

## ОЦІНКА ХАРАКТЕРУ І НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ НА ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ СТАЦІОНАРНОГО ТИПУ

### Вступ

Техногенна екологія сьогодення – проблема планети в цілому і, в першу чергу, промислових центрів і великих міст. Технологічні аварії складають більше 70% загальної кількості надзвичайних подій, і майже кожна десята з них є викид хімічно небезпечних речовин (ХНР) [1, 2].

Якщо не можна уникнути надзвичайної події (технологічної аварії), то принаймні важливо знати, що нас чекає після її скоєння, які будуть наслідки. Вміння прогнозувати характеристики надзвичайної події дає можливість завчасно підготуватися до ліквідації її наслідків, більш обґрунтовано забезпечити і розподілити наявні ресурси, що дасть можливість ліквідувати фактичні людські втрати, зберегти матеріально-технічні цінності та захистити навколишнє середовище.

Саме питанню прогнозування характеру протікання і наслідків надзвичайної події на хімічно небезпечних об'єктах і присвячена ця стаття.

У цьому випадку розв'язуються, як мінімум, дві задачі:

- задача визначення повної зони зараження місцевості (район аварії і поширення хмари у напрямку вітру) [3];
- задача визначення ступеня зараження навколишніх населених пунктів (НП).

У даній статті наведено:

- алгоритми розв'язку другої задачі;
- мажорантні оцінки обчислення густини зараження, радіусу аварії і глибини поширення ХНР першої задачі.

Як правило, район аварії моделюється колом певного радіусу в зоні аварії і наступним поширенням зараження в секторі напрямку вітру (сектор поширення – кут, утворений двома променями, що виходять з центру аварії) [3, 4].

Логічно і доцільно в цьому випадку користуватись полярною системою координат  $r, L$ , де  $r$  – глибина поширення газу (пилу) в навколишнє середовище;  $L$  – половина кута сектора зараження.

На рис. 1 схематично наведено умовне розміщення заданих та розрахункових параметрів (область зараження НП – заштрихована).

На рисунку прийняті такі позначення:

- ОП – промінь, що прийнятий за початок відліку в полярній системі координат, який виходить з центру аварії і проходить через умовний центр НП;
- $r_n$  – відстань НП від центру аварії;
- $\beta$  – половина кута, в якому розміщений НП;
- ОВ – промінь, що характеризує напрямок вітру;
- $R$  – радіус поширення небезпечних речовин у напрямку вітру;
- $R_a$  – радіус аварії;

- $2L$  – величина кута сектора поширення небезпечних речовин;
- $\gamma$  – кут між напрямком вітру і напрямком центру НП (початком відліку у вибраній полярній системі координат);
- $\Delta\gamma$  – кут між найближчими променями сектора зараження і НП;
- $\lambda_3$  – кут, що визначає сектор зараження НП (на рис. 1 кут  $\lambda_3 = |\Delta\gamma|$ , так як сектор зараження частково перетинається з сектором населеного пункту).

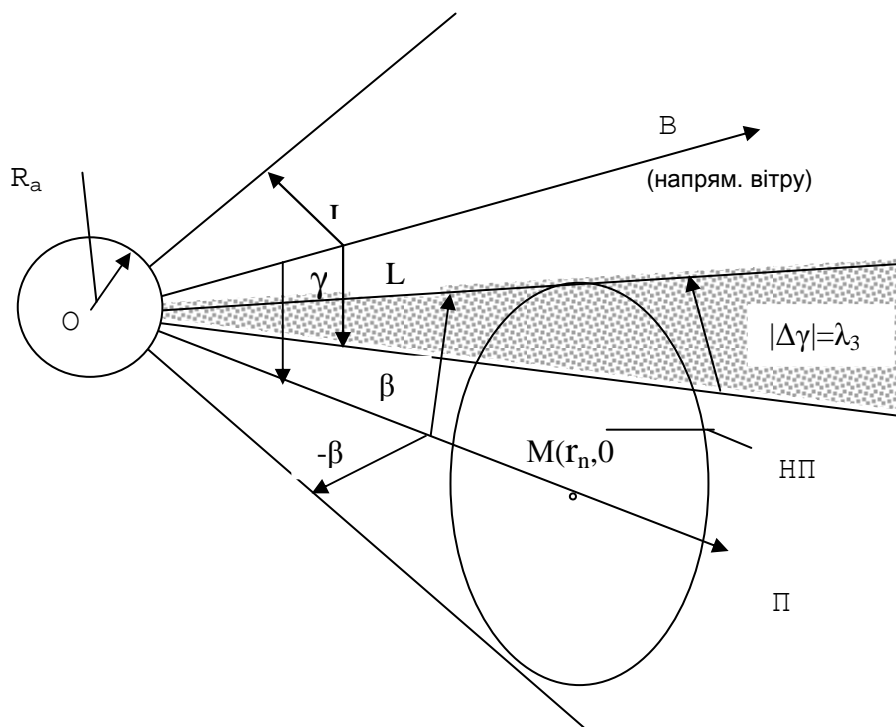


Рис. 1. Взаємне розташування секторів зони зараження і НП

### 1. Визначення повної зони зараження місцевості

Зона зараження місцевості містить у собі:

- район аварії з радіусом аварії  $R_a$ ;
- сектор поширення хмари (пилу) ХНР, який визначається глибиною поширення хмари  $\Gamma$  у напрямку вітру і кутом сектора зараження  $2L$  з концентрацією (густиною) зараження  $\rho$ .

Параметри повної зони зараження (радіус аварії, глибина і площа поширення ХНР, густина ХНР) визначаються згідно з [3].

Можна розглядати два варіанти визначення повної зони зараження:

- табличний варіант – для випадку, коли необхідні вхідні коефіцієнти задані в таблиці;
- аналітичний (універсальний) варіант, при якому всі необхідні коефіцієнти визначаються аналітичними формулами.

Додатково до [3] наведено мажорантні (верхні) оцінки основних параметрів зони зараження, які доповнюють і розширюють можливості аналітичного варіанта рішення.

Із рівняння Клайперона – Менделєєва [5] маємо

$$\rho = \frac{\mu p}{R T},$$

де  $p$  – тиск;  $T$  – температура газу по Кельвіну;  $\mu$  – молярна маса;  $R$  – газова постійна.

Скориставшись цією формулою для двох різних температур, одержимо формулу для визначення густини зараження  $\rho_a$  в районі аварії. Вона має вид

$$\rho_a = \frac{\rho_0}{n_0} \frac{1 + \sigma_{t_0}}{1 + \sigma_{t_a}}; \quad \sigma = \frac{1}{273^0}, \quad (1)$$

де  $\rho_0$  – густина ХНР в тарі до аварії;

$n_0$  – кількість атмосфер ХНР, що знаходилась в тарі до аварії;

$t_0$  – температура ХНР до вибуху;

$t_a$  – температура оточуючого середовища в районі аварії.

Зауважимо, що формула (1) дає мажорантні оцінки густини, так як вона не враховує переміщення ХНР з оточуючим повітрям.

Замінюючи реальний об'єм вибуху з густиною зараження  $\rho_a$  після осідання ХНР відповідним йому рівновеликим об'ємом тієї ж густини з мажорантним радіусом і середньою висотою хмари в районі аварії, матимемо

$$R_a = \left( \frac{m}{\pi \bar{h} \rho_a} \right)^{1/2} \quad (2)$$

або з врахуванням (1)

$$R_a^2 = \frac{n_0 V_0}{\pi \bar{h} \rho_0} \frac{1 + \sigma_{t_0}}{1 + \sigma_{t_a}}, \quad (2a)$$

де  $m$ ,  $V_0$  – відповідно маса і початковий об'єм ХНР до аварії;

$\bar{h}$  – середня висота підйому хмари ХНР.

Основні параметри поширення хмари ХНР визначаються формулами [3], в тому числі:

1) половина кута сектора поширення хмари  $L$  для множини ймовірностей  $P_m \in P_m$  (50%, 75%, 90%)

має відповідно ймовірні значення

$$L = \begin{cases} (9, 12, 15) & \text{при інверсії,} \\ (12, 20, 20) & \text{при ізотермії,} \\ (15, 25, 30) & \text{при конверсії;} \end{cases} \quad (3)$$

2) глибина поширення  $\Gamma$

$$\Gamma = b \left( \frac{m}{u_2 P C \tau} \right)^a, \quad (4)$$

де  $a = 0,57 e^{0,86 \varepsilon}$  ;

$b = 15,42 e^{6,96 \varepsilon}$  ;

$\varepsilon$  – параметр, що характеризує вертикальну стійкість повітря;

$PC_\tau$  – порогова токсодоза ХНР;

$u_2$  – швидкість вітру на висоті 2 м;

3) площа поширення

$$S = \frac{\pi L}{180^0} (\Gamma + R_a)^2 . \quad (5)$$

Формула (5) не враховує всієї площі поширення хмари ХНР в зоні аварії. Неврахована площа визначається формулою

$$S_1 = \pi R_a^2 \left( 1 - \frac{L}{180^0} \right) . \quad (6)$$

Сумарна площа зараження  $S_\Sigma$  буде

$$S_\Sigma = \frac{\pi L}{180^0} (\Gamma + R_a)^2 + \pi R_a^2 \left( 1 - \frac{L}{180^0} \right) . \quad (7)$$

Об'єм зараження і маса ХНР визначаються відповідно формулами

$$V = S_\Sigma \bar{h} ; \quad (8)$$

$$m = \rho V . \quad (9)$$

Підставляючи (7) в (8), а одержаний результат в (9), матимемо рівняння для визначення  $R = \Gamma + R_a$  :

$$R = \Gamma + R_a = \left\{ \frac{180^0}{L} \left[ \frac{m}{\pi \bar{h} \rho} - R_a^2 \left( 1 - \frac{L}{180^0} \right) \right] \right\}^{1/2} . \quad (10)$$

Підставляючи в формулу (10) замість  $\rho$  множину загальноприйнятих значень густин зараження різних ХНР, ми одержуємо відповідну множину прогнозованих мажорантних оцінок значень  $\Gamma$  для них при  $\bar{h} = h_{\min}$ .

Таким чином, можна наперед визначити (спрогнозувати) глибини зон заражень ХНР, зокрема, зону гранично допустимої концентрації, за якою небезпека зараження відсутня. Слід врахувати, що формула (10) для визначення  $R = \Gamma + R_a$  ( $R$  – відстань поширення ХНР від центру аварії) більш проста, ніж формула (4).

## 2. Визначення можливості попадання населеного пункту в зону зараження ХНР

Розв'язок такої задачі зводиться до:

– простого порівняння радіуса  $r_{\Pi}$  з визначеними радіусами зон зараження для відносно невеликих НП з майже рівномірним розподілом населення. Саме таким випадком ми обмежилися (у випадку великих НП необхідно проводити поділ їх на зони з більш складним аналізом);

– визначення кута  $\lambda_3$ .

Із рис. 1 видно, що  $\Delta\gamma = \gamma - (L + \beta)$ . Залишаючи за рамками статті аналіз всіх можливих взаємних кутових положень сектора загального зараження і кутового сектора розміщення населеного пункту, наведемо основні результати такого аналізу. Проведений авторами аналіз показує, що в залежності від співвідношення величин  $\Delta\gamma$ ,  $\gamma + \beta$  і  $\gamma + L$  визначення кута  $\lambda_3$  зводиться до таких чотирьох випадків:

– якщо  $\Delta\gamma > 0$ , то  $\lambda_3 = 0$ ; (11)

– якщо  $\Delta\gamma < 0$  і  $\gamma + \beta < L$ , то  $\lambda_3 = 2\beta$ ; (12)

– якщо  $\Delta\gamma < 0$  і  $\gamma + L < \beta$ , то  $\lambda_3 = 2L$ ; (13)

– в усіх інших випадках  $\lambda_3 = |\Delta\gamma|$ . (14)

У випадку наявності зараження обчислення людських втрат населеного пункту виконується згідно з формулою

$$\Delta n = 0,001n \cdot \frac{\lambda_3}{2\beta} \chi_s, \tag{15}$$

де  $\Delta n$  – кількість втрат населення даного НП;

$n$  – кількість населення даного НП;

$\chi_s$  – процент втрат у зоні зараження (береться те значення  $\chi_s$ , якому відповідає більша частина населеного пункту).

Формула (15) використовується для грубої оцінки кількості втрат населення даного НП. Для більш детальних розрахунків необхідно враховувати геометричні параметри меж НП. Для такого аналізу використовують засоби Геоінформаційної системи (ГІС) та відповідні цифрові карти місцевості. За допомогою цих засобів спочатку визначають фактичну площу зараження НП (частину площі НП, яку накриває сектор зараження), а потім – кількість втрат як добуток цієї площі на середню щільність населення у даному НП.

На цифрових картах межі НП визначають неперервними замкнутими контурами, що складаються з сукупності елементарних відрізків (рис. 2).

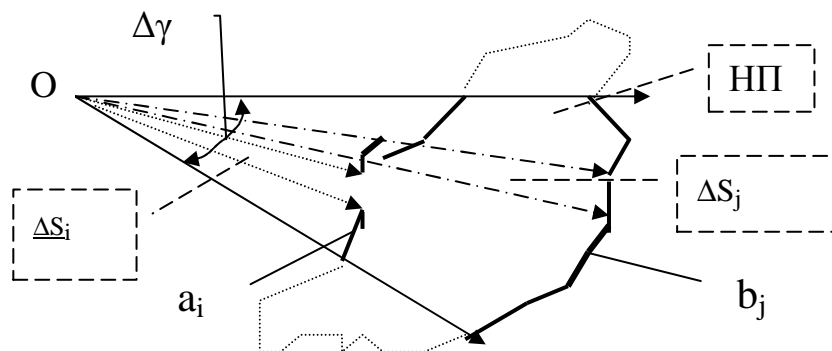


Рис. 2. Схема взаємного розташування сектора поширення ХНР і межі НП на цифрових картах місцевості  
На рисунку прийняті такі позначення:

- $O$  – центр аварії;
- $\Delta\gamma$  – кут сектора поширення ХНР;
- НП – населений пункт на цифровій карті;

–  $a_i(b_j)$  – елементарний відрізок межі НП, який повністю або частково попадає у сектор поширення

ХНР;

–  $\underline{\Delta S}_i$  ( $\Delta S_j$ ) – площі трикутників, побудованих з відрізків  $a_i$  ( $b_j$ ) – та центра аварії (точка  $O$ ).

Розглянемо алгоритм визначення фактичної площі зараження:

1. Визначається множина відрізків, які описують межу НП на цифровій карті і повністю або частково попадають у сектор поширення ХНР ( на рисунку це сукупність відрізків  $a_j$  та  $b_j$  ).

2. Ця множина розбивається на дві:  $A = U_{i=1...k}(a_i)$  – відрізків, які розташовані “ближче” до центру аварії, та  $B = U_{i=1...n}(b_j)$  відрізків які розташовані більш віддалено від центру аварії.

3. Для кожного відрізка множин А та В будується трикутник з вершиною в точці  $O$ ,  $\underline{\Delta S}_i$  та  $\Delta S_j$  – відповідні величини площі трикутників.

4. Фактична площа зараження НП визначається за формулою

$$S_{\phi} = \sum(\Delta S_j) - \sum(\underline{\Delta S}_i). \quad (16)$$

Отже, якщо  $S$  – загальна площа НП, формула (15) матиме більш точний вид:

$$\Delta n = 0,01n \cdot \frac{S_{\phi}}{S} X_s. \quad (17)$$

**Зауваження.** Для деяких НП замкнених контурів, які визначають межі НП, може бути декілька (НП поділено річкою, лісовим масивом тощо). Наведений алгоритм легко розповсюджується на такий випадок, для чого треба дещо модифікувати п. 2 наведеного алгоритму.

## Висновки

1. Алгоритми даної статті є ефективним доповненням та розширенням загальноприйнятої методики визначення параметрів поширення ХНР [3].

2. Простота і наочність алгоритмів робить їх досить ефективними при розв’язанні найрізноманітніших задач, пов’язаних з моніторингом надзвичайних ситуацій, картографуванням, оцінкою впливу на навколишнє середовище. Цінністю наведених алгоритмів є простота використання їх для попереднього прогнозування можливості повного або часткового попадання населеного пункту в зону зараження.

3. Викладені вище алгоритми покладені в основу методики „Оцінка характеру і наслідків надзвичайних подій на хімічно небезпечних об’єктах стаціонарного типу”, яка реалізована в ІПММС НАНУ з використанням ГІС технологій, що дозволяє видавати на карту район НП і зону поширення хмари ХНР із зазначенням на ній усіх вихідних параметрів аварії. У разі наявності більш детальних цифрових карт місцевості району аварії цей алгоритм може бути застосовано при створенні тривимірної моделі поширення хмари ХНР.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. К вопросу паспортизации потенциально опасных объектов / Морозов А.А., Яровой А.Д., Кузьменко Г.Е., Рогач В.Д., Трацевский А.В., Хоминич В.С. // Інформаційні технології управління екологічною безпекою, ресурсами та заходами у надзвичайних ситуаціях. – Київ-Харків-Крим, 2002. – С. 31 – 36.
2. Бесчастнов М.В. Аварии в химических производствах, меры их предупреждения. – М.: 1976. – С. 17 – 22.
3. Сильнодействующие ядовитые вещества и защита от них. – М.: Воениздат, 1989. – С. 44 – 53.
4. Катков В.Л. Моделирование ветрового переноса заражений при чрезвычайных ситуациях // РАН, Инженерная экология. – 2000. – № 1. – С. 22 – 30.
5. Законы и формулы физики: Справочник / Сост. В.Е. Кузьмичев. – К.: Наукова думка, 1989. – С. 165 – 166.