до цієї моделі концентрація $c(x, y, z, t)$ при проходженні хмари ГПС (первинної) обчислюється за формулою [5]:

$$c(x, y, z, t) = \frac{M}{\frac{8}{3}\pi R^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_3(x, y, z, t), \quad (1)$$

де M – маса первинної хмари НХР, кг;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – дисперсія уздовж осей OX, OY, OZ відповідно, м;

R – радіус хмари НХР в початковий момент часу, м;

x, y, z – просторові координати, м;

t – час, с.

Функція $G_3(x, y, z, t)$ має вигляд:

$$G_3(x, y, z, t) = \exp\left(-\frac{x - u_{10}}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z - h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right],$$

де h – висота джерела газоподібного викиду, м;

u_{10} – швидкість вітру на висоті 10 м від поверхні землі, м/с.

При обчисленні функції $G_3(x, y, z, t)$, а також у всіх подальших розрахунках, використовуються значення $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ для точки, в якій знаходиться центр хмари НХР.

Дисперсія σ_x , σ_y , σ_z в залежності від віддаленості центру хмари НХР від джерела викиду вздовж напрямку вітру (тобто по осі ОХ) визначаються за формулами [5]:

$$\sigma_x = \frac{C_3 x}{\sqrt{1 + 0.0001x}}, \quad (2)$$

$$\sigma_y = \begin{cases} 0.96 + \frac{x}{13812u_{10}}, & \text{якщо } x/u_{10} \geq 600; \\ \sigma_x, & \text{якщо } x/u_{10} < 600; \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma_z = f(z_{нов}, x)g(x). \quad (4)$$

Функції $f(z_{нов}, x)$ і $g(x)$ обчислюються наступним чином:

$$g(x) = \frac{A_1 x^{B_1}}{1 + A_2 x^{B_2}}, \quad (5)$$

$$f(z, x) = \begin{cases} \ln[C_1 x^{D_1} (1 + C_2 x^{D_2})], & \text{якщо } z_{нов} < 0.1; \\ \ln\left[\frac{C_1 x^{D_1}}{1 + C_2 x^{D_2}}\right], & \text{якщо } z_{нов} \geq 0.1, \end{cases} \quad (6)$$

де коефіцієнти A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , C_1 , C_2 , C_3 , D_1 , D_2 визначаються відповідно до даних [5, табл. 3 і 4 Додаток 7].

Величина σ_z , розрахована за формулою (3.8), не повинна перевищувати величину σ_z , вказану в [5, табл. 5 Додаток 7]. Якщо це має місце, то замість величини, розрахованої за формулою (4), слід використовувати відповідне даному класу стійкості атмосфери значення з [5, табл. 5 Додаток 7].

Для розв'язання сформульованої задачі використовуємо метод, який складається з наступних етапів:

Етап 1. У заданих точках за допомогою датчиків вимірюється концентрація газоподібної НХР, що викидається зі зруйнованої ємності.

Етап 2. Проводиться оцінка невідомої маси викиду НХР.

Етап 3. Визначається оцінка похибки визначення невідомої маси викиду НХР.

Етап 4. Розраховується концентраційне поле НХР за межами зони розташування датчиків.

Оцінка невідомої маси викиду НХР (Етап 2) проводиться за наступним алгоритмом:

Шаг 2.1. За формулою, яка отримана із формули (1), визначається оцінка M_i невідомої маси НХР у викиді по даним вимірювання концентрації в точці з координатами (x_i, y_i) :

$$M_i = \frac{1}{G_3(x_i, y_i, z_i, t)} \left[\frac{8}{3} \pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \right] c(x_i, y_i, z_i, t), \quad (7)$$

де (x_i, y_i) – координати точок установки датчиків виміру концентрації газоподібної НХР, м;

z_i – висота установки датчиків над рівнем землі, $z_i = 1$ м; $i = 1, 2, \dots, I$.

Оцінка значень величин M_i проводиться для усіх I точок вимірювання та визначається вектор $M^* = \{M_i\}$.

Шаг 2.2. Проводиться усереднення величини M за усіма точками вимірювання:

$$M = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I M_i. \quad (8)$$

Величина M , яка отримана за формулою (8), вважається оцінкою невідомої маси викиду НХР.

Оцінка похибки визначення невідомої маси викиду НХР (Етап 3) проводиться за наступним алгоритмом:

Шаг 3.1. За формулами (1)–(6) у точках (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, I$, визначаються розрахункові значення $c_i^{розр}$ концентрації газоподібної НХР:

$$c_i^{розр}(x_i, y_i, 1, t) = \frac{M}{\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} G_3(x_i, y_i, 1, t). \quad (7)$$

Шаг 3.2. Визначається відносна похибка δ оцінки невідомої маси викиду НХР за формулою:

$$\delta = \max_i \left(\frac{|c_i^{розр} - c_i|}{c_i} \right). \quad (8)$$

Зауваження. Задача визначення кількості і взаємного розташування точок, в яких проводяться вимірювання, в рамках даної роботи не розглядається.

Розрахунок концентраційного поля НХР за межами зони контролю виконується згідно формул (1)–(6) для відповідних значень просторових координат і часу.

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано методичне забезпечення оцінки невідомої маси викиду газоподібного НХР за результатами вимірювання концентрації у заданій множині точок контролю та розрахунку концентраційного поля за межами зони контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов В. М. Модель адаптивной системы техногенной безопасности региона / В. М. Попов, И. А. Чуб, М. В. Новожилова // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2013. – Вып. 2(26). – С. 120–123.
2. Попов В. М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В. М. Попов, И. А. Чуб, М. В. Новожилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 2(20). – С. 32–41.
3. Чуб И. А. Определение параметров подсистемы профилактики системы обеспечения пожарной безопасности предприятия / И. А. Чуб, М. П. Федоренко, Е. А. Петрова // Научный вестник строительства. – 2007. – Вып 43. – С. 268–271.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2016 році. – Львів : ЛДУБЖ, 2012. – 359 с.
5. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «ТОКСИ»). – М. :НТЦ «Промышленная безопасность», 1993. – 19 с.
6. Беляев Н. Н. Методы экспресс расчета уровня загрязнения атмосферы / Н. Н. Беляев, Е. Д. Кореньюк, В. К. Хруц. – Днепропетровск : Наука и образование, 2002. – 192с.
7. Techniques and decision making in the assessment of off-site consequences of an accident in nuclear facility. – Safety series № 86, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1987.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017 р.