

*І.М. Неклонський, к.військ.н., доцент, НУЦЗУ*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВПЛИВІВ ХІМІЧНИХ АВАРІЙ ПІД ЧАС АВАРІЙНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ**

(представлено д.т.н. Соловійом В.В.)

З метою удосконалення аварійного прогнозування наслідків аварії з виходом небезпечних хімічних речовин в атмосферу запропоновано математичну модель оцінювання прогнозованих параметрів небезпечних впливів хімічної аварії, застосування якої дозволить врахувати ймовірнісний характер впливу токсиканту на персонал хімічно небезпечного об'єкту.

**Ключові слова:** хімічна аварія, небезпечна хімічна речовина, аварійне прогнозування, ефект ураження.

**Постановка проблеми.** Хімічна безпека в Україні пов'язана із наявністю об'єктів, де використовуються небезпечні хімічні речовини (НХР), виробнича діяльність яких може привести до забруднення довкілля та утворення небезпечних відходів. Відповідно [1] у зонах можливого хімічного забруднення мешкає більше 7 млн. чоловік, що складає близько 18 % від загальної кількості населення країни. Високий рівень хімічної небезпеки спостерігається в Дніпропетровській та Донецькій областях, підвищений рівень у Луганській, Харківській, Одеській та Запорізькій областях.

Підвищення рівня хімічної безпеки, додержання вимог щодо безпечного поводження з хімічними речовинами та запобігання їх незаконному обігу, виникненню хімічного забруднення і аварій потребує здійснення скоординованих запобіжних заходів під час виробництва, зберігання, транспортування, використання, торгівлі, вилучення з обігу та утилізації або знешкодження хімічних речовин.

З метою визначення основних шляхів і способів підвищення рівня хімічної безпеки в державі була затверджена Концепція [2], яка визначає, що відповідно до основних принципів міжнародного права у сфері хімічної безпеки та поводження з хімічними речовинами проблема підвищення рівня хімічної безпеки може бути розв'язана, перш за все, шляхом створення та сприяння функціонуванню системи забезпечення хімічної безпеки, запровадження безперервної оцінки ризику заподіяння шкоди життю і здоров'ю людей та довкіллю у процесі поводження з хімічними речовинами, вжиття заходів для зниження рівня зазначеного ризику; підвищення рівня науково-технічного забезпечення вирішення питань щодо хімічної безпеки.

В свою чергу, створення і сприяння функціонуванню системи забезпечення хімічної безпеки має забезпечуватись шляхом прогнозування, виявлення та оцінки потенційної загрози хімічного ураження території, промислових об'єктів, адміністративних будівель, приміщень загального призначення і населення, забруднення довкілля, планування витрат, необхідних для здійснення заходів щодо підвищення рівня хімічної безпеки та оцінки їх результативності. А науково-технічне забезпечення з питань хімічної безпеки передбачає, в тому числі, і моделювання аварійних ситуацій на підприємствах хімічної галузі з метою мінімізації ризику їх виникнення, розроблення плану заходів щодо ліквідації наслідків аварій.

З метою реалізації таких підходів для визначення єдиного порядку прогнозування хімічної обстановки при аваріях на промислових об'єктах і транспорті та підвищення якості планування заходів щодо захисту населення у разі виливу (викиду) НХР при аваріях на промислових об'єктах і транспорті затверджена Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [3] (Методика). Методика призначена для прогнозування масштабів забруднення при аваріях з НХР на промислових об'єктах, автомобільному, річковому, залізничному і трубопровідному транспорті і може бути використана для розрахунків на морському транспорті, якщо хмара НХР при аварії на ньому може дістати прибережної зони, де мешкає населення. За даною Методикою здійснюється як довгострокове так і аварійне прогнозування хімічної обстановки.

Разом з тим, у науковій і практичній діяльності знайшли своє відображення де більше результати довгострокового прогнозування хімічної обстановки за даною методикою. Що стосується аварійного прогнозування, яке здійснюється безпосередньо після виникнення аварії, то методика прогнозування не дає достовірного результату для визначення можливих наслідків насамперед для персоналу об'єкта. Суттєвим обмеженням у використанні Методики є те, що вона подається у вигляді таблиць, що унеможлиблює диференційовані аналітичні розрахунки і дає змогу оперативно здійснювати прогнозування тільки масштабів забруднення. Проблема використання даного методичного апарату для аварійного прогнозування полягає в тому, що він не враховує ймовірнісний характер ефекту ураження персоналу хімічно-небезпечного об'єкта. Таким чином, існуюча Методика потребує удосконалення.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* З метою удосконалення існуючої Методики в роботі [4] проведені аналітичні дослідження і системний аналіз існуючих підходів до прогнозування наслідків виливу (викиду) НХР на хімічно-небезпечних об'єктах, що дозволило суттєво вдосконалити підходи до прогнозування та, по суті, запропонувати нову Методику прогнозування. В розробленій Методиці розширений перелік НХР, наслідки виходу (вилливу) яких прогнозуються, враховані ландшафтні і кліматичні умови в осередку аварії. Це дозволяє суттєво підвищити

коректність прогнозу але не змінює кінцевий результат прогнозування. Тобто у розробленій, по суті, новій Методиці не враховується ймовірнісний характер ефекту ураження персоналу об'єкта в залежності від часу дії токсикантів на людину та місця її перебування в зоні хімічного забруднення.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є запропонувати математичний апарат оцінювання прогнозованих параметрів небезпечних впливів хімічної аварії, застосування якого дозволить врахувати ймовірнісний характер токсичного впливу НХР на персонал хімічно-небезпечного об'єкту.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути базисні підходи до ідентифікації негативних факторів та прогнозування й оцінювання можливих наслідків аварій. [5]

Незалежно від джерела виникнення всі НС мають різні фактори негативного впливу серед яких є токсична дія НХР. Одна й та сама міра впливу небезпечного фактора може викликати наслідки різної тяжкості у різних людей, тобто має ймовірнісний характер. Величина ймовірності ураження  $P_{yp}$  виражається, як правило, функцією Гауса, що має наступний вираз

$$P_{yp} = f(\Phi_{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

Для більш зручного представлення рішення рівняння (1) в табличній формі доцільно використовувати іншу форму даного рівняння

$$P_{yp} = f(\Phi_{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (2)$$

Верхньою межею інтеграла є пробіт-функція  $Pr$ , яка відображає зв'язок між ймовірністю ураження  $P_{yp}$  і дозою негативного впливу  $D$ :

$$Pr = a + b \cdot \ln D, \quad (3)$$

де  $a = \text{const}$ ,  $b = \text{const}$  – характеризують специфіку та міру безпеки впливу кожної небезпечної речовини або процесу.

Формулу (1) можна представити у вигляді

$$P_{yp} = 0,5 \cdot \Phi\left(\frac{Pr}{0,5}\right) + 0,5, \quad (4)$$

$$\text{де } \Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( x - \frac{x^3}{3} + \frac{1}{2!} \cdot \frac{x^5}{5} - \frac{1}{3!} \cdot \frac{x^7}{7} + \dots \right), x = \frac{\text{Pr}}{\sqrt{2}}.$$

Використовуючи відповідний підхід розглянемо специфіку токсичної дії НХР на організм людини. Токсичність НХР – це здатність проявляти вражаючу дію на організм, викликаючи певний ефект ураження – місцевий або загальний.

Основними характеристиками токсичних властивостей НХР є гранично допустима концентрація (ГДК), мг/м<sup>3</sup>, смертельна концентрація речовини, токсидоза (порогова, вражаюча, смертельна). Більш часто використовують наступні величини: LC<sub>50</sub> [мг/л] – середня смертельна концентрація, що викликає летальний результат у 50% уражених; LD<sub>50</sub> [мг хв./л] – середня смертельна токсидоза, яка викликає летальний результат у 50% уражених при тривалості експозиції для незахищеного населення 30 хвилин.

Тоді у випадку гострої токсичної дії на організм людини ймовірність ураження P<sub>ур.</sub> буде визначатись за формулою (1). Якщо ж людина перебуває в атмосфері з постійною концентрацією НХР значення пробіт-функції доцільно визначати за співвідношенням

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln(c^n \cdot \tau), \quad (5)$$

де c – концентрація токсиканта, ppm; τ – тривалість експозиції, хв.

Коефіцієнти a, b, n мають усереднене значення і приведені в довідникових базах даних [5].

Концентрація токсиканта (ppm) пов'язана з концентрацією c (мг/л) наступним співвідношенням

$$c_{\text{ppm}} = \frac{c \cdot (73,15 + t)}{12,18 \cdot M} \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

де t – температура речовини, °C; M – молекулярна маса токсиканта.

Крім того під час визначення ймовірності ураження P<sub>ур.</sub> персоналу хімічно небезпечного об'єкту необхідно розуміти, що розміщення людей в зоні хімічного забруднення (ЗХЗ) теж може мати випадковий характер. В такому випадку необхідно змоделювати ймовірність появи людини в k-тій точці ЗХЗ, де вона може отримати ураження відповідного ступеня тяжкості. Нехай ЗХЗ представляє простір P<sub>n</sub><sup>k</sup>(x, y). Тоді ймовірність появи людини в k-тій точці простору P<sub>n</sub><sup>k</sup>(x, y) можна визначити за формулою

$$P_n^k(x, y) = \frac{e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(x-x_k)^2}{\delta^2} + \frac{(y-y_k)^2}{\delta^2} \right]}}{2\pi\delta^2}, \quad (7)$$

де  $x_k, y_k$  – координати (точки) знаходження співробітників;  $x, y$  – координати ймовірного ураження (джерела небезпеки);  $\delta$  – параметр нормального розподілу подій аварій.

Таким чином, під час аварійного прогнозування наслідків аварії з НХР доцільно враховувати фактори негативного впливу аварії, які мають ймовірнісний характер, а саме: ймовірність появи людини в точці ЗХЗ, де вона може отримати ураження відповідного ступеня тяжкості; ймовірність ураження людини токсикантом.

**Висновки.** З метою удосконалення аварійного прогнозування наслідків аварії з виходом небезпечних хімічних речовин в атмосферу запропоновано математичний апарат оцінювання прогнозованих параметрів небезпечних впливів хімічної аварії, застосування якого дозволить врахувати ймовірнісний характер токсичного впливу токсиканту на персонал хімічно небезпечного об'єкту.

Аналіз та оцінювання прогнозованих параметрів небезпечних впливів хімічних аварій є багатофакторними й пов'язані з розв'язанням невизначеностей. В умовах реалізації методики аварійного прогнозування це вимагає застосування системного підходу, відповідного математичного апарату та програмного забезпечення, що неможливо без застосування сучасних інформаційних технологій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf>.

2. Про схвалення Концепції підвищення рівня хімічної безпеки: розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 грудня 2008 р. № 1571-р. // Офіційний вісник України. – 2008. – № 98. – 31 грудня. – С. 39.

3. Про затвердження Методики прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті: спільний наказ МНС України, Міністерства аграрної політики, Міністерства економіки, Міністерства екології і природних ресурсів від 27.03.2001р. № 73/82/64/122. // Офіційний вісник України. – 2001. – № 15. – 27 квітня. – С. 261.

4. Яцюк О.П. Прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин у разі аварій на хімічно небезпечних об'єктах. [Електронний ресурс] / О.П. Яцюк. // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України: електронний

науковий фаховий журнал. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2015. – № 8(57). – Режим доступу: [http://nd.nubip.edu.ua/2015\\_8/12.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2015_8/12.pdf).

5. Запорожець О.І. Цивільний захист [підручник] / О.І. Запорожець, В.О. Михайлюк, Б.Д. Халмурадов та інш. – К.: «Центр учбової літератури», 2016. – 264 с.

*Отримано редколегією 04.10.2017*

И.М. Неклонский

**Математическая модель оценки прогнозируемых параметров опасных воздействий химических аварий при аварийном прогнозировании**

С целью усовершенствования аварийного прогнозирования последствий аварий с выходом опасных химических веществ в атмосферу предложена математическая модель оценки прогнозируемых параметров опасных воздействий химической аварии, применение которой позволит учесть вероятностный характер воздействия токсиканта на персонал химически опасного объекта.

**Ключевые слова:** химическая авария, опасное химическое вещество, аварийное прогнозирование, эффект поражения.

I.M. Neklonskyi

**Mathematical model for estimating the predicted parameters of hazardous effects of chemical accidents in emergency forecasting**

With the purpose of improving the emergency forecasting of the consequences of accidents with the release of hazardous chemicals into the atmosphere, a mathematical model for estimating the predicted parameters of the hazardous effects of a chemical accident has been proposed, the application of which will allow for taking into account the probabilistic nature of the toxicant effect on the personnel of a chemically hazardous facility.

**Keywords:** chemical accident, dangerous chemical substance, emergency forecasting, effect of defeat.