

ТЕХНОЛОГІЯ ПОСТПРОГНОЗУВАННЯ ХІМІЧНОГО ЗАРАЖЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ ДАНИХ

Розглянуто задачу прогнозування наслідків хімічної аварії, зокрема визначення рівня концентрації небезпечної хімічної речовини в зоні зараження на основі нечітких даних. Як відповідну модель запропоновано використовувати нечітку нейромережу. Розроблено метод, що дозволяє за декількома вимірами концентрації небезпечної речовини уточнити як початкові значення параметрів аварії, так і саму модель.

Ключові слова: хімічна аварія, концентрація, нечітка нейромережа, прогнозування.

V.E. SNYTYUK, O.M. ZEMLYANSKIY

Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy State Technological University

POSTPREDICTION TECHNOLOGY OF CHEMICAL CONTAMINATION ENVIRONMENT WITH THE USE OF FUZZY DATA

Abstract – The predicting problem of chemical accidents consequences, including the level definition of a hazardous chemical concentration in the infected area on the basis of fuzzy data is considered.

As an appropriate model is proposed to use a fuzzy neural network. Shown that pre-accident model predict concentration construct is essential for timely and appropriate decision making. Method for concentration measuring of several hazardous substances precise the initial values of the accident and the model itself was developed. The technology for model specification after several measurements results in the post-accident period was proposed.

The use of the proposed technology will clarify the model determine the concentration of hazardous chemicals, more accurate prediction of its use, and to determine the initial values of the accident.

Keyword: chemical accident, concentration, fuzzy neural network, prediction.

Вступ

Останні десятиліття у світі відзначені рядом хімічних аварій з людськими жертвами, значним матеріальними збитками і екологічними втратами. Проблема хімічної безпеки особливо гостро присутня і в Україні, де хімічна промисловість поряд з металургійним виробництвом, енергетикою й сільським господарством займає провідне місце в структурі господарювання. Тисячі небезпечних хімічних об'єктів продовжують функціонувати, враховуючи зношеність основних фондів і інші, у т.ч. випадкові фактори, становлять небезпеку для людини і його середовища проживання. У таких умовах розв'язок задач прогнозування аварій і їх наслідків відіграють важливу роль при прийнятті розв'язків. Відзначимо, що в сучасній науковій літературі такі задачі слабо представлені. Їхній спектр носить загальний теоретичний характер при повній відсутності прив'язки до реальних об'єктів і ситуацій. Ілюстрацією такого підходу з однієї сторони є робота [1], де описане макропрогнозування інформаційних індексів екологічної безпеки з використанням нейромережевої моделі, і дисертація [2], у якій запропоновані моделі для здійснення моніторингу потенційно-небезпечних об'єктів на основі логіко-імовірнісного моделювання – з іншої сторони. Результати першої статті створюють інформаційний привід для висновків про рівень безпеки проживання в регіоні, моделі, запропоновані в [2], дозволяють оцінити ризики аварійної ситуації й можливі сценарії дій осіб, що приймають рішення.

На практиці після виникнення аварії проходить значний час, пов'язаний з розрахунками, обліком факторів, що впливають, розробкою сценарію дій, який найчастіше виявляється зовсім не оптимальним, внаслідок критичності часу на прийняття рішень. Крім того, відзначимо, що більшість хімічних аварій має дві складові (оперативну й довготривалу): по-перше, вони відбуваються, як правило, зненацька в результаті збігу обставин і їх наслідком є людські жертви й матеріальні збитки; по-друге, викид небезпечної хімічної речовини (НХР) приводить до забруднення навколишнього середовища й, як наслідок, знову до жертв і збитків, які відбуваються, на відміну від першого випадку, не негайно, а впродовж певного часу. Таким чином, прогнозування аварій має двоякий характер: прогнозування аварії як такої, що може статися, і прогнозування катастрофічних рівнів концентрації НХР у часі.

Метод прогнозування концентрації небезпечної речовини в зоні зараження з використанням експертних висновків

У післяаварійному випадку прогнозування наслідків аварії здійснюється розрахунковим методом з нанесенням на карту передбачуваних зон хімічного зараження. Розрізняють довгострокове й аварійне прогнозування. При довгостроковому прогнозуванні визначають масштаб можливого зараження, кількість і номенклатуру сил і засобів для ліквідації наслідків аварії, складають план роботи. Аварійне прогнозування здійснюється після аварії за даними розвідки, що дозволяє визначити наслідку аварії й порядок дій у зоні можливого зараження.

Основними факторами, які враховуються при прогнозуванні, є:

- загальна кількість небезпечної речовини в смості або трубопроводі (M);
- діаметр отвору розгерметизації (D);
- висота отвору розгерметизації (H);
- температура повітря (T);
- швидкість вітру (V);

- напрямок вітру (R).

Якщо розлив речовини здійснюється в піддон, то враховується і його висота (H_p).

Традиційне прогнозування здійснюється на час не більш ніж 4 години, після чого прогноз повинен бути уточнений. У більшості випадків НХР є аміак або хлор.

Визначення концентрації НХР після аварії виконується за допомогою розрахунків і моделей, що мають лінійний характер. Основними розрахунковими результуючими характеристиками є: кількість НХР у первинному й вторинному хмарах, глибина зони зараження (повна, гранично можлива, залишкова), форма й площа зони зараження, час підходу хмари. При таких показниках складно зорієнтуватися й прийняти швидкий адекватний розв'язок по евакуації населення й вживанню заходів безпеки, оскільки не визначається концентрація НХР і не показується її динаміка. Таким чином, очевидно, що процеси прийняття рішень по мінімізації наслідків аварії супроводжуються значною інформаційною невизначеністю.

Її зменшення пропонується здійснити у два етапи. На першому етапі використовуємо експертні висновки. Розглянемо найпростішу постановку задачі й метод її розв'язку. Припустимо, що аварія може відбутися на деякому підприємстві (Π) (рис. 1). Його просторове розміщення визначається областю $\Omega = \{(x, y) / x \in [A, B], y \in [C, D]\}$. Координату z вважаємо рівної нулю як зневажливо малу в порівнянні зі значеннями плоских координат. Усередині підприємства існує область Ξ , у точках якої може відбутися аварія, $\Xi = \{(x, y) / x \in (a, b), y \in (c, d), 0 \leq a < A, 0 < b \leq B, 0 \leq c < C, 0 < d \leq D\}$. Припустимо, що у випадку аварії зона ураження має максимальну глибину R , що визначає сектор, у межах якої й буде проводитися визначення концентрації НХР. У період часу, що передує аварії, необхідно ідентифікувати залежність:

$$C = F(P), \tag{1}$$

де C – концентрація НХР. Вектор параметрів і факторів P має таку структуру:

$$P = (x_0, y_0, z_0, t_0, x, y, t, M, D, H, T, V, R),$$

де (x_0, y_0, z_0, t_0) – координати точки й час виникнення аварії;

(x, y, z, t) – координати точки, у якій визначається концентрація небезпечної речовини і відповідний час (може бути як абсолютним, так і часом після виникнення аварії).

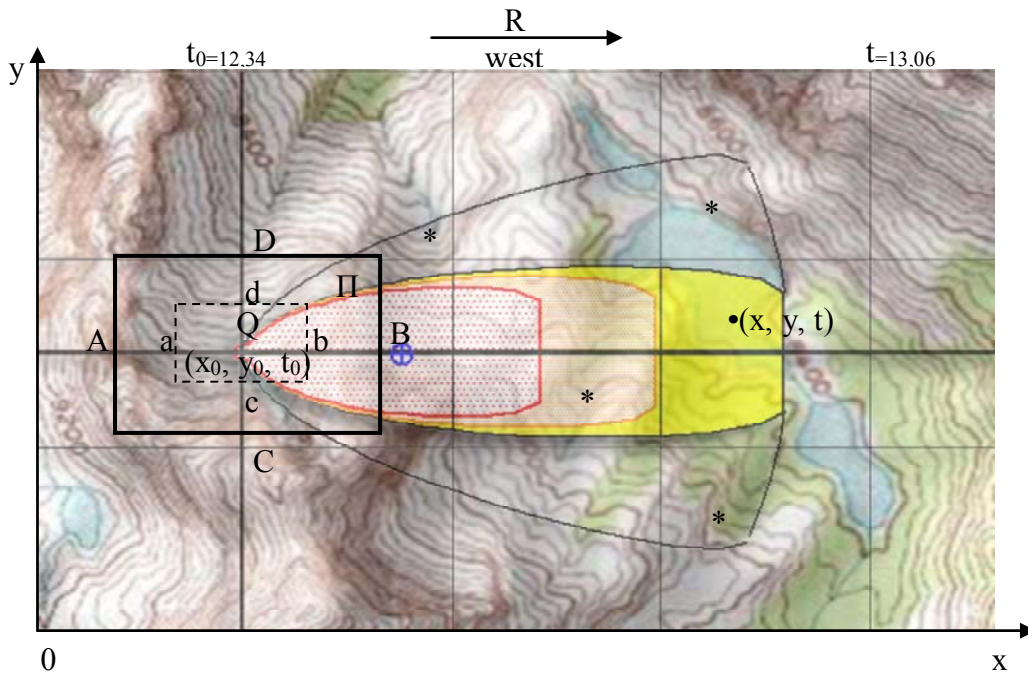


Рис. 1. Хімічний об'єкт і прогнозовані зони зараження

Таким чином, на момент аварії серед компонентів вектора P є величини, значення яких точно відомі (H_p), відомі або передбачаються експертом ($(x_0, y_0, z_0, t_0) M, T, V, R, D, H$), передбачаються експертами. Враховуючи особливості компонентів вектора P , модель (1) представимо в дискретно-безперервній формі

$$C = \begin{cases} f_1(Q), & \text{якщо } P_{const} \in H_1, \\ f_2(Q), & \text{якщо } P_{const} \in H_2, \\ \dots \\ f_n(Q), & \text{якщо } P_{const} \in H_n, \end{cases} \tag{2}$$

де P_{const} – елементи вектора P , значення яких відомі точно; $Q = P \setminus P_{const}$ – елементи вектора P , значення яких визначаються експертним шляхом. Ідентифікація функцій $f_i(Q)$ є передумовою для проведення сценарного аналізу можливих дій [3] при різних варіантах виникнення аварій.

У загальному випадку припустимо, що кількість факторів, значення яких визначаються експертним шляхом і мають різний характер, рівно m . Позначимо їх X_1, X_2, \dots, X_m . Розглянемо випадок, коли висновки про значення факторів робить один експерт. Тоді математична модель кожної з функцій $f_i(Q)$ є сукупністю нечітких продукційних правил:

$$\begin{aligned} & \text{Якщо } x_1 \in A_1^1 \ \& \ x_2 \in A_2^1 \ \& \dots \ \& \ x_m \in A_m^1, \text{ то } c \in C^1, \\ & \text{інакше, якщо } x_1 \in A_1^2 \ \& \ x_2 \in A_2^2 \ \& \dots \ \& \ x_m \in A_m^2, \text{ то } c \in C^2, \\ & \dots\dots\dots \\ & \text{інакше, якщо } x_1 \in A_1^k \ \& \ x_2 \in A_2^k \ \& \dots \ \& \ x_m \in A_m^k, \text{ то } c \in C^k, \end{aligned} \tag{3}$$

де k – кількість точок експерименту, A_i^j – нечітка множина із відповідною функцією належності (ФН) його значення i -го фактора в j -м експерименті, C^j – нечітка множина із ФН, що визначає концентрацію небезпечної речовини в j -м експерименті, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, k}$. Вибір типу ФН здійснимо, виходячи з наступних міркувань і фактів:

- носій ФН $\text{supp } \mu_A(X)$ містить у собі область значень X , тобто $E(X) \subset \text{supp } \mu_A(X)$, що гарантує адекватне застосування нечіткого виводу;
- функція належності може мати трапецієподібний або гаусівський вид, що впливає з розмитості й некритичності експертних висновків;
- для нечіткого логічного виводу у формі Мамдані з використанням гаусівських функцій приналежності доведена теорема про апроксимацію нечіткою системою типу (3) будь-якої безперервної функції (при виконанні деяких додаткових умов) [4];
- якщо використовуються трапецієподібна ФН, те їх параметри повинні бути відомі;

Модель (3) може використовуватися у двох випадках. У першому випадку всі ФН структурно й параметрично ідентифікуються експертом, тобто $\mu_{A_i^j}(x_i)$ й $\mu_{C^j}(c)$ – відомі, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, k}$. Тоді, задаючи значення (x_1, x_2, \dots, x_m) , з використанням нечіткого логічного виводу у формі Мамдані можна визначити прогнозне значення концентрації як результуючу нечітку множину із ФН

$$\mu_C(c) = \max_j \{ \min_i \{ \mu_{A_i^1}(x_1), \mu_{A_i^2}(x_2), \dots, \mu_{A_i^m}(x_m), \mu_{C^j}(c) \} \}. \tag{4}$$

Отримана функція $\mu_C(c)$ у своїй області визначення є ламаною лінією достатнього складного виду. Її значення відбивають міру упевненості експерта в рівні концентрації НХР. Для локалізації й уточнення експертного висновку необхідно провести дефазифікацію нечіткої величини (рівня концентрації НХР) центроїдним методом і одержати найбільш можливе її значення:

$$c^* = \int_{c_1}^{c_2} c \mu_C(c) dc / \int_{c_1}^{c_2} \mu_C(c) dc, \tag{5}$$

де $c_1 = \min \{ c / c \in \text{supp } \mu_C(c) \}$, $c_2 = \max \{ c / c \in \text{supp } \mu_C(c) \}$. Розв'язуючи задачі (4)-(5), можна визначити рівень концентрації НХР у будь-якій можливій точці розглянутої області.

У другому випадку ФН є структурно ідентифікованими, безперервними, диференційованими, але з невідомими параметрами. Найчастіше в ролі таких функцій виступають гаусівські функції

$$f(x) = \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x-m}{\sigma})^2], \text{ де } m \text{ й } \sigma - \text{їх параметри. Такі функції присутні в антецедентах моделі (3). З}$$

консеквентом у цьому випадку не всі так однозначно як у моделі (3). Оскільки в остаточному підсумку необхідно знайти ФН для значень концентрації НХР або найбільш можливе її значення, то використання в консеквенті трикутних, трапецієподібних, гаусівських і подібних функцій утруднене, оскільки в зазначених випадках одному значенню ФН можуть відповідати два або більш значення аргументу. У таких випадках ідентифікована залежність може бути визначена неоднозначно.

Відомо, що для розв'язку задач ідентифікації й прогнозування найбільше часто використовується нечіткий логічний вивід у формі Мамдані, Цукамото, Такажі й Сугено, Ларсена й спрощений логічний вивід [5]. Модель (3) відповідає нечіткому логічному виводу у формі як Мамдані, так і Ларсена, що відрізняються лише способом одержання функції приналежності $\alpha \wedge \mu_A(x)$, де $\alpha \in [0, 1]$.

У випадку виводу у формі Мамдані $\mu_{\alpha \wedge \mu_A(x)} = \min\{\alpha, \mu_A(x)\}$, для виводу у формі Ларсена $\mu_{\alpha \wedge \mu_A(x)} = \alpha \cdot \mu_A(x)$. І в першому, і в другому випадках ФН консеквента можуть бути довільними. Для нечіткого виводу у формі Такажі й Сугено консеквент є зваженою сумою значень аргументів антецедента. Зазначені особливості моделі не дозволяють, у загальному випадку, використовувати нечіткий логічний вивід у розглянутих формах.

У нечіткому логічному виводі Цукамото ФН консеквента повинна бути монотонно зростаючою, що гарантує її однозначність, як і у випадку спрощеного логічного виводу, де консеквентом є константа. Таким чином, спрощений логічний вивід і вивід у формі Цукамото можна використовувати при розв'язку задачі ідентифікації (1), (2).

Вихідними даними є результати аналітичних розрахунків з урахуванням експертних коректувань різного

Таблиця 1

Вихідні дані (фрагмент)

№ п/п	Швидкість вітру, м/с	Напрямок вітру, град.	Температура повітря, °C	Маса речовини, кг	Діаметр отвору, м	Висота отвору, м	x_0	y_0	t_0	x	y	t	C
1	1	45	25	7,46	10	10	20	30	5	2130	1230	44	30
2	2	60	-10	12,4	5	6	20	30	5	8360	980	50	0,75
...
20	4	25	12	69,2	15	3	20	30	5	8760	2720	17	0,02

Характер вихідних даних і тип задачі вказують на доцільність для її розв'язку й ідентифікації (1) використання нечіткої нейронної мережі ANFIS (Adaptive Network Based Inference System), запропонованої J.-S. R. Jang в 1993 році [4], у якій реалізуємо нечіткий логічний вивід у формі Цукамото. Функції належності antecedента є гаусівськими із двома параметрами, ФН консеквента можуть бути зростаючими, типу $y = \sqrt{x}$, $y = x^n$ на розсуд експерта. Причому, $y = A + B\sqrt{x}$, $y = A + Bx^n$, де $y \in [0,1]$.

Навчаючи нейронечітку мережу, вирішуємо задачі параметричної ідентифікації й знаходимо значення параметрів усіх ФН. Задачі ідентифікації вирішується в доаварійний період, оскільки вона вимагає значних тимчасових витрат на збір даних, проведення аналітичних розрахунків і ідентифікацію шуканої залежності.

При аварії досить на вхід моделі подати значення її параметрів і одержати значення концентрації ФН у будь-якій внутрішній точці області навчання нечіткої нейромережі.

Технологія постпрогнозування концентрації небезпечної хімічної речовини в післяаварійний період

Внаслідок різних причин відразу ж після аварії важко, а іноді й неможливо визначити значення, що характеризують її параметрів. Тому велика ймовірність помилки визначення концентрації НХР, виходячи з результатів обчислень із використанням моделі (навченої мережі ANFIS), де вихідні дані є не точними, а передбачуваними. Тоді в деякій точці $A(x, y, t)$ фахівці здійснюють вимір рівня концентрації небезпечної речовини. Якщо $|C_{вим} - C_{мод}| < \varepsilon$, де $C_{вим}$ – вимірне значення, $C_{мод}$ – ідентифіковане значення, ε – позитивне задане число, то модель досить точно відображає реальний розподіл концентрації НХР. У випадку, якщо таке відхилення перевищує ε і вимір здійснений точно, можна зробити висновок про неточність припущених значень одного або більш вихідних параметрів аварії.

Для уточнення значень параметрів будемо використовувати евристики:

1. Значення концентрації НХР і зона зараження при зміні температури на невелике значення $T \pm \Delta T$ суттєво не зміниться ($\Delta T \in (0,5)$, °C).

2. Зменшення швидкості вітру приводить до збільшення концентрації НХР у точці виміру й збільшенню зони зараження.

3. Зменшення ступеня заповнення резервуара приводить до зменшення концентрації НХР у зоні зараження.

4. Зменшення діаметра отвору розгерметизації зменшує значення концентрації НХР у зоні зараження.

5. Зменшення висоти отвору приводить до збільшення концентрації НХР у зоні зараження.

Останні три пункти можна звести до одного. Якщо в резервуарі була менша кількість НХР, або діаметр отвору розгерметизації був менше, або висота отвору розгерметизації була вище, то концентрація НХР буде менше передбачуваною.

Припустимо, що обмірюване значення $C_{вим}$ значне відрізняється від значення $C_{мод}$, отриманого з використанням моделі. Оскільки однозначний вивід по одному виміру зробити неможливо, внаслідок декількох причин, які можуть приводити до отриманого значення, необхідно проводити додаткове дослідження. Приведемо його основні кроки. Припустимо, що існує можливість провести одночасно два виміри в різні моменти часу в одній точці. Результати вимірів позначимо $C_{вим}^1$ й $C_{вим}^2$, для зазначених крапок відповідні ідентифіковані з використанням моделі значення – $C_{мод}^1$ і $C_{мод}^2$.

Якщо $|C_{вим}^1 - C_{вим}^2| = |C_{мод}^1 - C_{мод}^2|$, то це буде свідчити про збереження обмірюваних і змодельованих приростів концентрації. Отже, неправильним є припущення про час аварії. Для визначення напрямку його корекції запишемо продукційні правила:

1. Якщо $(C_{вим}^1 < C_{мод}^1) \& (C_{вим}^2 < C_{мод}^2) \& (C_{мод}^1 < C_{мод}^2) \& (C_{вим}^1 \leq C_{вим}^2)$, то $V_e \& W_1$.

2. Якщо $(C_{вим}^1 < C_{мод}^1) \& (C_{вим}^2 < C_{мод}^2) \& (C_{мод}^1 > C_{мод}^2) \& (C_{вим}^1 < C_{вим}^2)$, то $V_e \& W_2$. (6)

3. Якщо $(C_{вим}^1 > C_{мод}^1) \& (C_{вим}^2 > C_{мод}^2) \& (C_{мод}^1 > C_{мод}^2) \& (C_{вим}^1 < C_{вим}^2)$, то $V_e \& W_2$.
 4. Якщо $(C_{вим}^1 > C_{мод}^1) \& (C_{вим}^2 > C_{мод}^2) \& (C_{мод}^1 > C_{мод}^2) \& (C_{вим}^1 \geq C_{вим}^2)$, то $V_e \& W_2$.
- Якщо збільшення концентрації НХР суттєво різняться, то мають місце такі правила:
5. Якщо $(C_{вим}^1 = C_{вим}^2 = 0) \& (0 < C_{мод}^1 < C_{мод}^2)$, то $(V_e \& W_1) \vee (V_v \& W_1)$.
 6. Якщо $(C_{вим}^1 = C_{вим}^2 = 0) \& (0 < C_{мод}^2 < C_{мод}^1)$, то $(V_e \& W_2) \vee (V_v \& W_2)$.
 7. Якщо $(C_{мод}^1 = C_{мод}^2 = 0) \& (0 < C_{вим}^1) \& (0 < C_{вим}^2)$, то $(V_e \& W_2) \vee (V_v \& W_2)$. (7)
 8. Якщо $((C_{вим}^1 < C_{вим}^2) \& (C_{мод}^1 < C_{мод}^2)) \& (|C_{вим}^1 - C_{вим}^2| < |C_{мод}^1 - C_{мод}^2|)$, то $(V_w \& W_1) \& (V_v \& W)$.
 9. Якщо $((C_{вим}^1 > C_{вим}^2) \& (C_{мод}^1 > C_{мод}^2)) \& (|C_{вим}^1 - C_{вим}^2| < |C_{мод}^1 - C_{мод}^2|)$, то $V_w \& W_2$.
 10. Якщо $(C_{вим}^1 < C_{вим}^2) \& (C_{мод}^1 > C_{мод}^2) \& (|C_{вим}^1 - C_{вим}^2| < |C_{мод}^1 - C_{мод}^2|)$, то $V_v \& W_2$.

У правилах (6), (7): V_e – «аварія трапилася раніше», V_w – «кількість рідини в ємності або швидкість її витоку були менше», V_v – «швидкість вітру була менше», W_i – «необхідно використовувати i -у частина моделі, $i = \overline{1,2}$ ». Для застосування другого, третього й восьмого правил через неоднозначність консеквента виміри необхідно проводити в точках t_1 і t_2 , де $\arg \max_t C_{мод} < t_1 < t_2$. У перших двох випадках перевіряють виконання продукційних правил і ухвалюють відповідне рішення; якщо для восьмого випадку будуть виконані умови правила 9, то має місце V_w . При виконанні умов сьомого правила встановити однозначно, має місце V_e або V_w неможливо.

Перейдемо до моделювання, виконавши кілька спрощувальних припущень, не обмежуючи разом з тим спільності. Оскільки зміна температури повітря у відносно невеликому діапазоні незначно впливає на концентрацію небезпечної речовини, вилучимо температуру з розгляду (з моделі (3)). Напрямок вітру можна врахувати, знаючи швидкість вітру, координати точки аварії й координати точки виміру концентрації, шляхом нескладних перетворень. Помітимо, що найчастіше вимірюють концентрацію уздовж прямої, що проходить через точку аварії по напрямкові вітру. Припустимо також, що точка виникнення аварії точно відома.

Таким чином, одержимо модель у вигляді сукупності нечітких продукційних правил такого виду:
Якщо

$$v \in V_i \& m \in M_i \& d \in D_i \& h \in H_i \& x \in X_i \& y \in Y_i \& t \in T_i, \text{ то } c \in C_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Для проведення експериментів розглянути висновки одного експерта про 20 варіантів значень параметрів-атрибутів аварії й точок визначення концентрації небезпечної речовини. Моделлю ідентифікованої залежності, обумовленої правилами (8), є нейронечітка мережа ANFIS [4], структура якої зображена на рис. 2. Вибір саме такої мережі обґрунтований особливостями вихідної інформації й розв'язуваної задачі. ANFIS функціонує в такий спосіб.

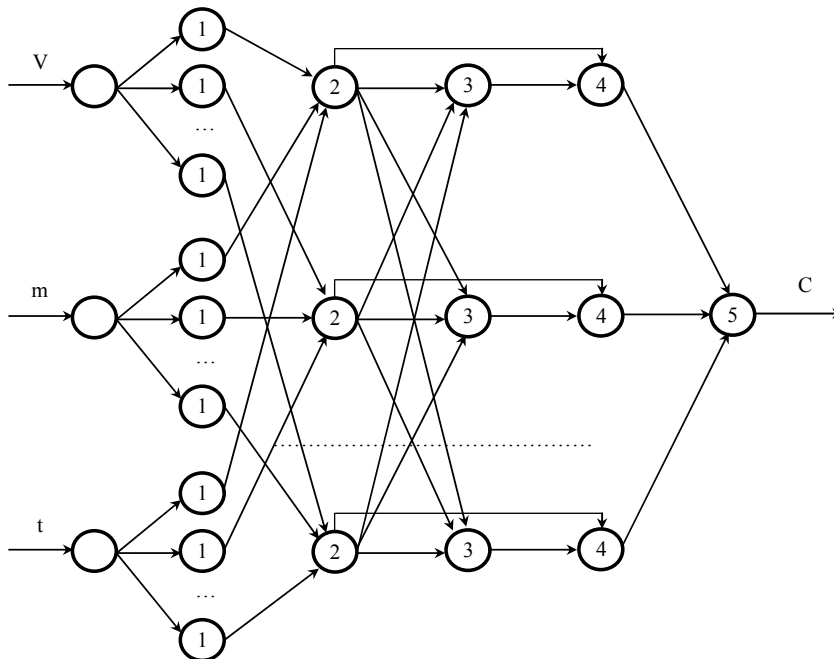


Рис. 2. Структура мережі ANFIS з алгоритмом виводу Цукamoto

У нейронах першого шару здійснюється фазифікація значень факторів: $z_j \rightarrow \mu_{z_j}(z_j) = \exp(-(z_j - m_j^i)^2 / (\sigma_j^i)^2)$, де m й σ – параметри. У другому шарі обчислюються

значення параметрів істинності кожного правила (8) $\alpha_i = \min\{Z_i^1(z_1), Z_i^2(z_2), \dots, Z_i^7(z_7)\}$, $i = \overline{1, 20}$. Далі знаходимо відносну важливість правил: $\bar{\alpha}_i = \alpha_i / \sum_{i=1}^{20} \alpha_i$. У нейронах четвертого шару розраховуємо добуток $\bar{\alpha}_i \cdot C_i^{-1}(c_i)$ і

нейрон останнього шару призначений для знаходження суми $\sum_{i=1}^{20} \bar{\alpha}_i \cdot \mu_{C_i}^{-1}(\bar{\alpha}_i)$. Відомо, що концентрація небезпечної речовини до певного моменту часу підвищується, а потім – зменшується. Тому, як уже було зазначено вище, функція належності консеквента буде кусково-безперечною

$$\mu_{C_i}(c_i) = \begin{cases} \exp[-(c_i / \sigma_i)^2], & \text{якщо } t \in (0, \arg \max_i C(t, const)), (W_1) \\ 1 - \exp[-(c_i / \sigma_i)^2] (W_2), & \text{якщо } t > \arg \max_i C(t, const), (W_2) \end{cases} \quad (9)$$

де максимальне значення концентрації шукається за часом при постійних значеннях інших факторів.

Для навчання нейронечіткої мережі ANFIS були обрані гібридний метод (комбінація методу найменших квадратів з алгоритмом зворотного поширення помилки (ГМ)) [4, 5], класичний генетичний алгоритм із елітним методом формування нової популяції (ГА) [6] і багатомірний аналог методу Evomax (EM) [7], в основі якого лежить композиція еволюційних стратегій [8], елементів теорії нечітких множин [9] і методу аналізу ієрархій Т. Сааті [10].

Оскільки в такому завданні кількість параметрів, значення яких необхідно визначити, є порівняно більшим (близько 300), то значна їхня частина задавалася експертами. Зокрема, були відомі значення всіх параметрів σ , а також більшість значень m для антецедентів. Невідомими залишилися значення одного параметра m в кожному правилі (8). Критерієм зупинки всіх трьох алгоритмів було виконання умови

$$\max_{i,j} |C_i - C_j| < 0,001 \quad (10)$$

в одній популяції, де C_k – концентрація НХР, що відповідає k -му потенційному розв'язку (концентрації НХР). Навчена нечітка нейромережа є моделлю, за допомогою якої можна визначити концентрацію НХР у будь-якій точці області зараження, знаючи вихідні параметри аварії. Оскільки вихідні дані для її навчання отримані шляхом експертних висновків, то модель, найчастіше, містить помилки. У випадку аварії в зону зараження виїжджають фахівці й проводять виміри концентрації НХР як мінімум два рази в одній точці ($C_{вим}^1$ і $C_{вим}^2$) через деякий інтервал часу. Така вимога обумовлена пропонованим методом і тим, що прилади-газоаналізатори характеризуються деякою інерційністю. Отримані результати носять характер контрольної вибірки. Якщо має місце розбіжність між значеннями, обмірюваними й отриманими за допомогою моделі ($C_{мод}^1$ і $C_{мод}^2$), то за допомогою правил (6), (7) встановлюємо параметр, значення якого необхідно скорегувати. Для цього фіксуємо дані експерименту крім значення зазначеного параметра й, коректуючи його (iter – кількість ітерацій), домагаємося максимального збігу «модельного» і експериментального значення концентрації. Тоді в табл. 1 на отриману величину коректуємо всі значення такого параметра й проводимо перенавчання мережі.

Результати моделювання наведені в табл. 2, де σ – середнє відносне відхилення (у відсотках) обмірюваних і отриманих за допомогою моделі значень концентрації НХР. Його аналіз указує на те, що найбільш адекватною є модель, отримана за допомогою методу Evomax. Підстроювання цієї моделі здійснюється, у середньому, за найменший час і відхилення значень, отриманих з використанням відкоректованої моделі від обмірюваних, є найменшим. Такий результат є очікуваним, оскільки в основі методу Evomax лежить хоч і випадковий, але спрямований пошук оптимального розв'язку, здійснюваний за допомогою протекціонізму перспективним розв'язкам, обумовленим за значеннями ФН із використанням методу аналізу ієрархій.

Таблиця 2

Результати моделювання

$C_{вим}^1$	$C_{вим}^2$	ГМ		ГА		EM		ГМ		ГА		EM	
		$C_{мод}^1$	$C_{мод}^2$	$C_{мод}^1$	$C_{мод}^2$	$C_{мод}^1$	$C_{мод}^2$	iter	$C_{вим}^1$	iter	$C_{вим}^1$	iter	$C_{вим}^1$
20	24	18	25	19	23	21	25	14	21	12	21	10	20,1
0,5	0,3	0,4	0,1	0,55	0,45	0,54	0,48	5	0,48	7	0,46	5	0,52
2	4	2,5	4,3	2,2	3,4	2,1	3,9	7	2,1	6	1,8	5	2,05
40	34	42	38	44	35	42	35	12	39	8	40,5	4	39
20	18	17	16	21	16	21,5	17,5	4	20	6	18,5	5	19,5
σ (%)		15		8		6,1			3,3		6,4		2,4

Висновок

Точність розв'язку задачі прогнозування наслідків хімічних аварій є необхідною умовою проведення заходів щодо порятунку людей, мінімізації матеріального збитку й запобігання екологічних катастроф. Критичні умови прийняття рішень, особливості кожної аварії й рельєфу місцевості, інерційність газоаналізаторів і лінійність методів розрахунків концентрації НХР є причиною малоефективних прогнозів. Застосування запропонованої технології постпрогнозування для окремих хімічних об'єктів дозволить уточнити моделі значення концентрації НХР, підвищити точність прогнозування з її використанням, а також визначити початкові значення параметрів аварії. Помітимо, що така технологія в статті наведена з деякими спрощеннями,

зокрема, точка виникнення аварії є постійною й експертом зроблений неправильний вивід тільки про значення одного параметра. І хоча такі припущення, найчастіше, мають місце на практиці, метод постпрогнозування концентрації НХР може бути застосований й у загальному випадку зі збільшенням кількості продукційних правил типу (6), необхідних точок виміру й часу моделювання.

Література

11. Рак Ю.П. Моделювання інформаційних індексів екологічної безпеки засобами нейронних мереж в управлінні проектами модернізації системи безпеки життєдіяльності / Ю.П. Рак, О.Б. Зачко // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2008. – № 2(18). – С. 22-29.
12. Мосягин А.А. Мониторинг потенциально опасных объектов на основе логико-вероятностного моделирования : автореф. дисс... канд. техн. наук : 05.13.10 / А.А. Мосягин. – М., 2009. – 28 с.
13. Згуровский М.З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наук. думка, 2005. – 743 с.
14. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems / J.-S.R. Jang // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665-685.
15. Зайченко Ю. П. Основи проектування інтелектуальних систем / Ю. П. Зайченко. – К.: Видавничий Дім "Слово", 2004. – 352 с.
16. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / J. H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
17. Снитюк В.Є. Спрямована оптимізація і особливості еволюційної генерації потенційних розв'язків / В.Є. Снитюк // Матеріали V Міжн. школи-семінару «Теорія прийняття рішень», Ужгород (1-6 жовтня 2012). – С. 182-183.
18. Rechenberg I. Evolutionsstrategie '94 / I. Rechenberg. – Stuttgart: Frommann-Holzboog, 1994. – 434 с.
19. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
20. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

References

1. Rak Yu.P. Modeliuvannya informatsiinykh indeksiv ekolohichnoi bezpeky zasobamy neuronnykh merezh v upravlinni proektamy modernizatsii systemy bezpeky zhyttiedialnosti / Yu.P. Rak, O.B. Zachko // Naukovyi visnyk UkrNDIPB. – 2008. – # 2(18). – S. 22-29.
2. Mosiahyn A.A. Monytorynh potentsyalno opasnykh ob'ektoiv na osnove lohyko-veroiatnostnoho modelyrovanyia : avtoref. dyss... kand. tekhn. nauk : 05.13.10 / A.A. Mosiahyn. – M., 2009. – 28 s.
3. Zghurovskiy M.Z. Systemnyi analiz. Problemy, metodolohyia, prylozhenyia / M. Z. Zghurovskiy, N.D. Pankratova. – K.: Nauk. dumka, 2005. – 743 s.
4. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems / J.-S.R. Jang // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665-685.
5. Zaichenko Yu. P. Osnovy proektuvannya intelektualnykh system / Yu. P. Zaichenko. – K.: Vydavnychiy Dim "Slovo", 2004. – 352 s.
6. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / J. H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
7. Snytiuk V.Ye. Spriamovana optymizatsiia i osoblyvosti evoliutsiinoi heneratsii potentsii-nykh rozv'iazkiv / V.Ye. Snytiuk // Materialy V Mizhn. shkoly-seminaru «Teoriia pryiniattia rishen», Uzhhorod (1-6 zhovtnia 2012). – S. 182-183.
8. Rechenberg I. Evolutionsstrategie 94 / I. Rechenberg. – Stuttgart: Frommann-Holzboog, 1994. – 434 s.
9. Borysov A.N. Pryniatye reshenyi na osnove nechetyknykh modelei: prymery yspolzovanyia / A.N. Borysov, O.A. Krumberh, Y.P. Fedorov. – Ryha: Zynatne, 1990. – 184 s.
10. Saaty T. Pryniatye reshenyi. Metod analiza yerarkhyi / T.Saaty. – M.: Radyo y sviaz, 1993. – 278 s.

Рецензія/Peer review : 11.10.2013 р. Надрукована/Printed :23.11.2013 р.
Рецензент: Рудницький В.М., д.т.н., проф. Черкаського державного національного університету