

## ЗАХИСТ КОМПОНЕНТІВ ДОВКІЛЛЯ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

УДК 504.062.4::623.48

### МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ

Андронов В.А.<sup>1</sup>, д.т.н., проф.; Дідовець Ю.Ю.<sup>1</sup>

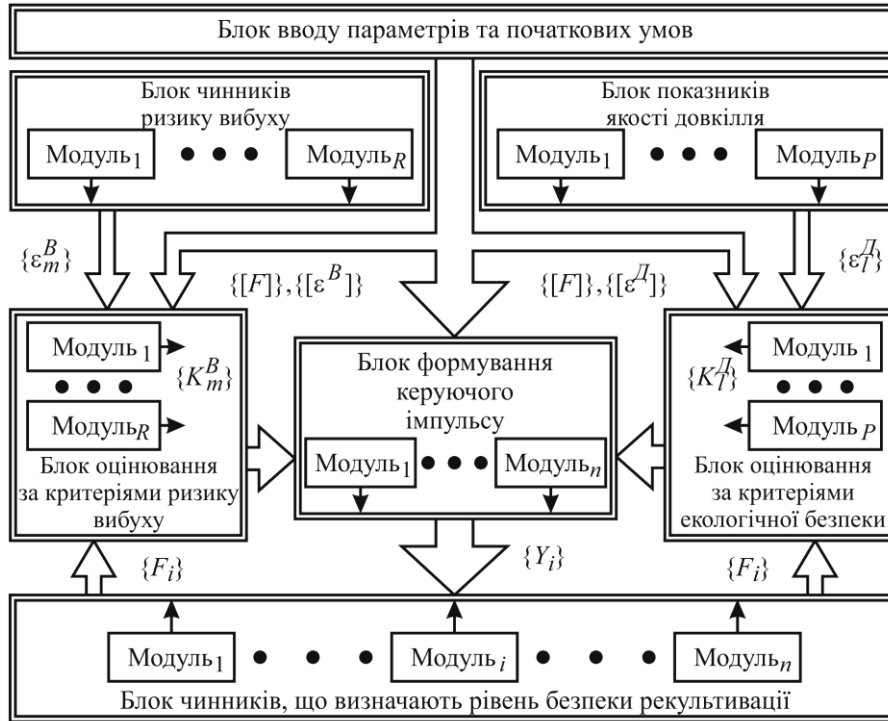
<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

В умовах російської військової агресії особливої актуальності набуває завдання забезпечення екологічної безпеки місць, де відбувалися підриви боєприпасів та пов'язане з ними масштабне забруднення території нашої держави вибухо-небезпечними предметами. Подібні впливи на землі різного призначення виключають їх подальше використання без реалізації заходів з їх рекультивації, оскільки залишки вибухових речовин відносяться до найвищих класів небезпеки. Якщо створені відповідні умови, продукти деградації вибухових речовин можуть надалі проникати до підземних вод та забруднювати їх завдяки явищу міграції. Однак, найбільшого рівня негативний вплив наноситься ґрунтам. Вказаний вплив визначається чинниками вибуху. У ньому можна виділити наступні фізичні та хімічні компоненти [1-6]: 1) елементи боєприпасів, які утворюються під час вибухів та можуть розлітатися на достатньо велику відстань з подальшим заглибленням у ґрунт; 2) зміна рельєфу у місцях вибухів з утворенням кратерів або воронок; 3) компресійний вплив ударної вибухової хвилі, який призводить до зміни густини та структури ґрунту; 4) забруднення вибуховими речовинами або паливом – органічними речовинами; 5) забруднення важкими металами – компонентами боєприпасів; 6) забруднення хімічними речовинами, що є складовою частиною заряду боєприпасів. Можливим також за певних умов є й наявність радіаційного забруднення, втім, його поява може бути пов'язана лише з наявністю радіоактивних речовин у складі боєприпасів або у складі об'єкту, ураженого вибухом. Також наслідком вибуху є непрямий негативний вплив на довкілля внаслідок виникнення загоряння трав'яного покриву або дерев.

Важливим є той факт, що ефекти впливу вибухів на довкілля є пролонгованими та демонструють кумулятивний синергічний ефект. Зокрема, у попередніх дослідженнях інших науковців було встановлено факти суттєвого розповсюдження забруднювачів від місць безпосереднього їх впливу (локалізованих на поверхні) до глибоких рівнів ґрунту та ґрунтових вод [7-9]. Останнє має бути враховано при виборі технологій рекультивації земель у місцях, де відбуваються вибухи, зокрема, у місцях знешкодження та знищення боєприпасів.

Експериментування у місцях знешкодження та знищення боєприпасів з повторним відтворенням умов вибухів, що вже відбулися, є неприпустимим за вимогами безпеки. Тому для аналізу відповідних станів системи управління безпекою під час рекультивації земель вищевказаних об'єктів слід використовувати метод імітаційного моделювання. Це дозволяє не лише визначити можливі альтернативи роботи системи управління безпекою, а й спрогнозувати рівень безпеки об'єкту в цілому. В основу моделювання покладено підхід, викладений у роботі [10], який, втім, потребує суттєвого удосконалення з урахуванням підвищеного ризику вибуху у місці знешкодження та знищення боєприпасів.

Імітаційна модель системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів складена за блочно-модульним принципом (рис. 1), що дозволяє вільно корегувати її структуру в залежності від наявних вихідних умов.



**Рисунок 1 – Структура імітаційної математичної моделі системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів**

Функціонування системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів розглядається на інтервалі часу  $(T_0, T_1)$  відновлення ґрунту, що характеризується дією комплексу чинників  $F_i(t) \in \Phi$ ,  $i = 1..n$ . До розгляду додаються параметри  $\varepsilon_m^B \in E^B$ ,  $m = 1..R$ , що визначають чинники ризику вибуху, а також показники якості довкілля  $\varepsilon_l^D \in E^D$ ,  $l = 1..P$ :

$$E = E^B \cup E^D. \quad (1)$$

Результатом моделювання є залежності від часу

$$W(t) = K(t), Y(t) \quad (2)$$

критеріїв оцінювання рівня безпеки  $K(t)$

$$K = K^B \cup K^D \quad (3)$$

та керуючого імпульсу  $Y(t)$  у вигляді комплексу впливів на кожен із чинників, що визначають рівень безпеки,

$$Y = \{Y_i\}; \quad (4)$$

$$Y_i = g_i(K), \quad i = 1..n, \quad (5)$$

Задача їх знаходження формалізується наступним чином

$$W(t) = M(A(t), B), \quad (6)$$

де  $A$  – сукупність вхідних параметрів системи у формі

$$A = \Phi \cup E, \quad (7)$$

$B$  – множина регламентуючих обмежень

$$B = \{[F]\}, \{[\varepsilon^B]\}, \{[\varepsilon^D]\}, \quad (8)$$

які визначають у кількісному вираженні граничні значення для кожного з використовуваних критеріїв оцінювання рівня безпеки.

Сформований набір критеріїв

$$K = K^B \cup K^D = \{K_m^B\} \cup \{K_l^D\} \quad (9)$$

має формалізувати вимоги нормативних документів, що регламентують умови експлуатації місць знешкодження та знищення боєприпасів, за припустимим рівнем ризику вибуху

$$K_m^B : \chi_m^B(\Phi, E^B), \quad m = 1..R, \quad (10)$$

та рівнем екологічної безпеки

$$K_l^D : \chi_l^D(\Phi, E^D), \quad l = 1..P, \quad (11)$$

де  $R$  та  $P$  – кількість критеріїв, що використовується для оцінювання рівня безпеки за кожним з цих напрямів.

Нарешті, процес функціонування системи управління безпекою рекультивациі земель місця знешкодження та знищення боєприпасів в загальному вигляді можна записати наступним чином:

$$\{A, B\} \rightarrow W : \{K \rightarrow Y\}. \quad (12)$$

В основу визначення критеріїв безпеки покладено нормативний підхід, який для критеріального параметра  $x$  можна визначити у формалізованому вигляді

$$\chi_x = \frac{x}{[x]} = \bar{x} \leq 1, \quad (13)$$

де  $[x]$  – граничне припустиме значення параметра  $x$ . Вказаний підхід дозволяє уніфікувати критеріальні параметри походження за трьома напрямками: 1) діючі чинники функціонування місця знешкодження та знищення боєприпасів; 2) показники ризик вибуху; 3) показники якості довкілля. Використання такого підходу дозволяє забезпечити гнучкість моделювання, оскільки дає можливість включити до розгляду будь-яку кількість критеріальних параметрів за всіма напрямками.

Оцінювання рівня безпеки території місця знешкодження та знищення боєприпасів при моделюванні має проводитися за наступним принципом [11]: порівняння повного набору можливих екологічних станів зі встановленими нормами з урахуванням потенціальних впливів чинників ризику небезпеки вибуху. При цьому важливим завданням є своєчасне й надійне виявлення екологічної небезпеки на основі реальних даних моніторингу [12]. У цьому контексті необхідно враховувати синергічний ефект від впливу різнопланових чинників на екологічний стан території.

В якості значущого показника пропонується використовувати показник рівня деградації, тобто відношення площі деградаційних процесів  $S_\partial$  до загальної площі території, що підлягає рекультивациі  $S$ , які можна із достатньою точністю розрахувати на основі аналізу матеріалів дистанційного зондування Землі, зокрема, з використанням безпілотних літальних апаратів [13]. Показник рівня деградації обчислюється за формулою

$$s_\partial = \frac{S_\partial}{S}. \quad (5)$$

Критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_s = \frac{s_\partial}{[s_\partial]} = \bar{s}_\partial \leq 1, \quad (6)$$

де  $[s_\partial]$  – граничне припустиме значення розгляданого параметра  $s_\partial$ .

Таким чином, за результатами проведеного дослідження вперше створено імітаційну модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Критерії безпеки запропоновано визначати з використанням нормативного підходу за трьома напрямками: діючі чинники, параметри ризику вибуху та показники якості довкілля. Запропоновано вдосконалений критерій оцінювання безпеки місця знешкодження та знищення боєприпасів за рівнем деградації земель.

### ЛІТЕРАТУРА

1. 2021 BATA Explosions – Equatorial Guinea. Multi-Cluster/Sector Initial Rapid Assessment (MIRA). OCHA, 2021. 14 p.
2. Broomandi P. et al Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review /. *Sustainability*. Vol. 12, No. 9002.
3. Environmental Impact of Munition and Propellant Disposal. Final Report of Task Group AVT-115. Research and Technology Organisation / North Atlantic Treaty Organisation, 2010. 86 p.
4. Guilbaud M. The Environmental Impact of an Explosion. White Paper. *Geode*, 2020. 43 p.
5. Hathaway J. E. et al. Explosive particle soil surface dispersion model for detonated military munitions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. Vol. 187, No. 415.
6. Zwijnenburg W., te Pas K. Amidst the debris... A desktop study on the environmental and public health impact of Syria's conflict. *Colophon*, 2015. 84 p.
7. Spain J. C. Biodegradation of nitroaromatic compounds. *Annual Review of Microbiology*. 1995. Vol. 49. Pp. 523-555.
8. Hawari J., Beaudet S., Halasz A., Thiboutot S., Ampleman G. Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralization. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2000. Vol. 54, Issue 5. Pp. 605-618.
9. Rieger P., Knackmuss H.J. Basic Knowledge and Perspectives on Biodegradation of 2,4,6-Trinitrotoluene and Related Nitroaromatic Compounds in Contaminated Soil. in: *Biodegradation of nitroaromatic compounds*; Spain, J. C., Ed. New York: Plenum Publishing Co., 1995. Pp. 1-18.
10. Колосков В. Ю. Моделі та методи прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання твердих побутових відходів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2016. № 4(1176). С. 142–146.
11. Andronov V. Koloskov V. Factors of environmental condition of territories adjoined to municipal solid wastes landfills. *XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екологічної безпеки»*. Матеріали конференції. Кременчук: КрНУ. 2019. С. 204-207.
12. Поспелов Б. Б. Андронов В. А. Модели качества обнаружения экологической опасности по реальным данным мониторинга. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 3 (1/2018). С. 3-7.
13. Пат. 149180 Україна, F42D 5/02 (2006.01), G01V 3/16 (2006.01), G01V 8/00. Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів / Дідовець Ю. Ю., Колосков В. Ю., Колоскова Г. М.; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u202103377, заяв. 15.06.2021; опубл. 20.10.2021, бюл. № 42.