

Н. В. Рашкевич, PhD,

А. Ю. Бондаренко, аспірантка

*Національний університет цивільного захисту України, Харків*

## РОЗГЛЯД УМОВ ІСНУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АНАЛІЗУ НЕБЕЗПЕЧНОГО ВПЛИВУ РАКЕТНО-АРТИЛЕРІЙСЬКИХ УРАЖЕНЬ НА СТАН ҐРУНТОВИХ ВОД

**Анотація.** *Описані початкові умови математичної моделі аналізу небезпечного впливу ракетно-артилерійських уражень на стан ґрунтових вод, що пов'язані з наявністю в ґрунтових водах шкідливих (забруднювальних) речовин на рівні гранично допустимих концентрацій. Граничні умови пов'язані з непереростанням наслідків надзвичайної ситуації за межі об'єктового рівня за кількістю жертв та постраждалих. Виділені окремі задачі, розв'язання яких становлять науково-практичну основу попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру.*

**Ключові слова:** математична модель, ґрунтові води, ракетно-артилерійські ураження, попередження надзвичайних ситуацій.

Стан ґрунтових вод міських агломерацій є критично важливим в контексті забезпечення безпеки місцевого населення. Після ракетно-артилерійських обстрілів існує ризик забруднення ґрунтів важкими металами, токсичними речовинами, що можуть проникнути в ґрунтові води та спричинити зниження якості. Важливо проводити моніторинг ґрунтових вод для попередження поширення наслідків небезпеки на територіях, які зазнали ракетно-артилерійських уражень [1, 2].

Початковими умовами формування поля математичної моделі аналізу небезпечного впливу ракетно-артилерійських уражень на стан ґрунтових вод будемо вважати наявність в ґрунтових водах шкідливих (забруднювальних) речовин  $\rho_{г.в.неб}^i$  на рівні гранично допустимої концентрації (ГДК), а саме рівняння (1):

$$\rho_{г.в.неб}^i(x_0^B, y_0^B, g_0^B, t) = ГДК^i, \quad (1)$$

де  $x_0^B, y_0^B, g_0^B$  – початкові координати точки входу шкідливих (забруднювальних) речовин в ґрунтові води;  $t$  – час поширення шкідливих (забруднювальних) речовин;  $i$  – шкідливих (забруднювальних) речовин, яка досягла своєї межі ГДК<sup>*i*</sup>.

Спираючись на роботу [3] можна констатувати, що домінуючим наслідком – наслідком першого порядку пріоритетності, – у випадку поширення НС є  $Q_{тер}$ ,

який в подальшому визначає рівень поширення НС, є відображенням координат джерела небезпеки.

Застосування організаційно-технічного методу попередження поширення НС техногенного характеру з об'єктового на місцевий або, навіть, регіональний рівнів, відповідає порушенню нерівності (2) та формуванню відповідної граничної умови (3):

$$g_0 \leq q_{\text{тер}}(g, t) < g_{\text{в.гор}}^{\min}, \quad (2)$$

$$g_{\text{в.гор}}^{\min} \leq q_{\text{тер}}(g, t), \quad (3)$$

де  $g_0$  – територія об'єкту критичної інфраструктури яка зазнала ракетно-артилерійських уражень;

$q_{\text{тер}}$  – поширення шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК за машштаби території, що відповідає НС об'єктового рівня;

$g_{\text{в.гор}}^{\min}$  – глибина залягання водоносного горизонту в межах території поширення НС;

$g$  – глибина проникнення шкідливих (забруднювальних) речовин в пори ґрунту на час  $t$ .

Наслідками другого порядку пріоритетності є кількість жертв  $q_{\text{ж}}$  та кількість постраждалих  $q_{\text{пост}}$ , які формують групу граничних умов (4), а саме:

$$\begin{cases} q_{\text{ж}}(t) = f_{\text{ж}}(q_{\text{тер}}, t) = 0 \\ q_{\text{пост}}(t) = f_{\text{пост}}(q_{\text{тер}}, t) \leq q_{\text{пост}}^{\text{об}} \end{cases}, \quad (4)$$

де  $q_{\text{пост}}^{\text{об}}$  – максимально допустима кількість постраждалих НС об'єктового рівня відповідно до Класифікатора НС [4];  $f_{\text{ж}}$  та  $f_{\text{пост}}$  – відповідні відображення процесу зростання наслідків другої групи пріоритетності (жертв та постраждалих).

Наслідками третього порядку пріоритетності є  $q_{\text{у.жит}}$  – кількості осіб з порушеними умовами життєдіяльності,  $q_{\text{з.п}}$  – прямих збитків,  $q_{\text{з.н}}$  – непрямих збитків, які формують групу граничних умов не жорсткого характеру (5), а саме:

$$\begin{cases} q_{\text{у.жит}}^{\text{об}} \leq q_{\text{у.жит}} = f_{\text{жит}}(q_{\text{тер}}, t) \leq q_{\text{у.жит}}^{\text{міс}} \\ q_{\text{з.п}}^{\text{об}} \leq q_{\text{з.п}} = f_{\text{з.п}}(q_{\text{тер}}, t) \leq q_{\text{з.п}}^{\text{міс}}, \\ q_{\text{з.н}}^{\text{об}} \leq q_{\text{з.н}} = f_{\text{з.н}}(q_{\text{тер}}, t) \leq q_{\text{з.н}}^{\text{міс}} \end{cases}, \quad (5)$$

де  $q_{\text{у.жит}}^{\text{об}}$ ,  $q_{\text{з.п}}^{\text{об}}$ ,  $q_{\text{з.н}}^{\text{об}}$ ,  $q_{\text{у.жит}}^{\text{міс}}$ ,  $q_{\text{з.п}}^{\text{міс}}$ ,  $q_{\text{з.н}}^{\text{міс}}$  – граничні межі поширення наслідків НС відповідно до Класифікатора НС [4];  $f_{\text{жит}}$ ,  $f_{\text{з.п}}$ ,  $f_{\text{з.н}}$  - відображення процесу зростання наслідків третьої групи пріоритетності (порушеними умовами життєдіяльності, прямих збитків, непрямих збитків).

Попередження НС техногенного характеру унаслідок наявності у воді шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК в міській агломерації від

ракетно-артилерійських уражень може бути реалізоване шляхом обрання ефективної концепції з організації моніторингу в ґрунтових водах на території об'єкту критичної інфраструктури, яка зазнала уражень, та досягатиметься за умови існування рівняння зв'язку (6), а саме:

$$q_{\text{тер}}^{\text{міс}} = f_{\text{міс}}(\phi_{\xi_1}, \phi_{\xi_2}, \phi_{\xi_3}, t), \quad (6)$$

де  $q_{\text{тер}}^{\text{міс}}$  – граничні межі поширення наслідків НС до місцевого рівня;  $\phi_{\xi_1}$  – формалізований параметр розв'язання задачі ( $\xi_1$ ) з визначення області водозбору ґрунтових вод для аналізу небезпеки води;  $\phi_{\xi_2}$  – формалізований параметр розв'язання задачі ( $\xi_2$ ) з визначення області ракетно-артилерійського впливу в зоні НС;  $\phi_{\xi_3}$  – формалізований параметр розв'язання задачі ( $\xi_3$ ) з визначення впливу шкідливих (забруднювальних) речовин на ґрунтові води.

Таким чином, математична модель аналізу небезпечного впливу ракетно-артилерійських уражень на стан ґрунтових вод складається із початкових умов – наявності в ґрунтових водах шкідливих (забруднювальних) речовин на рівні гранично допустимої концентрації. Граничні умови пов'язані з забезпеченням не переростання НС техногенного характеру на регіональний рівень поширення небезпеки за наслідками першого, як-то площа, та другого рівня пріоритетності, як-то кількість жертв та постраждалих.

### Список використаної літератури

1. Рашкевич Н. В. Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на територіях України, які зазнали ракетно-артилерійських уражень. Комунальне господарство міст, 2023. Том 4. Вип. 178. С. 232–251. <https://doi.org/https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-232-251>
2. Рашкевич Н., Мирошник О., Шевченко Р. Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних з небезпекою ґрунтових вод. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація, 2023. Том 7. № 2. С. 193–216.
3. Дівізніюк М.М., Єременко С.А., Левтеров О.А., Пруський А.В., Стрілець В.В., Стрілець В.М., Шевченко Р.І. Теоретичні засади парадигми «Цивільний захист»: монографія. Під заг. редакцією М.М. Дівізніюка та Р.І. Шевченка. Київ: ТОВ «АЗИМУТ-ПРИНТ», 2022. 335 с.
4. Національний класифікатор ДК 019:2010 «Класифікатор надзвичайних ситуацій». Київ, 2010. 19 с.

*Науковий керівник – Р. І. Шевченко, д.т.н., професор*