

## Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE  
OPEN ACCESS

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

Ю. Ю. Дідовець<sup>1</sup>, В. Ю. Колосков<sup>1</sup>, Г. М. Колоскова<sup>2</sup>, А. Джінаду<sup>3</sup><sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна<sup>3</sup>Кварський державний університет, Малете, Нігерія

УДК 504.062.4::623.48

DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.10

Отримано: 26 березня 2021

Прийнято: 25 листопада 2021

Cite as: Didovets Yu., Koloskov V., Koloskova H., Jinadu A. (2021). Model of safety management system of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. Technogenic and ecological safety, 10(2/2021), 64–69. doi: 10.52363/2522-1892.2021.2.10

#### Анотація

Проведено аналіз впливу чинників небезпеки вибуху на рівень екологічної безпеки знешкодження та знищення боєприпасів. Проведено аналіз існуючих технологій рекультивациі земель, що можуть бути застосовані для місць знешкодження та знищення боєприпасів, та визначено можливості та обмеження їх застосування. Вперше створено імітаційну модель системи управління безпекою рекультивациі земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Під час розроблення моделі пропонується розглядати необхідні для визначення рівня безпеки параметри місця знешкодження та знищення боєприпасів, які визначають параметри ризику вибуху, та показники якості довкілля, як відгуки на вплив чинників функціонування місця знешкодження та знищення боєприпасів. Критерії безпеки визначаються з використанням нормативного підходу за трьома напрямками: діючі чинники, параметри ризику вибуху та показники якості довкілля. Інтегральний критерій безпеки визначається як найбільше значення з усіх окремих критеріїв безпеки.

**Ключові слова:** рівень безпеки, імітаційне моделювання, рекультивациа земель, знешкодження та знищення боєприпасів, небезпека вибуху.

#### Постановка проблеми.

Вибухові речовини використовуються у військовій діяльності протягом багатьох років. Обсяги виготовлених боєприпасів в Україні та світі є достатньо великими та потребують їх складування та безпечного поводження. На сучасному етапі розвитку збройних сил усіх держав світу особливої актуальності набуває завдання забезпечення екологічної безпеки місць зберігання та знешкодження боєприпасів, які вичерпали термін безпечної експлуатації, або ж умови зберігання яких було суттєво порушено. Особливої гостроти даній проблемі надають непоодинокі збройні конфлікти у світі, що призводили та призводять до масштабного забруднення великих територій вибухо-небезпечними предметами.

Велике занепокоєння викликає сьогодні питання зростання ризиків забруднення навколишнього середовища та пов'язаної з ним шкоди для здоров'я та життя людей, що мешкають як безпосередньо біля місць забруднення, так і у іншій місцевості [1, 2]. Зокрема, в Україні близько 85% вибухових речовин належать до надзвичайно небезпечних (1-й клас) і високонебезпечних (2-й клас) речовин [3]. За певних умов вибухові речовини або продукти їх деградації можуть завдяки міграції забруднювати підземні води. Втім, найбільшого забруднення при дії вибухів зазнають саме ґрунти.

Актуальність завдання забезпечення екологічної безпеки об'єктів, забруднених вибуховими речовинами, є сьогодні беззаперечним для світової спільноти [4]. Метою діяльності у цьому напрямку має стати відновлення земель місць, забруднених

внаслідок вибухів, зокрема місць знешкодження та знищення боєприпасів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вплив на ґрунти у місці знешкодження та наступного знищення боєприпасів визначається чинниками вибуху та складається з наступних фізичних та хімічних компонентів [5-11]:

- елементи боєприпасів, які утворюються під час вибухів та можуть розлітатися на достатньо велику відстань та заглиблюватися у ґрунт;
- зміна рельєфу у місцях вибухів з утворенням кратерів або воронок;
- компресійний вплив ударної вибухової хвилі, який змінює густину ґрунту та його структуру;
- забруднення вибуховими речовинами або паливом, які є за своєю природою органічними речовинами,
  - забруднення важкими металами;
  - забруднення хімічними речовинами, що є складовою частиною заряду боєприпасів.

Слід зазначити, що радіаційне забруднення у випадку знищення боєприпасів вибухом можливе лише у випадку наявності у складі боєприпасів радіоактивних речовин, наприклад, збідненого урану. Наслідком вибуху може стати також непрямий вплив на довкілля через виникнення загоряння трав'яного покриву, або дерев, попередження яких є обов'язковим при підготовці вибуху.

Попередні дослідження різних авторів показали наявність суттєвих за рівнем небезпеки забруднень повітря, води та ґрунту у місцях, де відбуваються вибухи боєприпасів [1, 12–15]. Зокрема, було

встановлено наявність важких металів – хрому, нікелю, свинцю, цинку, марганцю – у ґрунті [16] та поверхневих водах [17] військових полігонів у концентраціях, що перевищують фонові значення.

Значні шкідливі наслідки для навколишнього середовища чинять також нітроароматичні та нітрамінові вибухові речовини, зокрема, 2,4,6-тринітратолуол (тринітратолуол), гексагідро-1,3,5-тринітро-1,3,5-триазин (гексоген) та октагідро-1,3,5,7-тетранітро-1,3,5,7-тетразоцин (октоген) [18]. Вказані речовини Американським агентством охорони навколишнього природного середовища включено до переліку «пріоритетних забруднювачів» [19]. Їх видалення із ділянок, що піддалися забрудненню, є першочерговим.

Переважає більшість сполук, що забруднюють ґрунти під час вибуху, є стійкими до біодеградації, випаровування та гідролізу, що призводить до їх стійкості в ґрунті та підземних водах. Їх стійкість у навколишньому середовищі небезпечна для живих організмів. У попередніх дослідженнях світових вчених було встановлено токсичність вказаних вище забруднювачів для всіх груп організмів, таких як бактерії та ссавці [20], гриби [21], водорості та рослини [22], безхребетні та риби [23]. Потрапляння ж цих забруднювачів у харчовий ланцюг становить загрозу для здоров'я та життя людей [24–26].

Важливим також є той факт, що ефекти впливу вибухів на довкілля є пролонгованими та демонструють кумулятивний 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 [4, 19, 20]. Останнє має бути враховано при виборі технологій рекультивації земель у місцях, де відбуваються вибухи, зокрема, у місцях знешкодження та знищення боєприпасів.

#### **Постановка задачі та її вирішення.**

*Об'єкт дослідження.* Вплив місць знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище.

*Предмет дослідження.* Чинники техногенно-екологічної небезпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів.

*Мета дослідження.* Зниження рівня техногенно-екологічної небезпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Для досягнення поставленої мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

- провести аналіз існуючих технологій рекультивації земель, що можуть бути застосовані для місць знешкодження та знищення боєприпасів;
- розробити модель системи управління техногенно-екологічної безпекою місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Для відновлення ґрунтів, забруднених внаслідок вибухів, можуть використані наступні технології [5]:

– технології цивільного будівництва, зокрема, утворення покривних чи бар'єрних споруд на території місця знищення боєприпасів або полігонів утилізації відходів;

– біотехнології, включаючи біоремедіацію ґрунтів з використанням мікроорганізмів або грибків та фіторемедіацію ґрунтів за допомогою рослин;

– хімічні технології, зокрема, промивання ґрунтів з наступним виділенням розчинених компонентів;

– фізичні технології, які також базуються на промиванні ґрунтів з механічним виділенням невеликих фрагментів боєприпасів;

– теплові технології, зокрема, термічна десорбція органічних вибухових речовин.

Перш за все, слід відзначити, що утворення покривних споруд для місць знешкодження та знищення боєприпасів не є доцільним, оскільки таким чином вміст забруднювачів консервується у ґрунті. При цьому такий підхід не заважає подальшому переміщенню забруднювачів в товщі землі та подальшому розповсюдженню. Отже, перспектива використання цієї технології в основному зосереджена у напрямі забезпечення тимчасового захисту забрудненої території на той час, коли прибрати наявні залишки боєприпасів не є можливим.

Біотехнології можуть бути застосовані для видалення з ґрунту забруднень у вигляді органічних вибухонебезпечних та паливних речовин або важких металів [19, 27]. Обов'язковою умовою ефективного використання біотехнологій є присутність забруднень у вигляді достатньо невеликих за розміром часток. Натомість після знищення боєприпасів з дискретним наповненням (гранули, пластини, тощо) біотехнології потребують попередньої підготовки ґрунтів з метою видалення великих шматків забруднюючої речовини, або їх зменшення. Також погіршують умови роботи біотехнології наслідки компресійного впливу ударної вибухової хвилі, зокрема, ущільнення ґрунту, яке погіршує умови надходження вологи та кисню углиб його поверхні.

Через велику стійкість вибухових та паливних речовин у ґрунті проведення для них біоремедіації *in situ* (безпосередньо на місці вибуху) є практично неможливим. Натомість достатню ефективність демонструють методи біоремедіації *in situ* у вигляді фіторемедіації [28, 29], зокрема, при видаленні важких металів – свинцю, кадмію, миш'яку, тощо. Для органічних речовин ефективним є біоремедіація *ex situ* (на підготовленому майданчику) з використанням компостування або біокуп [30].

Окремо слід відзначити можливість переміщення забрудненого ґрунту на полігон накопичення відходів, однак у цьому випадку за наявності в ґрунті вибухонебезпечних речовин у достатньо великій кількості поводження з ним потребує забезпечення особливих вимог стосовно безпеки транспортування та зберігання.

Промивання ґрунту може використовуватися як для видалення шматків забруднюючих речовин, так і для розчинення та виділення з ґрунту їх малих часток. Втім, за такого підходу властивості ґрунту суттєво погіршуються, а його використання є доцільним лише за наявності великих обсягів забруднень. Натомість, просіювання ґрунту

дозволить видалити великі шматки забруднюючих речовин, які становлять небезпеку.

Використання термічної десорбції засноване на випалюванні забруднюючих речовин з оброблюваного ґрунту і може використовуватися як *in situ* так і *ex situ*. Суттєвим недоліком такої технології є виділення великих обсягів оксидів азоту, що є продуктами спалювання органічних вибухових та паливних речовин. Її практичне використання потребує відповідного очищення газів, що викидатимуться в атмосферу.

У окремих випадках за наявності в ґрунті вибухонебезпечних предметів постає завдання їх ідентифікації та видалення до початку процесу відновлення ґрунту. Пошук таких предметів найдоцільніше проводити з використанням дистанційних методів контролю. Для їх нейтралізації (або у певних випадках для доведення їх відсутності) може застосовуватися технологія контрольованого вибуху.

За результатами аналізу вищенаведених технологій у порівнянні з чинниками негативного впливу на ґрунти місця знешкодження та знищення боєприпасів можна зробити висновок про відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити всі поставлені завдання. Необхідним є створення на їх основі єдиного комплексу технологій захисту навколишнього середовища та методики їх застосування з метою швидкого та ефективного видалення з ґрунтів всіх наявних забруднюючих речовин з урахуванням чинників вибухонебезпеки, яку можуть становити не лише залишки боєприпасів, а й сам забруднений вибуховими речовинами ґрунт.

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. Такий підхід дозволяє не лише визначити можливі альтернативи роботи системи управління безпекою, а й спрогнозувати рівень безпеки об'єкту в цілому. Цей метод дослідження дозволяє одержати стійку статистику розвитку подій, за умов заміни реальної системи моделлю, що з достатньою точністю описує її. В основу моделювання покладено підхід, викладений у роботі [31], 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. Функціонування системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів розглядається на інтервалі часу  $(T_0, T_1)$ , визначеного для 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  $\varepsilon_l^D \in E^D, l=1..P$ .

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

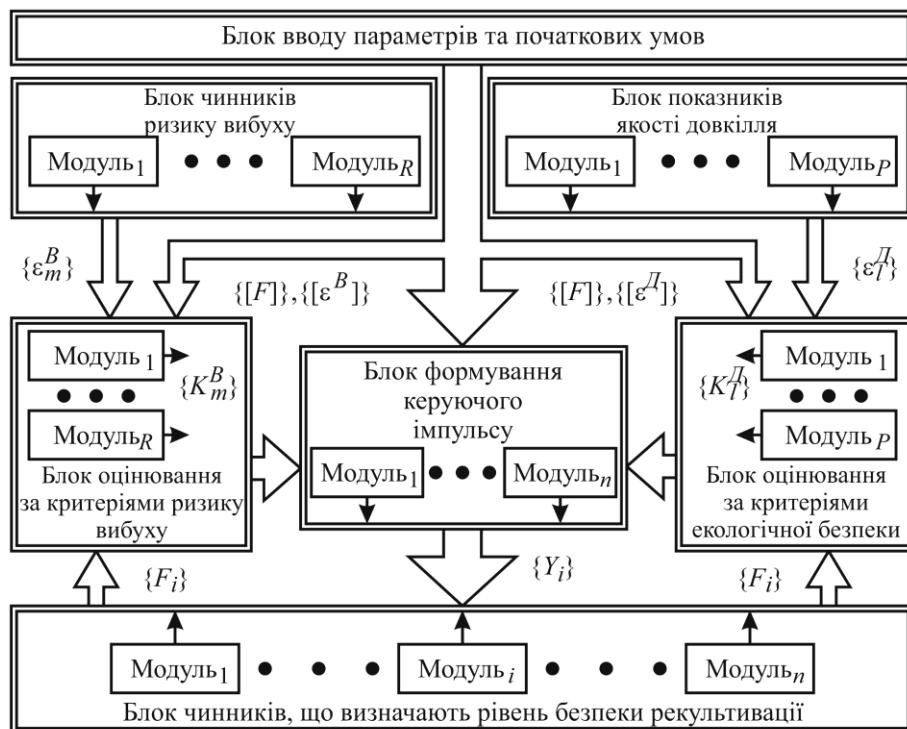


Рисунок 1 – Структура імітаційної математичної моделі системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів

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 рекультиватії 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 деякого критеріального параметра  $x$  можна визначити у наступному формалізованому вигляді

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

де  $[x]$  – граничне припустиме значення розгляданого параметра  $x$ . Вказаний підхід дозволяє уніфікувати критеріальні параметри різноманітного походження, які підбираються 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 трьома напрямками.

Таким чином, нормативний підхід до побудови критеріїв безпеки встановлює критеріальні залежності, які визначають безпеку, як стан, у якому діючі чинники, ризик вибуху та показники якості довкілля знаходяться у припустимих межах.

Інтегральний критерій безпеки визначається за найбільшим значенням з усіх окремих критеріїв безпеки комплексу  $K$ :

$$\chi^{KP} = \max K. \quad (14)$$

#### Висновки:

1. У представленому дослідженні проведено аналіз існуючих технологій рекультиватії земель, що можуть бути застосовані для місць знешкодження та знищення боєприпасів, та визначено можливості та обмеження їх застосування. Зокрема, встановлено, що вибір технологій рекультиватії місць знешкодження та знищення боєприпасів суттєво залежить від ризику вибуху наявних залишків вибухових речовин та пристроїв.

2. Вперше створено імітаційну модель системи управління безпекою рекультиватії земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Запропоновано розглядати необхідні для визначення рівня безпеки параметри місця знешкодження та знищення боєприпасів, які визначають параметри ризику вибуху, та показники якості довкілля, як відгуки на вплив чинників функціонування місця знешкодження та знищення боєприпасів. Критерії безпеки запропоновано визначати з використанням нормативного підходу за трьома напрямками: діючі чинники, параметри ризику вибуху та показники якості довкілля. Інтегральний критерій безпеки при цьому визначається як найбільше значення з усіх окремих критеріїв безпеки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Lima D. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment / D. Lima, M. Bezerra, E. Neves, F. Moreira // *Reviews on Environmental Health*. – 2011. – Vol. 26, Issue 2. – Pp. 101-110.
2. Poesen J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs / J. Poesen // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 2017. – Vol. 43, Issue 1. – Pp. 64–84.
3. Нечипорук Н. В. Утилизация непригодных для дальнейшего использования авиационных боеприпасов / Н. В. Нечипорук, М. А. Стеблина, Е. А. Полищук, В. Ю. Колосков // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2010. – № 48. – С. 227–233.
4. Spain J. C. Biodegradation of nitroaromatic compounds. / Spain J. C. // *Annual Review of Microbiology*. – 1995. – Vol. 49. – Pp. 523-555.
5. Bulloch G. Land Contamination: Technical Guidance on Special Sites: Explosives Manufacturing & Processing Sites. R&D Technical Report P5-042/TR/03 / G. Bulloch, K. Green, M. G. Sainsbury, J. S. Brockwell, J. E. Steeds, N. J. Slade. – Environment Agency, 2001. – 68 p.
6. Guilbaud M. The Environmental Impact of an Explosion. White Paper / M. Guilbaud. – Geode, 2020. – 43 p.
7. Zwijnenburg W. Amidst the debris... A desktop study on the environmental and public health impact of Syria's conflict / W. Zwijnenburg, K. te Pas. – Colophon, 2015. – 84 p.

8. 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.
9. Hathaway J. E. Explosive particle surface dispersion model for detonated military munitions / J. E. Hathaway, J. P. Rishel, M. E. Walsh, M. R. Walsh, S. Taylor // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2015. – Vol. 187, No. 415. – ID 4652.
10. Broomandi P. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review / P. Broomandi, M. Guney, J. R. Kim, F. Karaca // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – ID 9002.
11. 2021 BATA Explosions – Equatorial Guinea. Multi-Cluster/Sector Initial Rapid Assessment (MIRA). – OCHA, 2021. – 14 p.
12. Gorecki S. Human health risks related to the consumption of foodstuffs of plant and animal origin produced on a site polluted by chemical munitions of the First World War / S. Gorecki, F. Nesslany, D. Hube, J. Mullot, P. Vasseur, E. Marchioni, V. Camel, L. Noël, B. B. Le, T. Guérin, C. Feidt, X. Archer, A. Mahe, G. Rivière // *The Science of the Total Environment*. – 2017. – Vol. 599-600. – Pp. 314-323.
13. Pichtel J. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review / J. Pichtel // *Applied and Environmental Soil Science*. – 2016. – Vol. 2012. – ID 617236.
14. Olson K. How did the Passaic River, a Superfund site near Newark, New Jersey, become an Agent Orange dioxin TCDD hotspot? / K. Olson, M. Tharp // *Journal of Soil and Water Conservation*. – 2020. – Vol. 75, Issue 2. – Pp. 33A-37A.
15. Ryu H. Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range / H. Ryu, J. Han, J. W. Jung, B. Bae, K. Nam // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2007. – Vol. 29, Issue 4. – Pp. 259-269.
16. Vasarevicius S. Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds / S. Vasarevicius, K. Greičiūtė // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. – 2004. – Vol. 12, Issue 4. – Pp. 132-137.
17. Idzelis R. L. Investigation and evaluation of surface water pollution with heavy metals and oil products in Kairiai Military Ground territory / R. L. Idzelis, K. Greičiūtė, D. Paliulis // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. – 2006. – Vol. 14, Issue 4. – Pp. 183-190.
18. Lewis T. A. Bioremediation of soils contaminated with explosives / T. A. Lewis, D. A. Newcombe, R. L. Crawford // *Journal of Environmental Management*. – 2004. – Vol. 70, Issue 4. – Pp. 291-307.
19. Hawari J. Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralization / J. Hawari, S. Beaudet, A. Halasz, S. Thiboutot, G. Ampleman // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2000. – Vol. 54, Issue 5. – Pp. 605-618.
20. Rieger P. Basic Knowledge and Perspectives on Biodegradation of 2,4,6-Trinitrotoluene and Related Nitroaromatic Compounds in Contaminated Soil / Rieger, P.; Knackmuss, H. J. // in: *Biodegradation of nitroaromatic compounds*; Spain, J. C., Ed. – New York: Plenum Publishing Co., 1995 – Pp. 1-18.
21. Klausmeier R. E. The effect of trinitrotoluene on microorganisms / R. E. Klausmeier, J. L. Osmon, D. R. Walls // *Developments in Industrial Microbiology*. – 1973. – Vol. 15. – Pp. 309-317.
22. Kurinenko B. M. Specific toxic effects of 2,4,6-trinitrotoluene on *Bacillus subtilis* SK1. / B. M. Kurinenko, G. Y. Yakovleva, N. A. Denivarova, Y. V. Abreimova // *Applied Biochemistry and Microbiology*. – 2003. – Vol. 39, Issue 3. – Pp. 275-278.
23. Won W. D. Toxicity and mutagenicity of 2,4,6-trinitrotoluene and its microbial metabolites / W. D. Won, L. H. DiSalvo, J. Ng // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1976. – Vol. 31, Issue 4. – Pp. 576-580.
24. Comfort S. D. TNT transport and fate in contaminated soil / S. D. Comfort, P. J. Shea, L. S. Hundal, Z. Li, B. L. Woodbury, J. L. Martin, W. L. Powers // *Journal of Environmental Quality*. – 1995. – Vol. 24, Issue 6. – Pp. 1174-1182.
25. Certini G. The impact of warfare on the soil environment / G. Certini, R. Scalenghe, W. I. Woods // *Earth-Science Reviews*. – 2013. – Vol. 127. – Pp. 1-15.
26. Fayiga A. O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges / A. O. Fayiga // *Environmental Chemistry*. – 2019. – Vol. 16, Issue 2. – Pp. 81-91.
27. Ndibe T. A Review on Biodegradation and Biotransformation of Explosive Chemicals / T. Ndibe, B. Benjamin, W. Eugene, J. Usman // *European Journal of Engineering and Technology Research*. 2018. Vol. 3, Issue 11. – Pp. 58-65.
28. Kanwar V. S. Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review / V. S. Kanwar, A. Sharma, A. L. Srivastav, L. Rani // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – Vol. 27. P. 44835-44860.
29. Gao J.-j. Enhanced phytoremediation of TNT and cobalt co-contaminated soil by AfSSB transformed plant / J.-j. Gao, R.-h. Peng, B. Zhu, Y.-s. Tian, J. Xu, B. Wang, X.-y. Fu, H.-j. Han, L.-j. Wang, F.-j. Zhang, W.-h. Zhang, Y.-d. Deng, Y. Wan, Z.-J. Li, Q.-H. Yao // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2021. – Vol. 220. – ID 112407.
30. Doyle R. C. Composting Explosives/Organics Contaminated Soils / R. C. Doyle, J. D. Isbister, G. L. Anspach, J. F. Kitchensp. – Atlantic Research Corporation, 1986. – 198 p.
31. Колосков В. Ю. Модели та методи прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання твердих побутових відходів / В. Ю. Колосков // *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – № 4(1176). – С. 142-146.

**Didovets Yu., Koloskov V., Koloskova H., Jinadu A.**

#### **MODEL OF SAFETY MANAGEMENT SYSTEM OF LAND RECLUTIVATION OF PLACES OF AMMUNITION DISPOSAL AND DESTRUCTION**

An analysis of the impact of explosion hazards on the level of environmental safety of disposal and destruction of ammunition. An analysis of existing technologies of land reclamation that can be used for places of disposal and destruction of ammunition, and identified opportunities and limitations of their use. For the first time, a simulation model of the safety management system for land reclamation and ammunition destruction was created. During the development of the model, it is proposed to consider the parameters of the site of disposal and destruction of ammunition, which determine the parameters of explosion risk, and environmental quality indicators, as responses to the influence of factors of operation of the site of disposal and destruction of ammunition. Safety criteria are determined using a regulatory approach in three areas: current factors, explosion risk parameters and environmental quality indicators. The integrated safety criterion is defined as the highest value of all individual safety criteria.

**Key words:** safety level, simulation model, land recultivation, ammunition disposal and destruction, danger of explosion.

#### **REFERENCES**

1. Lima D., Bezerra M., Neves E., Moreira F. (2011). Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment. *Reviews on environmental health*. 26(2), 101-110.
2. Poesen, J. (2017). Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(1), 64-84.
3. Nechiporuk N. V., Steblina M. A., Polishchuk E. A., Koloskov V. Yu. (2010). Utilizacija neprigodnyh dlja dal'nejshego ispol'zovanija aviacionnyh boeprizasov [Disposal of aircraft munitions unsuitable for further use]. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, 48, 227-233. [in Russian].
4. Spain J.C. (1995). Biodegradation of nitroaromatic compounds. *Annual Review of Microbiology*, 49, 523-555.
5. Bulloch G., Green K., Sainsbury M. G., Brockwell J. S., Steeds J. E., Slade N. J. (2001). Land Contamination: Technical Guidance on Special Sites: Explosives Manufacturing & Processing Sites. R&D Technical Report P5-042/TR/03. Environment Agency, 68 p.
6. Guilbaud M. (2020). The Environmental Impact of an Explosion. White Paper. Geode, 43 p.
7. Zwijnenburg W., te Pas K. (2015). Amidst the debris... A desktop study on the environmental and public health impact of Syria's conflict. Colophon, 84 p.

8. Environmental Impact of Munition and Propellant Disposal. Final Report of Task Group AVT-115. (2010). Research and Technology Organisation / North Atlantic Treaty Organisation, 86 p.
9. Hathaway J. E., Rishel J. P., Walsh M. E., Walsh M. R., Taylor S. (2015). Explosive particle soil surface dispersion model for detonated military munitions. // *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(415), 4652.
10. Broomandi P., Guney M., Kim J. R., Karaca F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*, 12, 9002.
11. 2021 BATA Explosions – Equatorial Guinea. Multi-Cluster/Sector Initial Rapid Assessment (MIRA). (2021). OCHA, 14 p.
12. Gorecki S., Nessler F., Hube D., Mullot J., Vasseur P., Marchioni E., Camel V., Noël L., B. B. Le, Guérin T., Feidt C., Archer X., Mahe A., Rivière G. (2017). Human health risks related to the consumption of foodstuffs of plant and animal origin produced on a site polluted by chemical munitions of the First World War. *The Science of the Total Environment*, 599–600, 314–323.
13. Pichtel J. (2016). Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, 617236.
14. Olson K., Tharp M. (2020). How did the Passaic River, a Superfund site near Newark, New Jersey, become an Agent Orange dioxin TCDD hotspot? *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(2), 33A–37A.
15. Ryu H., Han J., Jung J. W., Bae B., Nam K. (2007). Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range. *Environmental Geochemistry and Health*, 29(4), 259–269.
16. Vasarevicius S., Greičiūtė K. (2004). Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(4), 132–137.
17. Idzelis R. L., Greičiūtė K., Paliulis D. (2006). Investigation and evaluation of surface water pollution with heavy metals and oil products in Kairiai Military Ground territory. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 14(4), 183–190.
18. Lewis T. A., Newcombe D. A., Crawford R. L. (2004). Bioremediation of soils contaminated with explosives. *Journal of Environmental Management*, 70(4), 291–307.
19. Hawari J., Beaudet S., Halasz A., Thiboutot S., Ampleman G. (2000). Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralization. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 54(5), 605–618.
20. Rieger P.; Knackmuss H. J. (1995). 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.; Plenum Publishing Co.: New York, 1–18
21. Klausmeier R. E., Osmon J. L., Walls D. R. (1973). The effect of trinitrotoluene on microorganisms. *Developments in Industrial Microbiology*, 15, 309–317.
22. Kurinenko B. M., Yakovleva G. Y., Denivarova N. A., Abreimova Y. V. (2003). Specific toxic effects of 2,4,6-trinitrotoluene on *Bacillus subtilis* SK1. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 39(3), 275–278.
23. Won W. D., DiSalvo L. H., Ng J. (1976). Toxicity and mutagenicity of 2,4,6-trinitrotoluene and its microbial metabolites. *Applied and Environmental Microbiology*, 31(4), 576–580.
24. Comfort S. D., Shea P. J., Hundal L. S., Li Z., Woodbury B. L., Martin J. L., Powers W. L. (1995). TNT transport and fate in contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 24(6), 1174–1182.
25. Certini G., Scalenghe R., Woods W. I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*, 127, 1–15.
26. Fayiga A. O. (2019). Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environmental Chemistry*, 16(2), 81–91.
27. Ndibe T., Benjamin B., Eugene W., Usman J. (2018). A Review on Biodegradation and Biotransformation of Explosive Chemicals. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 3(11), 58–65.
28. Kanwar V. S., Sharma A., Srivastav A. L., Rani L. (2020). Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 44835–44860.
29. Gao J.-j., Peng R.-h., Zhu B., Tian Y.-s., Xu J., Wang B., Fu X.-y., Han H.-j., Wang L.-j., Zhang F.-j., Zhang W.-h., Deng Y.-d., Wan Y., Li Z.-J., Yao Q.-H. (2021). Enhanced phytoremediation of TNT and cobalt co-contaminated soil by AfSSB transformed plant. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 220, 112407.
30. Doyle R. C., Isbister J. D., Anspach G. L., Kitchensp J. F. (1986). Composting Explosives/Organics Contaminated Soils. Atlantic Research Corporation, 198 p.
31. Koloskov V. Yu. Modeli ta metody prognovuvannya rivnja bezpeky poligonu zi zberigannya tverdyh pobutovyh vidhodiv [Models and methods for predicting the level of safety for the landfill from securing solid side-by-side inputs]. *Visnyk NTU "KhPI". Serija: Mehaniko-tehnologichni systemy ta komplekxy*, 4(1176), 142–146. [in Ukrainian].