

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Дідовець Юрій Юрійович

УДК 504.062.4::614.83

ДИСЕРТАЦІЯ

ТЕХНОЛОГІЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ
БОЄПРИПАСІВ

Спеціальність – Технології захисту навколишнього середовища

Галузь знань – Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Ю.Ю. Дідовець

Науковий керівник

Колосков Володимир Юрійович, кандидат технічних наук, доцент

Черкаси – 2025

АНОТАЦІЯ

Дідовець Ю. Ю. Технології рекультивації земель місць знешкодження боєприпасів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – Технології захисту навколишнього середовища – Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Черкаси 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково практичного завдання в галузі технологій захисту навколишнього середовища, а саме підвищенню екологічної безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів шляхом розробки методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі «СУЧАСНИЙ СТАН ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ»** надано аналітичний огляд сучасного стану захисту навколишнього середовища від негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів. Виявлено особливості негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище, зокрема, встановлено

комплексний характер вказаного впливу на ґрунти земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Встановлено відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити весь комплекс завдань із забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Встановлено необхідність утилізації великих обсягів небезпечних біологічних відходів, що утворилися внаслідок обстрілів та руйнування тваринницьких комплексів на територіях, що постраждали від військової агресії.

У другому розділі «МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ» розроблено імітаційну модель системи управління безпекою рекультивації 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. Із застосуванням вказаного підходу розроблено вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Визначено значущі показники критерію безпеки, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Перевагою запропонованого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є одночасне формалізоване представлення показників рівня небезпеки вибуху та якості довкілля, що у свою чергу забезпечує можливість використовувати його для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації у імітаційних числових експериментах. Використання вдосконаленого критерію дозволяє формувати комплексну оцінку поточного стану місця знешкодження та знищення боєприпасів, а також прогнозувати його зміну в результатів реалізації заходів з рекультивації земель. Розроблено вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, придатний не лише для довгострокового оцінювання, а й для оперативного управління безпекою подібних об'єктів, шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів було. Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізувавши кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

У **третьому розділі «МЕТОДИКА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ»** розроблено методiku рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, яка включає в себе три етапи, а саме: Етап 1 – моніторинг земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, який реалізований на основі

безпілотної авіаційної системи моніторингу з використанням розроблених методу та критерію оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів; Етап 2 – розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, який реалізується спеціалізованими піротехнічними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій з використанням результатів моніторингу, проведеного на Етапі 1; Етап 3 – біологічне очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів з використанням способу фіторе mediaції. Розроблена вдосконалена методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів, що дозволяє визначити наявність таких металів як Al, Cu, Fe, Mg, Ni та Zn у пробах ґрунту місця вибуху. Застосування еталонних спектрів поглинання досліджуваного зразка ґрунту та еталонних спектрів різних речовин з окремими смугами, не зачепленими іншими компонентами, дозволяє ідентифікувати склад складних хімічних сполук та окремі його специфічні компоненти. З використанням запропонованою методики встановлено, що такі метали як Mg, Ni та Zn демонструють стабільну присутність у ґрунті місця вибуху з невеликою кількістю. Натомість для таких металів, як Al, Cu та Fe, ми спостерігаємо різке зниження логарифмічного значення пропускання на глибині 10...15 см, що означає, що ці елементи накопичуються на цих глибинах ґрунту після вибухів.

У четвертому розділі «РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ» розроблено технологію рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, яка складається з чотирьох технологічних циклів, а саме: технологічного циклу моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали

внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу розмінування земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу біологічного очищення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу утилізації біологічних відходів, що утворилися внаслідок військової агресії російської федерації. Перші три цикли відповідають реалізації Етапів I-III розробленої у попередньому розділі методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Четвертий технологічний цикл є практичним вдосконаленням розробленої методики та застосовується для інтенсифікації зростання та розвитку рослин, що використовуються при фіторемедіації. Для реалізації моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації розроблено спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів, який захищено двома Патентами України на корисну модель. Розроблено мобільний комплект польових досліджень ґрунту, який дозволяє визначити експрес-методом характеристики якості ґрунту одночасно за показниками його родючості та вмістом основних забруднювачів, що надходять до нього внаслідок бойових дій. Отримані результати, в свою чергу, дають змогу визначити технологічні характеристики процесу рекультивації земель, що постраждали внаслідок бойових дій.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів полягає у наступному:

1. Вперше розроблено імітаційну математичну модель системи управління безпекою рекультивації земель місця 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.

2. Удосконалено критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів на основі використання нормативного підходу. Визначено значущі показники, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів. Перевагою запропонованого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є одночасне формалізоване представлення показників рівня небезпеки вибуху та якості довкілля, що у свою чергу забезпечує можливість використовувати його для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації у імітаційних числових експериментах.

3. Удосконалено метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізуючи кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

4. Вперше розроблено методику рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, яка включає в себе три етапи, а саме: Етап 1 – моніторинг земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізований на основі безпілотної авіаційної системи моніторингу з використанням розроблених методу та критерію оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів; Етап 2 – розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізується спеціалізованими піротехнічними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій з використанням результатів моніторингу, проведеного на Етапі 1; Етап 3 – біологічне очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – з використанням способу фіторе mediaції .

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Розроблено технологію рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, яка складається з чотирьох технологічних циклів, а саме: технологічного циклу моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу розмінування земель

сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу біологічного очищення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу утилізації біологічних відходів, що утворилися внаслідок військової агресії російської федерації.

2. Розроблено спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів шляхом використання безпілотної авіаційної системи зі встановленими засобами ідентифікації залишків боєприпасів у місці їх знешкодження та знищення.

3. Розроблено мобільний комплект польових досліджень ґрунту, який дозволяє визначити експрес-методом характеристики якості ґрунту одночасно за показниками його родючості та вмістом основних забруднювачів, що надходять до нього внаслідок бойових дій. Отримані результати, в свою чергу, дають змогу визначити технологічні характеристики процесу рекультивації земель, що постраждали внаслідок бойових дій.

Основні результати дослідження використовуються у практичній діяльності частини піротехнічних робіт та гуманітарного розмінування Аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Кіровоградській області (акт про використання від 08.11.2023 р.) та ТОВ «Агрофірма Софіївська» (с. Софіївка Компанівського району Кіровоградської області) (акт про впровадження від 21.12.2023 р.), а також у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України при підготовці здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої

освіти за освітньою програмою «Техногенно-екологічна безпека» зі спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (акт про впровадження від 08.12.2022 р.).

Ключові слова: екологічна безпека, вибухонебезпека, боєприпас, знешкодження, забруднення, ґрунт, важкі метали, критерій, рівень безпеки, рекультивація, методика, імітаційна модель.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / **Ю.Ю. Дідовець**, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова, А. Джінаду. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10(2/2021). С. 64–69. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.10.

Здобувачем особисто проведено літературний огляд та розроблено модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

2. Вдосконалений критерій в методі оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / В.А. Андронов, **Ю.Ю. Дідовець**, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова, А. Джінаду. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 12 (2/2022). С. 43–50. DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.6.

Здобувачем особисто проведено літературний огляд, визначено значущі показники для оцінювання рівня безпеки, а також вдосконалено критерій та метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

3. **Didovets Yu.** Technique of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. Technogenic and ecological safety. 2024. Vol. 15(1/2024). P. 80–89. DOI: 10.52363/2522-1892.2024.1.9.

Статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних

Scopus:

4. Method of Investigation of Soil Contamination with Heavy Metals at the Sites of Explosions / **Didovets Yu.**, Koloskov V., Bandurian B., Koloskova H. *Key Engineering Materials*. 2024. Vol. 988. P. 107–116.

Здобувачу особисто належить методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. Здобувачем особисто проведено відбір проб забрудненого ґрунту в місцях, де відбувалися вибухи, а також визначення забруднення з використанням запропонованої методики.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. **Дідовець Ю.Ю.** Аналіз небезпек існуючих методів знешкодження та утилізації вибухонебезпечних предметів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених*. Х.: НУЦЗ України, 2021. С. 296. (Форма участі – очна).

6. **Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М.** Аналіз методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі (STEI-2021): збірка матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон: Морський інститут імені контр-адмірала Ф.Ф. Ушакова, 2021. С. 47–50. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

7. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Методи рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція “Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку” : збірник матеріалів (21–22 жовтня 2021, м. Херсон, Україна). Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 81–84. (Форма участі – заочна).*

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

8. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць вибухів боєприпасів. *«Подолання екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022»*: Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», (26–27 травня 2022 року, Полтава – Львів). Полтава : НУПП, 2022. С. 234–237. (Форма участі – заочна).

Здобувачем особисто проведено літературний огляд та розроблено модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

9. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Аналіз компонентів забруднення ґрунтів під час вибухів. *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 179–181. (Форма участі – очна).

Здобувачем особисто проведено аналіз компонентів забруднення ґрунтів під час вибухів.

10. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *П'ята Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*: збірник матеріалів (27-28 жовтня 2022, м. Херсон, Україна). Херсон: «Олді+», 2022. С. 79–82. (Форма участі – очна).

Здобувачем особисто проведено літературний огляд та розроблено модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

11. Didovets Yu.Yu. Model of safety management system of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2022. С. 398. (Форма участі – очна).

12. **Дідовець Ю.Ю.** Вдосконалення критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених*. Х.: НУЦЗ України, 2023. С. 392. (Форма участі – очна).

13. **Дідовець Ю.Ю.,** Джінаду А. Визначення шкал показників для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених*. Х.: НУЦЗ України, 2023. С. 393. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних підходів до визначення шкал показників оцінювання рівня безпеки, а також теоретичне обґрунтування визначення шкал показників, що застосовуються для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

14. Технологія рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали від військової агресії рф / В.А. Андронов, **В.Ю. Колосков, Ю.Ю. Дідовець,** В.Ю. Єременко, І.С. Шурчилова. *The 8th International scientific and practical conference “Science and technology: problems, prospects and innovations”* (May 11-13, 2023). CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2023. С. 11–17. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить технологічна схема рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали від військової агресії рф.

15. Колосков В. Ю., **Дідовець Ю. Ю.,** Борисенко Ю. Д. Розробка методики польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової

агресії рф. *The 7th International scientific and practical conference “Modern research in science and education”* (March 7-9, 2024) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2024. С. 165–170. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить методика польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової агресії рф.

16. **Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Бандурян Б.Б.** Методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. *Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції.* Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2024. С. 296–297. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. Здобувачем особисто проведено відбір проб забрудненого ґрунту в місцях, де відбувалися вибухи, а також визначення забруднення з використанням запропонованої методики.

Патенти:

17. 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 / **Ю.Ю. Дідовець, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова;** (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. № u202103377, заяв. 15.06.2021; опубл. 20.10.2021, бюл. № 42.

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних способів виявлення осередків небезпеки, теоретичне та економіко технологічне обґрунтування ефективності використання

беспілотних апаратів для виявлення осередків небезпеки, що виникли внаслідок вибухів.

18. Пат. 155125 Україна, F42D5/02, G01V3/16, G01V8/00. Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів / **Ю.Ю. Дідовець**, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u202303776, заяв. 07.08.2023; опубл. 17.01.2024, бюл. № 3.

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних способів виявлення осередків небезпеки, теоретичне та економіко технологічне обґрунтування ефективності використання беспілотних апаратів для виявлення осередків небезпеки, що виникли внаслідок вибухів.

ABSTRACT

Didovets Yu. Yu. Technologies for land recultivation of ammunition disposal sites – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty – Environmental Protection Technologies – National University of Civil Protection of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Cherkasy, 2025.

The dissertation is dedicated to solving an important scientific and practical problem in the field of environmental protection technologies, namely, increasing the environmental safety of ammunition disposal and destruction sites by developing a technique for the recultivation of land at ammunition disposal and destruction sites.

The introduction provides a general description of the dissertation work. The relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the work and the main research objectives are formulated, the connection of the work with scientific programs is shown. Data on the applicant's personal contribution, approval of the work and publications are provided.

The first section, “CURRENT STATE OF ENVIRONMENTAL PROTECTION FROM THE NEGATIVE IMPACT OF AMMUNITION DISPOSAL AND DESTRUCTION SITES”, provides an analytical overview of the current state of environmental protection from the negative impact of ammunition disposal and destruction sites. The specifics of the negative impact of ammunition disposal and destruction sites on the environment have been identified, in particular, the complex nature of the specified impact on the soils of ammunition disposal and destruction sites has been described. It has been found that there is currently no single technology for the recultivation of lands of such

facilities that would allow solving the entire complex of tasks for ensuring technogenic and ecological safety. The need of disposing large volumes of hazardous biological waste collected as a result of shelling and destruction of livestock complexes on territories affected by military aggression has been stated.

In **the second section** “MODELS AND METHODS OF CONTROL OF THE SAFETY LEVEL OF THE PROCESS OF RECULTIVATION OF LAND AT AMMUNITION DISPOSAL AND DESTRUCTION SITES” a simulation model of the safety control system for the recultivation of land at ammunition disposal and destruction sites has been developed. It is proposed to consider the parameters of the ammunition disposal and destruction site necessary for determining the safety level, which determine the explosion risk parameters and environmental quality indicators, as responses to the influence of the factors of the operation of the ammunition disposal and destruction site. It is proposed to determine the safety criteria using a normative approach in three directions: operating factors, explosion risk parameters and environmental quality indicators. The integral safety criterion is thus defined as the largest value of all individual safety criteria. Using the above approach, an improved criterion for assessing the level of safety of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites has been developed. Significant indicators of the safety criterion have been determined, namely: the probability of an explosion, the magnitude of the excessive pressure in the air shock wave, and the level of land degradation of the ammunition disposal and destruction site. The advantage of the proposed criterion for assessing the level of safety of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites is the simultaneous formalized presentation of indicators of the level of explosion hazard and environmental quality, which in turn provides the opportunity to use it to assess the level of safety

of the recultivation process in simulated numerical experiments. The use of the improved criterion allows for a comprehensive assessment of the current state of the ammunition disposal and destruction site, as well as to predict its change in the results of land recultivation measures. An improved method for assessing the safety level of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites has been developed, suitable not only for long-term assessment, but also for operational safety control of such facilities, by using an improved criterion for assessing the safety level of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites. The main advantage of the proposed method compared to those used today is that it takes into account the entire complex of existing factors of explosion risk and environmental hazard, while minimizing the number of significant environmental quality indicators. This makes it possible to reduce the amount of calculations required for an accurate assessment by a set of regulatory criteria, and also simplifies the assessment procedure without losing accuracy.

In **the third section** "METHOD FOR RECULTIVATION OF LAND AT AMMUNITION DISPOSAL AND DESTRUCTION SITES" the technique for the recultivation of land at ammunition disposal and destruction sites has been developed, which includes three stages, namely: Stage 1 – monitoring of land at ammunition disposal and destruction sites, which is implemented on the basis of an unmanned aerial monitoring system using the developed method and criteria for assessing the level of safety of ammunition disposal and destruction sites; Stage 2 – demining of land at ammunition disposal and destruction sites, which is implemented by specialized pyrotechnic units of the State Emergency Service of Ukraine using the results of monitoring conducted at Stage 1; Stage 3 – biological cleaning of land at ammunition disposal and destruction sites using the

phytoremediation method. An improved method for studying soil contamination by heavy metals at explosion sites has been developed, which allows determining the presence of such metals as Al, Cu, Fe, Mg, Ni and Zn in soil samples from the explosion site. The use of reference absorption spectra of the studied soil sample and reference spectra of various substances with separate bands not affected by other components allows identifying the composition of complex chemical compounds and its individual specific components. Using the proposed method, it was established that metals such as Mg, Ni and Zn demonstrate a stable presence in the soil of the explosion site with a small amount. In contrast, for metals such as Al, Cu and Fe, we observe a sharp decrease in the logarithmic value of transmission at a depth of 10...15 cm, which means that these elements accumulate at these soil depths after explosions.

In the fourth section "RECOMMENDATIONS ON IMPLEMENTING THE RESULTS OF THE DISSERTATION RESEARCH", a technology for the recultivation of agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation has been developed, which consists of four technological cycles, namely: a technological cycle for monitoring agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation; a technological cycle for demining agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation; a technological cycle for biological cleaning of agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation; a technological cycle for the disposal of biological waste formed as a result of the military aggression of the Russian Federation. The first three cycles correspond to the implementation of Stages I-III of the technique for the recultivation of lands of ammunition disposal and destruction sites developed in the previous section. The fourth technological cycle is a practical improvement of the developed technique and is used to intensify the

growth and development of plants used in phytoremediation. To implement the monitoring of agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation, a method for detecting danger sources during the recultivation of lands at the site of disposal and destruction of ammunition has been developed, which is protected by two Patents of Ukraine for a useful model. A mobile set of field soil research has been developed, which allows determining the characteristics of soil quality using express method simultaneously with indicators of its fertility and the content of major pollutants entering it as a result of hostilities. The results obtained, in turn, make it possible to determine the technological characteristics of the process of recultivation of lands affected by hostilities.

The scientific novelty of the obtained results is in the following:

1. For the first time, a simulation mathematical model of the safety control system for land recultivation of the site of disposal and destruction of ammunition has been developed. It is proposed to consider the parameters of the site of disposal and destruction of ammunition necessary for determining the level of safety, which determine the explosion risk parameters, and environmental quality indicators, as responses to the influence of factors of the functioning of the site of neutralization and destruction of ammunition. It is proposed to determine safety criteria using a normative approach in three directions: operating factors, explosion risk parameters and environmental quality indicators. The integral safety criterion is defined as the largest value of all individual safety criteria.

2. The criterion for assessing the level of safety of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites has been improved based on the use of a normative approach. Significant indicators have been determined, namely: the probability of an explosion, the value of the excess pressure in the air shock wave, and the level of land degradation of the ammunition

disposal and destruction site. The advantage of the proposed criterion for assessing the level of safety of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites is the simultaneous formalized presentation of indicators of the level of explosion hazard and environmental quality, which in turn provides the opportunity to use it to assess the level of safety of the recultivation process in simulation numerical experiments.

3. The method for assessing the safety level of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites has been improved by using an improved criterion for assessing the safety level of the process of land recultivation of ammunition disposal and destruction sites. The main advantage of the proposed method compared to those used today is that it takes into account the entire complex of existing factors of explosion risk and environmental hazard, while minimizing the number of significant environmental quality indicators. This makes it possible to reduce the amount of calculations required for an accurate assessment by a set of regulatory criteria, and also simplifies the assessment procedure without losing accuracy.

4. For the first time, a technique for the recultivation of lands of ammunition disposal and destruction sites has been developed, which includes three stages, namely: Stage 1 – monitoring of lands of ammunition disposal and destruction sites – implemented on the basis of an unmanned aerial monitoring system using the developed method and criteria for assessing the level of safety of ammunition disposal and destruction sites; Stage 2 – demining of lands of ammunition disposal and destruction sites – implemented by specialized pyrotechnic units of the State Emergency Service of Ukraine using the results of monitoring conducted at Stage 1; Stage 3 – biological cleaning of lands of ammunition disposal and destruction sites – using the phytoremediation method.

The practical significance of the obtained results is as follows:

1. A technology for the recultivation of agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation has been developed, which consists of four technological cycles, namely: a technological cycle for monitoring agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation; a technological cycle for demining agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation; a technological cycle for biological cleaning of agricultural lands affected by the military aggression of the Russian Federation; a technological cycle for the disposal of biological waste generated as a result of the military aggression of the Russian Federation.

2. A method has been developed to identify hotspots of danger during land recultivation at the site of ammunition disposal and destruction by using an unmanned aircraft system with installed means of identifying ammunition residues at the site of their disposal and destruction.

3. A mobile field soil research kit has been developed, which allows for rapid determination of soil quality characteristics simultaneously by its fertility indicators and the content of major pollutants entering it as a result of hostilities. The results obtained, in turn, allow for determination of technological characteristics of the process of recultivation of lands affected by hostilities.

The main results of the study are used in the practical activities of the pyrotechnic works and humanitarian demining of the Special Purpose Emergency Rescue Detachment of the Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in the Kirovohrad region (act of use dated 08.11.2023) and LLC "Agrofirma Sofiivska" (village Sofiivka, Kompanivskyi district, Kirovohrad region) (act of implementation dated 21.12.2023), as well as in the educational process of the National University of Civil Protection of Ukraine in the training of

applicants for the third (educational and scientific) level of higher education in the educational program "Technogenic and Environmental Safety" with specialty 183 "Environmental Protection Technologies" (act of implementation dated 08.12.2022).

Keywords: environmental safety, explosion hazard, ammunition, neutralisation, pollution, soil, heavy metals, criterion, safety level, reclamation, methodology, simulation model..

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	27
1 Сучасний стан захисту навколишнього середовища від негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів.....	36
1.1 Аналіз особливостей негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище.....	36
1.2 Аналіз існуючих технологій відновлення ґрунтів місць знешкодження та знищення боєприпасів.....	39
1.3 Аналіз особливостей рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів в умовах військової агресії рф.....	42
1.4 Аналіз сучасних методик ремедіації важких металів.....	45
Висновки за розділом 1.....	56
2 Моделі та методи управління рівнем безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.....	57
2.1 Імітаційна математична модель системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів....	57
2.2 Вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів....	62
2.3 Вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів....	67
Висновки за розділом 2.....	68

С.

3	Методика рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.....	71
3.1	Розробка методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.....	71
3.2	Вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів....	79
	Висновки за розділом 3.....	90
4	Рекомендації щодо впровадження методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.....	92
4.1	Технологія рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії рф.....	92
4.2	Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.....	98
4.3	Мобільний комплект польових досліджень ґрунту.....	104
4.4	Практичне впровадження отриманих результатів дослідження.....	106
	Висновки за розділом 4.....	107
	Загальні висновки.....	109
	Список використаних джерел.....	112
	Додаток А. Список публікацій за темою дослідження.....	130
	Додаток Б. Патенти України на корисні моделі, отримані за результатами дослідження.....	138
	Додаток В. Документи про впровадження результатів дослідження.....	141

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. 24 лютого 2022 року почалася широкомасштабна військова агресія російської федерації проти України, що триває по теперішній час. Масовані обстріли нашої держави поєднані з окупацією окремих її регіонів призвели до суттєвого порушення екологічного стану на всій її території.

Збройні конфлікти у світі призводили та призводять до масштабного забруднення великих територій вибухонебезпечними предметами. Сьогодні як ніколи актуальною є вказана проблема для України. Найбільшого забруднення при дії вибухів зазнають ґрунти. Актуальність завдання забезпечення екологічної безпеки об'єктів, забруднених вибуховими речовинами, є сьогодні беззаперечним для світової спільноти. Метою діяльності у цьому напрямку має стати відновлення земель місць, забруднених внаслідок вибухів, зокрема місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Зі звільненням окупованих земель Харківської та інших областей України нагальним завданням постає якнайшвидше їх відновлення, зокрема, за напрямом поновлення родючості ґрунтів, що є важливою основою повоєнної економічної відбудови нашої держави. Актуальним у цьому зв'язку є завдання розробки нових та вдосконалення існуючих технологій рекультивації земель, природний стан яких було порушено внаслідок військової агресії російської федерації, зокрема, місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі технологій захисту навколишнього

середовища Національного університету цивільного захисту України (м. Черкаси) відповідно до Закону України від 11 серпня 2001 року № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (зі змінами), Розпорядження Кабінету міністрів України від 21 квітня 2021 року № 443-р «Про затвердження Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року» та Указу Президента України №722/2019 від 30 вересня 2019 року «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», у рамках науково-дослідної роботи «Розробка технології рекультивації земель місць знешкодження боєприпасів» (№ ДР 0121U000001), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка методики рекультивації земель місць знешкодження боєприпасів.

Об'єктом дослідження є технології захисту навколишнього середовища від негативного впливу, пов'язаного зі знешкодженням та знищенням боєприпасів.

Предметом дослідження є моделі та методи управління рівнем безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Для досягнення мети **були поставлені та вирішені наступні задачі дослідження:**

- 1) дослідити сучасний стан захисту навколишнього середовища від негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів;
- 2) розробити модель системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів;
- 3) вдосконалити критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів;

4) вдосконалити метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів;

5) розробити методику рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Методи дослідження. Методи системного аналізу використовувались при дослідженні сучасного стану захисту навколишнього середовища від негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів, а також розробки критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; методи імітаційного моделювання та математичної логіки використовувались при розробці моделі системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів та методу оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; метод фіторе mediaції при розробці методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів полягає у наступному:

1. *Вперше* розроблено імітаційну математичну модель системи управління безпекою рекультивації земель місця 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.

2. *Удосконалено* критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів на основі використання нормативного підходу. Визначено значущі показники, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів. Перевагою запропонованого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є одночасне формалізоване представлення показників рівня небезпеки вибуху та якості довкілля, що у свою чергу забезпечує можливість використовувати його для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації у імітаційних числових експериментах.

3. *Удосконалено* метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізуювши кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

4. *Вперше* розроблено методику рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, яка включає в себе три етапи, а

саме: Етап 1 – моніторинг земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізований на основі безпілотної авіаційної системи моніторингу з використанням розроблених методу та критерію оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів; Етап 2 – розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізується спеціалізованими піротехнічними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій з використанням результатів моніторингу, проведеного на Етапі 1; Етап 3 – біологічне очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – з використанням способу фітореMediaції .

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Розроблено технологію рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації , яка складається з чотирьох технологічних циклів, а саме: технологічного циклу моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу розмінування земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу біологічного очищення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу утилізації біологічних відходів, що утворилися внаслідок військової агресії російської федерації.
2. Розроблено спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів шляхом

використання безпілотної авіаційної системи зі встановленими засобами ідентифікації залишків боєприпасів у місці їх знешкодження та знищення.

3. Розроблено мобільний комплект польових досліджень ґрунту, який дозволяє визначити експрес-методом характеристики якості ґрунту одночасно за показниками його родючості та вмістом основних забруднювачів, що надходять до нього внаслідок бойових дій. Отримані результати, в свою чергу, дають змогу визначити технологічні характеристики процесу рекультивації земель, що постраждали внаслідок бойових дій.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто і наведені в роботах [1-18]. В наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, особисто здобувачу належать: [1] – літературний огляд та модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; [2] – літературний огляд, визначення, значущих показників для оцінювання рівня безпеки, вдосконалені критерії та метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; [4] – методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів, відбір проб забрудненого ґрунту в місцях, де відбувалися вибухи, а також визначення забруднення з використанням запропонованої методики; [6] – літературний огляд та порівняльна характеристика різних методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; [7] – літературний огляд та порівняльна характеристика різних методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; [8] – літературний огляд та модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення

боєприпасів; [9] – аналіз компонентів забруднення ґрунтів під час вибухів; [10] – літературний огляд та модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; [13] – літературний огляд та порівняльна характеристика різних підходів до визначення шкал показників оцінювання рівня безпеки, а також теоретичне обґрунтування визначення шкал показників, що застосовуються для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів; [14] – технологічна схема рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали від військової агресії російської федерації; [15] – методика польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової агресії російської федерації; [16] – методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. Здобувачем особисто проведено відбір проб забрудненого ґрунту в місцях, де відбувалися вибухи, а також визначення забруднення з використанням запропонованої методики; [17] – літературний огляд та порівняльна характеристика різних способів виявлення осередків небезпеки, теоретичне та економіко технологічне обґрунтування ефективності використання безпілотних апаратів для виявлення осередків небезпеки, що виникли внаслідок вибухів; [18] – літературний огляд та порівняльна характеристика різних способів виявлення осередків небезпеки, теоретичне та економіко технологічне обґрунтування ефективності використання безпілотних апаратів для виявлення осередків небезпеки, що виникли внаслідок вибухів;

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», Харків, Національний

університет цивільного захисту України, 2021, 2022, 2023 (форма участі – очна); I Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі (STEI-2021)», Херсон, Морський інститут імені контр-адмірала Ф.Ф. Ушакова, 2021 (форма участі – заочна); I Міжнародній науково-практичній конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», Полтава, Національний університет «Полтавська політехніка» (форма участі – заочна); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях», Дніпро, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2022 (форма участі – очна); Четвертій та П'ятій Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку», Херсон, 2021, 2022 (форма участі – очна); The 8th International scientific and practical conference “Science and technology: problems, prospects and innovations”, Осака, Японія (форма участі – заочна); The 7th International scientific and practical conference “Modern research in science and education”, Чикаго, Сполучені Штати Америки, 2024 (форма участі – заочна); Міжнародній науково-практичній конференції «Problems of Emergency Situations», Харків, Національний університет цивільного захисту України, 2024 (форма участі – очна).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 4 наукових статтях, з них 3 статті у фахових виданнях категорії Б Переліку МОН України, 1 стаття у закордонному науковому періодичному виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus, та представлені у вигляді 12

доповідей на 11 наукових конференціях. Отримано 2 патенти на корисні моделі.

Список публікацій за результатами досліджень наведено у Додатку А.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота загальним об'ємом 144 сторінки складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 132 найменувань і 3 додатків, містить 27 рисунків та 5 таблиць.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ

1.1 Аналіз особливостей негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище

Вплив на ґрунти у місці знешкодження та наступного знищення боєприпасів визначається чинниками вибуху та складається з наступних фізичних та хімічних компонентів [19-24]:

- 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 [25-29]. Зокрема, було встановлено наявність важких металів – хрому, нікелю, свинцю, цинку, марганцю – у ґрунті [30] та поверхневих водах [31] 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–тринітротолуол (тринітротолуол), гексагідро–1,3,5–тринітро–1,3,5–триазин (гексоген) та октагідро–1,3,5,7–тетранітро–1,3,5,7–тетразоцин (октоген) [32]. Вказані речовини Американським агентством охорони навколишнього природного середовища включено до переліку «пріоритетних забруднювачів» [33]. 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 [34], гриби [35], водорості та рослини [36], безхребетні та риби [37]. Потрапляння ж цих забруднювачів у харчовий ланцюг становить загрозу для здоров'я та життя людей [38-40].

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 [33, 34, 41]. Останнє має бути враховано при виборі технологій рекультивації земель у місцях, де відбуваються вибухи, зокрема, у місцях знешкодження та знищення боєприпасів.

Ґрунт військових полігонів також сильно забруднюється свинцем, оскільки в ньому накопичуються кулі, які можуть змінити фундаментальні властивості ґрунту, включаючи рН, здатність до обміну катіонів, вміст вологи, тощо [42, 43]. Наприклад, у одній відстріляній кулі зазвичай міститься 97 % свинцю, 2 % сурьми, 0,5 % миш'яку, 0,5 % нікелю та 0,1 % міді [44].

У певних випадках у ґрунті військового полігону було діагностовано вміст свинцю навіть понад 1000 мг/кг [45, 46], гранично допустима концентрація якого у ґранті складає 32 мг/кг [47]. У роботі [44] вказано, що в ґрунті військових полігонів присутні значні концентрації іонів Pb^{2+} та Cu^{2+} , які можуть потрапляти у ґрунтові води після розчинення, а також у повітря у вигляді дрібнодисперсного аерозолі. Свинець також має схильність до накопичення у верхньому шарі ґрунту, оскільки він є малорухливим забруднювачем [43, 48, 49].

У результаті аналізу існуючих технологій рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів [1] можна зробити висновок про відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити весь комплекс завдань із забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Причиною цього є, зокрема відсутність єдиного комплексного критерію оцінки безпеки процесу рекультивації, що одночасно враховував би чинники вибухонебезпеки, яку

можуть становити не лише залишки боєприпасів, а й сам забруднений вибуховими речовинами ґрунт, та чинники екологічної небезпеки, пов'язаних з усім спектром впливів на ґрунт, зокрема, компресійного впливу, забруднення важкими металами та іншими хімічними речовинами, тощо.

1.2 Аналіз існуючих технологій відновлення ґрунтів місць знешкодження та знищення боєприпасів

Для відновлення ґрунтів, забруднених внаслідок вибухів, можуть використані наступні технології [19]:

- 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 [33, 50]. 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 води 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 [51, 52], 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 [53].

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 посталі завдання. Необхідним є створення на їх основі єдиного комплексу технологій захисту навколишнього середовища та методики їх

застосовування 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.

1.3 Особливості рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів в умовах військової агресії російської федерації

Бойові дії супроводжуються постійними вибухами та пострілами, що призводять до забруднення земель важкими металами, зокрема, хромом, нікелем, свинцем, цинком та марганцем [30], а також органічними вибуховими речовинами [32]. Дослідження різних вчених щодо, зокрема, забруднення ґрунтів після пострілів зі стрілецької та артилерійської зброї показали високий вміст в них свинцю та міді [44, 45]. Загалом, негативний вплив на ґрунти у місці, де відбувалися вибухи боєприпасів, можна розподілити на наступні складові [1]:

- елементи боєприпасів на поверхні ділянки ґрунту, а також на глибині, що можуть становити вибухонебезпеку, зокрема, нерозірвані боєприпаси;
- 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;
- забруднення важкими металами;
- забруднення іншими хімічними речовинами, що є складовою частиною заряду боєприпасів.

В умовах військової агресії російської федерації суттєво потерпають від обстрілів підприємства тваринницького комплексу. Зокрема, на території Харківської області частково або повністю зруйновано велику кількість тваринницьких комплексів на території регіону (рис. 1.1), окупантами було вбито велику кількість худоби [54-56].



Рисунок 1.1 – Зруйнований внаслідок обстрілу тваринницький комплекс у Харківській області

Утворені внаслідок цього обсяги біологічних відходів не було утилізовано належним чином (рис. 1.2), тому актуальним є завдання захисту навколишнього природного середовища від загроз, пов'язаних з негативним впливом на навколишнє природне середовище.

Біологічні відходи є комплексним джерелом небезпек для людини та навколишнього природного середовища. Окрім надходження токсичних

забруднювачів до ґрунту та підземних вод, біологічні відходи можуть бути інфіковані збудниками хвороб, небезпечних для людини та тварин.



Рисунок 1.2 – Несанкціоноване зберігання біологічних відходів від загибелі худоби в результаті обстрілу тваринницького комплексу

При поводженні з біологічними відходами необхідно дотримуватися суворих правил їх збирання, транспортування та утилізації. В Україні законодавчо заборонено утилізувати біологічні відходи на побутових сміттєзвалищах. Крім того, відходи органічного і тваринного походження, захоронені на скотомогильниках, скорочують площі родючих земель.

Світовий та національний досвід поводження з біологічними відходами демонструє складність створення комплексних систем відповідного призначення. Повністю вирішити поставлене завдання сьогодні виявилось не

під силу навіть економічно розвинутим державам через високу вартість та технічну складність реалізації систем поводження з біологічними відходами.

1.4 Аналіз сучасних методик ремедіації важких металів

ВООЗ та Агенція з охорони довкілля США визначили забруднення важкими металами у якості великого ризику для довкілля та здоров'я людини та представили певний набір дій стосовно контролю розповсюдження важких металів в екосистемах [57, 58]. У роботі [59] визначені певні надійні методики ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Автори дослідження [60] дослідили концепцію «людина-ґрунт», що поєднує показники оцінки самопочуття людини з геопросторовими ґрунту, забрудненого важкими металами. Вказана концепція дає можливість забезпечити ефективні та точні кроки ремедіації для ґрунтів, забруднених важкими металами, оскільки поєднує загрози для людини з геопросторовими параметрами. Такий підхід може допомогти розробці систем підтримки прийняття рішень із забезпечення можливостей відновлення забрудненого ґрунту навіть у випадку малого набору зразків.

Також сьогодні широкого розповсюдження набули заходи щодо попередження токсичного хімічного впливу на здоров'я людини, зокрема, заходи із землекористування у сільському господарстві (наприклад, достатня відстань від джерела важких металів) та виробництві органічних продуктів харчування [61]. Зокрема, серед типових підходів до поводження з важкими металами у ґрунті та водному середовищі автори дослідження [62] виділили зниження рівня у джерелі утворення важких металів, екологічну ремедіацію,

фізичні та хімічні процеси, а також методики, що базуються на використанні наноматеріалів.

Фіторемедіація розглядається як екологічний підхід до очищення від важких металів та інших небезпечних хімікатів з води та ґрунту [63]. Термін «фіторемедіація» походить від грецького слова «phyto» («рослина») та латинського слова «remedium» («видалити») [64]. Більшість дослідників вказаного підходу визначають фіторемедіацію, як підхід або методику, за яких рослини або мікроорганізми використовуються для зменшення рівня небезпеки токсичних забруднювачів води, повітря та ґрунту. Фіторемедіація може включати видалення, знищення, поглинання, відновлення, екстракцію, поглинання, іммобілізацію та стабілізацію забруднень [64-68].

Фіторемедіація має багато переваг стосовно очищення довкілля завдяки надзвичайному потенціалу видалення небезпечних хімікатів через кореневу систему рослин за механізмами біоаккумуляції, розкладання або переміщення забруднювачів [68, 69]. Наприклад, у дослідженні [70] було встановлено, що важкі метали (As, Ca, Cr, Hg, Ni та Pb) можуть бути видалені з ґрунту разом з деякими радіонуклідами за допомогою механізму фітоекстракції. Фіторемедіація широко використовується для видалення важких металів через її менш руйнівний, більш ефективний та відносно менш витратний характер [71, 72]. Також фіторемедіація є відносно кращою для видалення токсичних хімікатів з ґрунту та води *in situ* [64]. Велика кількість важких металів та інших неорганічних та органічних забруднювачів також можуть бути видалені за допомогою рослин [73, 74]. Слід, зокрема, зазначити можливість вирощування олійних культур на ґрунтах, забруднених важкими металами, з наступних їх використанням у виробництві біодизеля [66].

Найважливішими перевагами використання фітореMediaції для видалення важких металів є наступні [51]:

- екологічність;
- можливість видалення багатьох забруднювачів одночасно;
- можливість використання *in situ* та *ex situ*;
- низька вартість;
- висока ефективність;
- естетичність;
- можливість використання у біоенергетиці.

Рослини, що використовуються у процесі фітореMediaції можуть покращити стан довкілля завдяки виділенню кисню. Втім, фітореMediaції відповідають й певні обмеження у практичному використанні, зокрема, цей підхід є довготривалим через необхідність суттєвого проміжку часу для зарослинення забрудненої території. Крім того, якщо забруднювачі є токсичними для рослини-акумулятора, вона помре, а використання фітореMediaції зазнає невдачі [64, 68, 69]. Ефективність використання відповідних методик залежить від природи забруднювачів, рівня наявного забруднення, а також від природи рослин та кліматичних умов оброблюваної території [74].

Механізм комплексного видалення забруднювачів з використанням методик фітореMediaції представлено на рисунку 1.3. У таблиці 1.1 представлені відомі рослини, що можуть реалізовувати вказані механізми при ремедіації важких металів за даними дослідження [51].

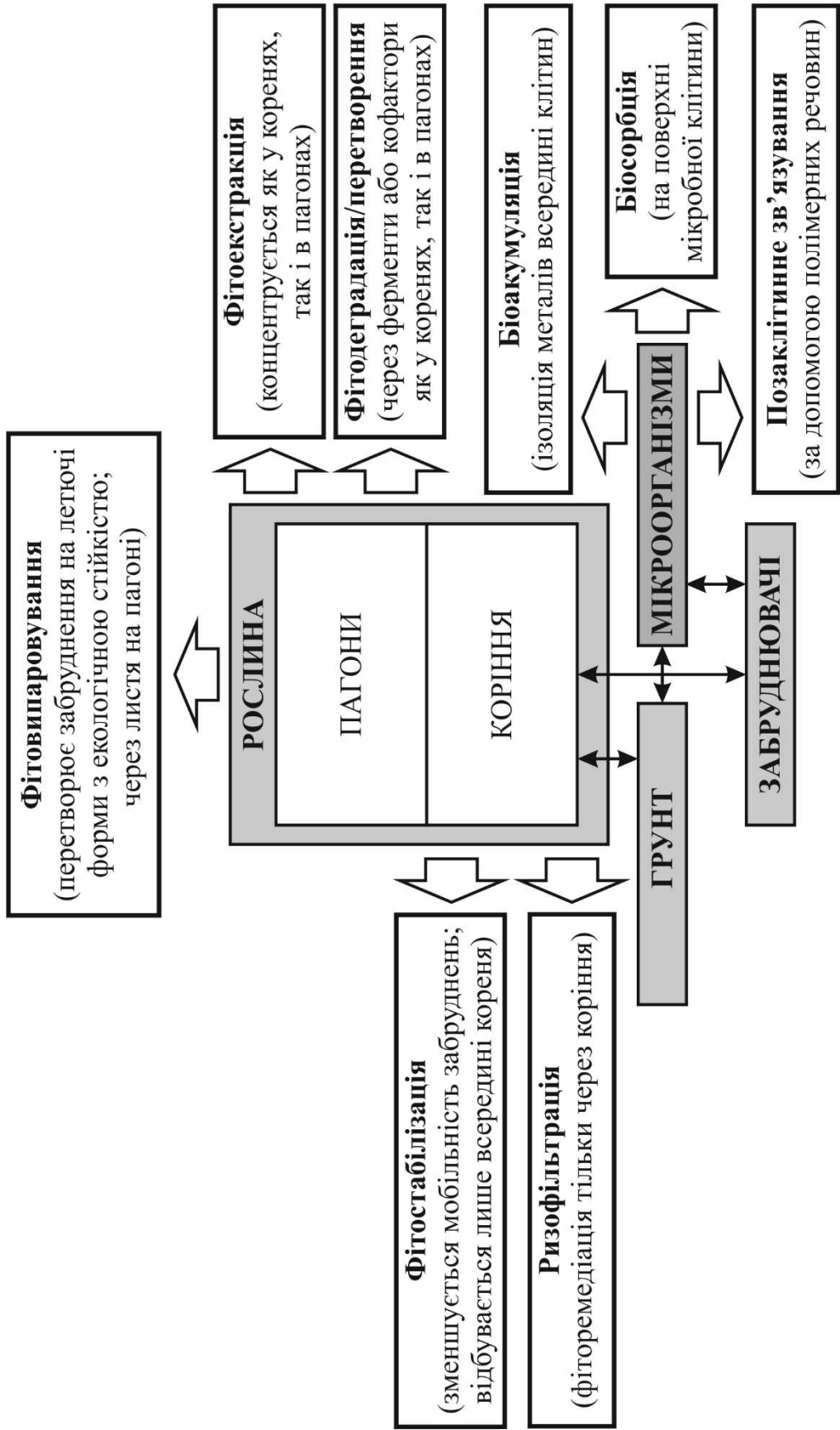


Рисунок 1.3 – Механізм поглинання забруднювачів шляхом фітореємедіації [62]

Таблиця 1.1. Перелік гіперакумуляюючих рослин для ремедіації важких металів з ґрунту [51]

Важкий метал	Рослина	Рівень поглинання металу (мг/кг)
As	<i>Pteris vittata L.</i>	8331
	<i>Pteris ryukyuensis Tagawa</i>	3647
	<i>Pteris quadriaurita Retz.</i>	2900
	<i>Pteris biaurita L.</i>	2000
	<i>Pteris cretica L.</i>	1800
	<i>Corrigiola telephiifolia Pourr.</i>	2110
Ni	<i>Alyssum bertolonii Desv. synonym of Odontarrhena bertolonii (Desv.) Jord. & Fourr.</i>	10900
	<i>Alyssum caricum T.R.Dudley & Hub.-Mor. synonym of Odontarrhena carica (T.R.Dudley & Hub.-Mor.) Španiel, Al-Shehbaz, D.A.German & Marhold</i>	12500
	<i>Alyssum corsicum Rob. ex Gren. & Godr. synonym of Odontarrhena robertiana (Bernard ex Gren. & Godr.) Španiel, Al-Shehbaz, D.A.German & Marhold</i>	18100
	<i>Alyssum pterocarpum T.R.Dudley synonym of Odontarrhena pterocarpa (T.R.Dudley) Španiel, Al-Shehbaz, D.A.German & Marhold</i>	13500

Продовження табл. 1.1

Важкий метал	Рослина	Рівень поглинання металу (мг/кг)
	<i>Alyssum heldreichii</i> Hausskn. <i>synonym of Odontarrhena heldreichii</i> (Hausskn.) Španiel, Al-Shehbaz, D.A.German & Marhold	11800
	<i>Alyssum markgrafii</i> O.E.Schulz <i>synonym of Odontarrhena chalcidica</i> (Janka) Španiel, Al-Shehbaz, D.A.German & Marhold	19100
	<i>Alyssum murale</i> M.Bieb. <i>synonym of Odontarrhena alpestris</i> (L.) Ledeb.	4730–20100
	<i>Alyssum serpyllifolium</i> Desf.	10000
	<i>Isatis pinnatiloba</i> P.H.Davis	1441
Cd	<i>Phytolacca americana</i> L.	10700
	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C.Johnst.	8176
	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv.	236,2
	<i>Rorippa globosa</i> (Turcz. ex Fisch. & C.A.Mey.)	> 100
	<i>Thlaspi caerulescens</i> J.Presl & C.Presl <i>synonym of Noccaea caerulescens</i> (J.Presl & C.Presl) F.K.Mey.	263
	<i>Pteris vittata</i> L.	20675

Продовження табл. 1.1

Важкий метал	Рослина	Рівень поглинання металу (мг/кг)
	<i>Thlaspi calaminare (Lej.) Lej. & Courtois</i> <i>synonym of Noccaea caerulea subsp. calaminaris (Lej.) Holub</i>	10000
	<i>Deschampsia cespitosa (L.) P.Beauv.</i>	966,5–3614
Hg	<i>Achillea millefolium L.</i>	18,275
	<i>Marrubium vulgare L.</i>	13,8
	<i>Rumex induratus Boiss. & Reut.</i>	6,45
	<i>Silene vulgaris (Moench) Garcke</i>	4,25
	<i>Festuca rubra L.</i>	3,17
	<i>Poa pratensis L.</i>	2,74
	<i>Helianthus tuberosus L.</i>	1,89
	<i>Armoracia rusticana G.Gaertn., B.Mey. &</i>	0,97
	<i>Cicer arietinum L.</i>	0,2
	<i>Eleocharis acicularis (L.) Roem. & Schult.</i>	20200
	<i>Aeollanthus biformifolius De Wild.</i> <i>is a synonym of Aeollanthus subacaulis var. linearis (Burkill) Ryding</i>	13700
	<i>Haumaniastrum katangense (S.Moore)</i> <i>P.A.Duvign. & Plancke</i>	8356
	<i>Pteris vittata L.</i>	91,975

Закінчення табл. 1.1

Важкий метал	Рослина	Рівень поглинання металу (мг/кг)
Cr	<i>Pteris vittata L.</i>	20675
Pb	<i>Medicago sativa L.</i>	43300
	<i>Brassica juncea (L.) Czern.</i>	10300
	<i>Brassica nigra (L.) W.D.J.Koch</i>	9400
	<i>Helianthus annuus L.</i>	5600
	<i>Betula occidentalis Hook.</i>	1000
	<i>Euphorbia cheiradenia Boiss. & Hohen.</i>	1138
	<i>Deschampsia cespitosa (L.) P.Beauv.</i>	966,5
	<i>Euphorbia cheiradenia Boiss. & Hohen</i>	1138

Шляхом фіторе mediaції можна видалити багато типів забруднювачів (зокрема, важкі метали та органічні речовини) з ґрунту та води без утворення побічних речовин [75]. Реалізувати метод фіторе mediaції можна шляхом використання рослин та мікроорганізмів що можуть зруйнувати, акумулювати та стабілізувати забруднювачі [76-78]. Механізми фіторе mediaції включають в себе ризосферну біологічну деградацію, фітостабілізацію, фітоаккумуляцію (або фітоекстракцію), ризофільтрацію, фітовипаровування та фітодеградацію (або фітотрансформацію) [72, 79-81]. Дамо більш детальний огляд вказаних методик.

Ці методики часто використовуються для зменшення забруднення важкими металами, а також деякими іншими неорганічними забруднювачами (наприклад, нітратами, фосфатами, тощо), а також органічними забрудненнями з ґрунту та води [69, 82].

Ризофільтрацію можна проводити з використанням коренів рослин, які повинні мати здатність видаляти забруднювачі з ґрунту. Багато видів металів (зокрема, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) можуть бути усунені самим корінням рослин в умовах як *in situ* так й *ex situ* [69, 83]. Також за напрямом ризофільтрації можна використовувати гіперакумуляючі рослини, зокрема, соняшник (*Helianthus annuus L.*), індійська гірчиця (*Brassica juncea L.*), тютюн (*Nicotiana tabacum L.*), жито (*Secale cereal L.*), шпинат (*Spinacia oleracea L.*) та кукурудза (*Zea mays L.*) [69, 84, 85].

Фітоекстракцію також називають фітоаккумуляцією, оскільки вона дозволяє видалити забруднення ґрунту без суттєвих змін у родючості та структурі ґрунту [82, 86]. При використанні фітоекстракції забруднювачі здебільшого накопичуються в біомасі рослин. Однак це дає високу ефективність у місцях з відносно низькою концентрацією забруднення [87].

Втім, слід зазначити, що ефективність застосування фітоекстракції суттєво залежить від природної здатності рослин давати великий обсяг біомаси [88, 89]. Різні рослини можуть мати різну здатність поглинати забруднюючі речовини [69, 80, 85]. Фітоекстракцію можна розподілити на два види:

- 1) природна фітоекстракція [90];
- 2) фітохелатинова фітоекстракція [69, 82, 91].

Процес фітофільтрації є певним чином схожим на процес ризофільтрації, однак, як було вказано вище, остання відбувається лише в

кореневій зоні рослин [69]. Натомість, у багатьох дослідженнях різних авторів [72, 92, 93] було встановлено, що проростки також можуть видаляти важкі метали через процес абсорбції та/або адсорбції. Цей вид фітофільтрації має назву бластофільтрація.

При фітовипаровуванні рослини видаляють забруднювачі з ґрунту та викидають їх в атмосферу через листя після перетворення їх у леткі речовини. Зокрема, було виявлено, що цей підхід є дуже ефективним у випаровуванні металевої ртуті після її перетворення на менш шкідливу форму [90].

Фітостабілізація дозволяє видалити важкі метали з різноманітних середовищ, таких як мул, ґрунт та відкладення. Цей підхід є найбільш придатним для швидкої іммобілізації забруднень води [82].

Фітостимуляція – це процес, при якому певна природна речовина виділяється рослинами з коренів або безпосередньо для видалення забруднювачів, або у якості харчування для мікроорганізмів-очищувачів, що живуть з рослиною у екологічному симбіозі. Вказані мікроорганізми після відповідної стимуляції надалі руйнують забруднення, присутні в ґрунті. Цей процес також можна назвати біологічною деградацією забруднюючих речовин через симбіотичні екологічні відносини рослин і мікроорганізмів [69, 85, 94].

Іммобілізація металевих хімічних речовин також може бути досягнута шляхом уповільнення рухливості та їх біологічної доступності в ґрунтах [95, 96]. Було виявлено багато переваг, коли іммобілізація важких металів досягається в поєднанні з іншим матеріалом, наприклад, кращий адсорбційний потенціал, простота експлуатації та захист адсорбційної здатності тощо [97-99]. Нещодавно було повідомлено про кілька досліджень

імобілізації важких металів, присутніх у ґрунті та воді, за допомогою модифікованих водоростей [100], активованого вугілля [101], цеоліту [102], торфу [103], глини [104], синтезованого магнітного біовугілля [105], відходів рибної луски [106], тощо. У роботі [107] встановлено, що поєднання наночастинок і рослин виявилось дуже ефективним для імобілізації свинцю, присутнього в ґрунті військового стрільбища. Імобілізація свинцю була досягнута, зокрема, шляхом комбінованого застосування наночастинок гідроксиапатиту та трьох видів рослин – *Festuca ovina* L., *Lactuca sativa* L. та *Sinapis alba* L.

Механізм видалення важких металів будь-якими рослинами заснований на декількох хімічних чинниках, зокрема, хімічній природі металів, наявності конкуруючих іонів, рівнем рН середовища, селективності рослин, тощо [93]. Визначними чинниками, що впливають на ефективність застосування методу фітореMediaції важких металів є рівень зростання рослин, селективність металів, імунітет рослин, види рослин, а також метод збирання врожаю [82, 108].

Ефективність фітостабілізації пов'язана з потужністю кореневої системи рослин [82]. Наприклад, рослини з неглибокою кореневою системою не є придатними для ремедіації забруднення ґрунтових вод [93]. Також впливають географічні чинники, зокрема, висота місця проведення фітореMediaції над рівнем моря, кліматичні умови, температура, вологість повітря, тощо. Також на рівень видалення забруднення може впливати імунітет рослин [68, 69].

Висновки за розділом 1

1. У представленому дослідженні проведено аналіз сучасного стану захисту навколишнього середовища від негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів. Виявлено особливості негативного впливу місць знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище, зокрема, встановлено комплексний характер вказаного впливу на ґрунти земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

2. У результаті аналізу існуючих технологій рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів встановлено відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити весь комплекс завдань із забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Причиною цього є, зокрема відсутність єдиного комплексного критерію оцінки безпеки процесу рекультивації, що одночасно враховував би чинники вибухонебезпеки, яку можуть становити не лише залишки боєприпасів, а й сам забруднений вибуховими речовинами ґрунт, та чинники екологічної небезпеки, пов'язаних з усім спектром впливів на ґрунт, зокрема, компресійного впливу, забруднення важкими металами та іншими хімічними речовинами, тощо.

3. За результатами аналізу особливостей рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів в умовах військової агресії російської федерації встановлено необхідність утилізації великих обсягів небезпечних біологічних відходів, що утворилися внаслідок обстрілів та руйнування тваринницьких комплексів на територіях, що постраждали від військової агресії.

2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ

2.1 Імітаційна математична модель системи управління безпекою рекультивації земель місця 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. 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 умови заміни реальної системи моделлю, що з достатньою точністю описує її. В основу моделювання покладено підхід, викладений у роботі [109], 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. 2.1), що дозволяє вільно корегувати її структуру в залежності від наявних вихідних умов [1].

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 $F_i(t) \in \Phi$, $i = 1 \dots n$.

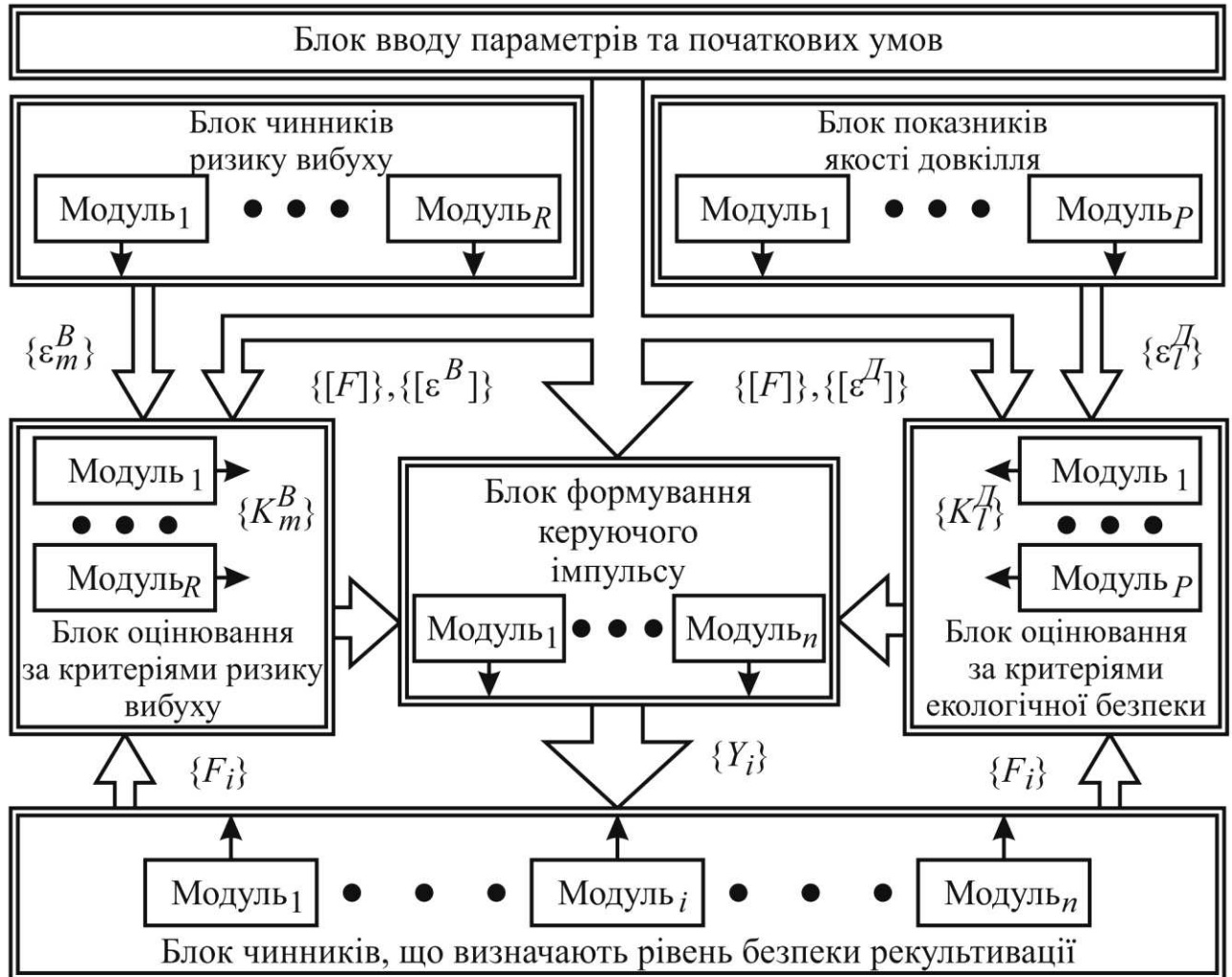


Рисунок 2.1 – Структура імітаційної математичної моделі системи управління безпекою рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів

До розгляду додаються параметри $\varepsilon_m^B \in E^B$, $m = 1 \dots R$, що визначають чинники ризику вибуху, а також показники якості довкілля $\varepsilon_l^D \in E^D$, $l = 1 \dots P$

$$E = E^B \cup E^D. \quad (2.1)$$

Результатом моделювання є залежності від часу

$$W(t) = K(t), Y(t) \quad (2.2)$$

критеріїв оцінювання рівня безпеки $K(t)$

$$K = K^B \cup K^D \quad (2.3)$$

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

$$Y = \{Y_i\}; \quad (2.4)$$

$$Y_i = g_i(K), \quad i = 1 \dots n, \quad (2.5)$$

Задача їх знаходження формалізується наступним чином

$$W(t) = M(A(t), B), \quad (2.6)$$

де A – сукупність вхідних параметрів системи у формі

$$A = \Phi \cup E, \quad (2.7)$$

B – множина регламентуючих обмежень

$$B = \{[F]\}, \{[\varepsilon^B]\}, \{[\varepsilon^D]\} , \quad (2.8)$$

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

Сформований набір критеріїв

$$K = K^B \cup K^D = \{K_m^B\} \cup \{K_l^D\} \quad (2.9)$$

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

$$K_m^B : \chi_m^B(\Phi, E^B), \quad m = 1 \dots R, \quad (2.10)$$

та рівнем екологічної безпеки

$$K_l^D : \chi_l^D(\Phi, E^D), \quad l = 1 \dots P, \quad (2.11)$$

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:

$$\{A, B\} \rightarrow W : \{K \rightarrow Y\}. \quad (2.12)$$

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

$$\chi_x = \frac{x}{[x]} = \bar{x} \leq 1, \quad (2.13)$$

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 :

$$\chi^{kp} = \max K. \quad (2.14)$$

2.2 Вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів

Використання нормативного підходу до визначення критеріїв безпеки дозволяє забезпечити гнучкість моделювання, оскільки дає можливість включити до розгляду будь-яку кількість критеріальних параметрів за визначеними напрямками. Втім, у викладеній постановці використання лише нормативних залежностей не є достатнім, адже при цьому не враховується комплексний характер впливів на навколишнє середовище, а також чинники післядії процесу знешкодження та знищення боєприпасів на навколишнє природне середовище у подальшому. Отже, для вдосконалення критерія оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є необхідним визначити перелік критеріальних параметрів та формалізувати критеріальні залежності за кожним з них.

Для діючих чинників функціонування місця знешкодження та знищення боєприпасів найбільш досконалим видається оцінювання рівня безпеки за показником ймовірності вибуху ρ . Частковий критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_{\rho} = \frac{\rho}{[\rho]} = \bar{\rho} \leq 1, \quad (2.15)$$

де $[\rho]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра ρ , що обирається за шкалою, представленою у таблиці 2.1 [110].

Таблиця 2.1 – Шкала вибору гранично припустимого значення ймовірності вибуху

Рівень ймовірності	Граничне припустиме значення ймовірності вибуху [ρ]
Дуже висока	0,9
Висока	0,7
Середня	0,5
Низька	0,3
Дуже низька	0,1

Для оцінювання показників ризику вибуху пропонується зосередитися на показнику вражаючої здатності вибуху, а саме на надмірному тиску P у повітряній ударній хвилі, що утворюється у випадку вибуху. Частковий критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_P = \frac{P}{[P]} = \bar{P} \leq 1, \quad (2.16)$$

де $[P]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра P , що обирається за шкалою, представленою у таблиці 2.2 [111].

Таблиця 2.2 – Шкала вибору гранично припустимого значення надмірного тиску ударної повітряної хвилі

Рівень уражень	Граничне припустиме значення надмірного тиску $[P]$, кПа
Вкрай важкі	Більше 100
Важкі	100
Середньої тяжкості	60
Легкі	40
Незначні	20

Оцінювання рівня безпеки території місця знешкодження та знищення боєприпасів при моделюванні має проводитися за наступним принципом [112]: 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 [113]. У цьому контексті необхідно враховувати синергічний ефект від впливу різнопланових чинників на екологічний стан території.

Для побудови критерію оцінювання рівня безпеки за показниками якості довкілля за основу було взято критерій екологічного резерву, запропонований у роботі [114] та створений для оцінювання рівня безпеки місця накопичення відходів. Вказаний підхід дозволяє комплексно оцінювати результат як негативного впливу всіх факторів, зокрема, забруднення важкими металами та

органічними речовинами, так і запровадження заходів з рекультивації, які поліпшують екологічний стан території місця знешкодження та знищення боєприпасів.

У роботі [114] у якості значущих показників території, рівень безпеки якої оцінювався, було використано величину площі деградаційних процесів території та швидкість її зміни, а також показники продуктивності рівнів трофічного ланцюгу екосистеми, розташованій на досліджуваній території. Однак, з огляду на те, що після вибуху цілісність трофічного ланцюга порушується, доцільним вважається вдосконалити вказаний критерій, залишивши у якості значущого показник рівня деградації, тобто відношення площі деградаційних процесів S_∂ до загальної площі території, що підлягає рекультивації S , які можна із достатньою точністю розрахувати на основі аналізу матеріалів дистанційного зондування Землі, зокрема, з використанням безпілотних літальних апаратів [17, 18]. Показник рівня деградації обчислюється за формулою

$$s_\partial = \frac{S_\partial}{S}, \quad (2.17)$$

Частковий критерій оцінювання безпеки у цьому випадку має наступний формалізований вигляд

$$\chi_s = \frac{s_\partial}{[s_\partial]} = \bar{s}_\partial \leq 1, \quad (2.18)$$

де $[s_\partial]$ – граничне припустиме значення розгляданого параметра s_∂ , що обирається за шкалою, представленою у таблиці 2.3.

Удосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів можна представити у наступному формалізованому вигляді

$$\chi: \begin{cases} \chi_p \leq 1; \\ \chi_P \leq 1; \\ \chi_s \leq 1. \end{cases} \quad (2.19)$$

Таблиця 2.3 – Шкала вибору гранично припустимого значення показника рівня деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів

Рівень деградації земель	Граничне припустиме значення показника рівня деградації земель $[s_\partial]$
Дуже високий	0,9
Високий	0,7
Середній	0,5
Низький	0,3
Дуже низький	0,1

2.3 Вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів

Використання вищезазначеного переліку критеріальних параметрів потребує вдосконалення методу оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. З урахуванням наявності ефекту післядії метод оцінювання процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів полягає у покроковій перевірці дотримання умов безпеки у n -вимірному просторі чинників $F_i \in \Phi$, $i = 1 \dots n$, де n – кількість чинників у сукупності, які змінюються за програмою процесу рекультивації, з наданням узагальненого висновку про рівень безпеки. Спрощену схему методу подано на рис. 2.2 [2].

Комплекс вихідних даних для оцінювання формується за трьома напрямками.

1. Формування набору значень показників, що визначають рівень безпеки, які задаються програмою рекультивації з урахуванням керуючих імпульсів на корегування значень чинників у випадку виходу на небезпечний стан об'єкту.

2. Формування структури критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

3. Формування набору параметрів та вихідних даних, які визначають початковий стан місця знешкодження та знищення боєприпасів й екосистеми прилеглої території, включаючи граничні припустимі значення показників безпеки.

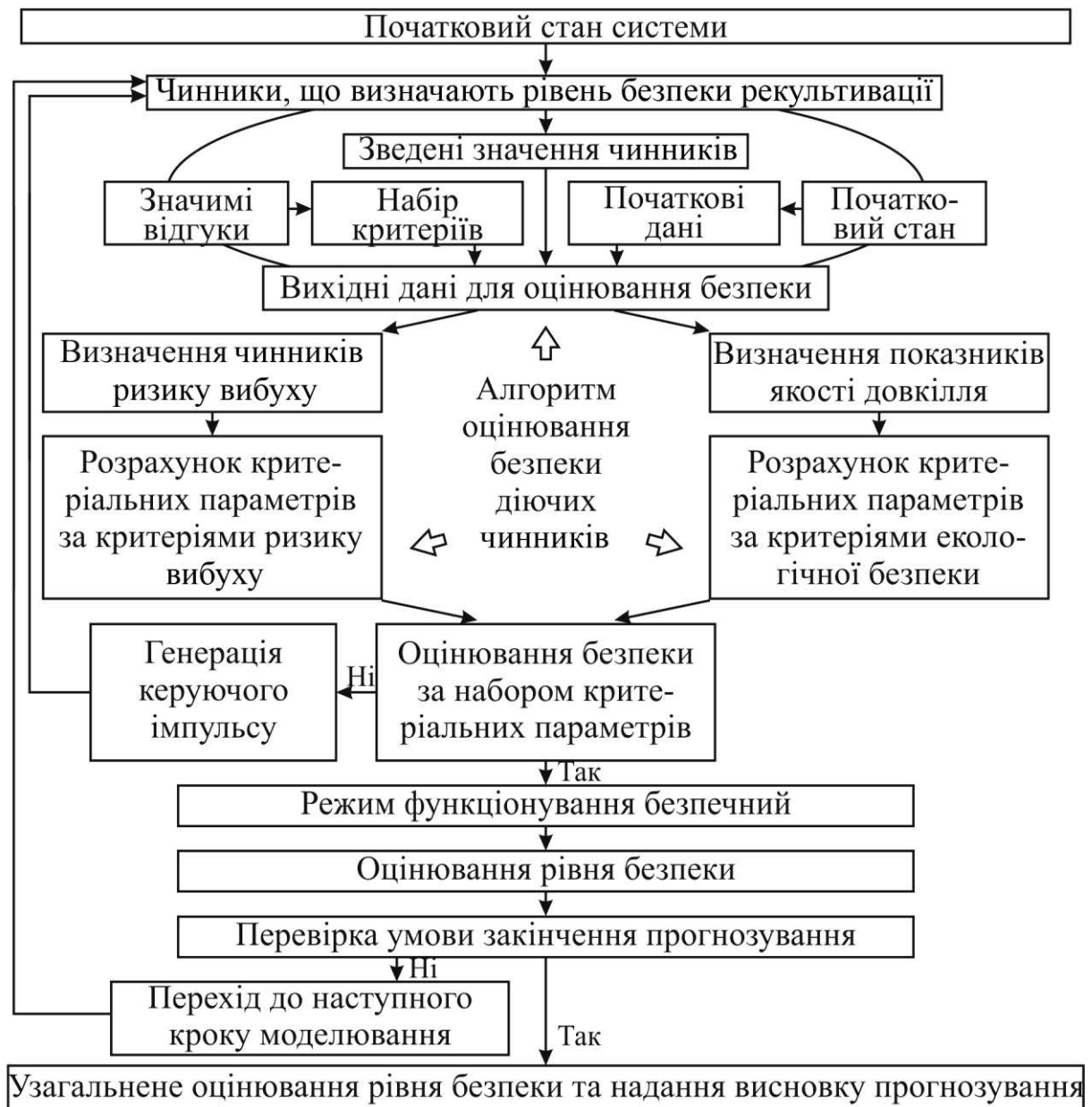


Рисунок 2.2 – Спрощена схема методу оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів

Висновки за розділом 2

1. Вперше створено імітаційну модель системи управління безпекою рекультивації 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.

2. Розроблено вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів на основі використання нормативного підходу та визначено значущі показники, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Перевагою запропонованого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є одночасне формалізоване представлення показників рівня небезпеки вибуху та якості довкілля, що у свою чергу забезпечує можливість використовувати його для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації у імітаційних числових експериментах.

Використання вдосконаленого критерію дозволяє формувати комплексну оцінку поточного стану місця знешкодження та знищення боєприпасів, а також прогнозувати його зміну в результаті реалізації заходів з рекультивації земель.

3. Шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення

боєприпасів було розроблено вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, придатний не лише для довгострокового оцінювання, а й для оперативного управління безпекою подібних об'єктів.

Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізувавши кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

3 МЕТОДИКА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ МІСЦЬ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ БОЄПРИПАСІВ

3.1 Розробка методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів

Під методикою в загальному випадку розуміємо визначену «сукупність взаємопов'язаних способів та прийомів доцільного проведення будь-якої роботи», яку необхідно виконати для досягнення мети [115].

Алгоритм методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів представлено на рис. 3.1. Він складений за ієрархічним принципом та складається з трьох рівнів [3].

I рівень – процедури моніторингу земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. На цьому етапі ідентифікуються джерела вибухонебезпеки на території місця знешкодження та знищення боєприпасів та оцінюється початковий рівень безпеки процесу рекультивації його земель із застосуванням інтегрального синергетичного критерію оцінювання рівня безпеки.

II рівень – процедури розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. На цьому етапі операції виконуються спеціалізованими піротехнічними підрозділами.

III рівень – процедури біологічного очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. На цьому етапі виконуються операції фіторе mediaції.

Поетапно сформулюємо основні положення методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

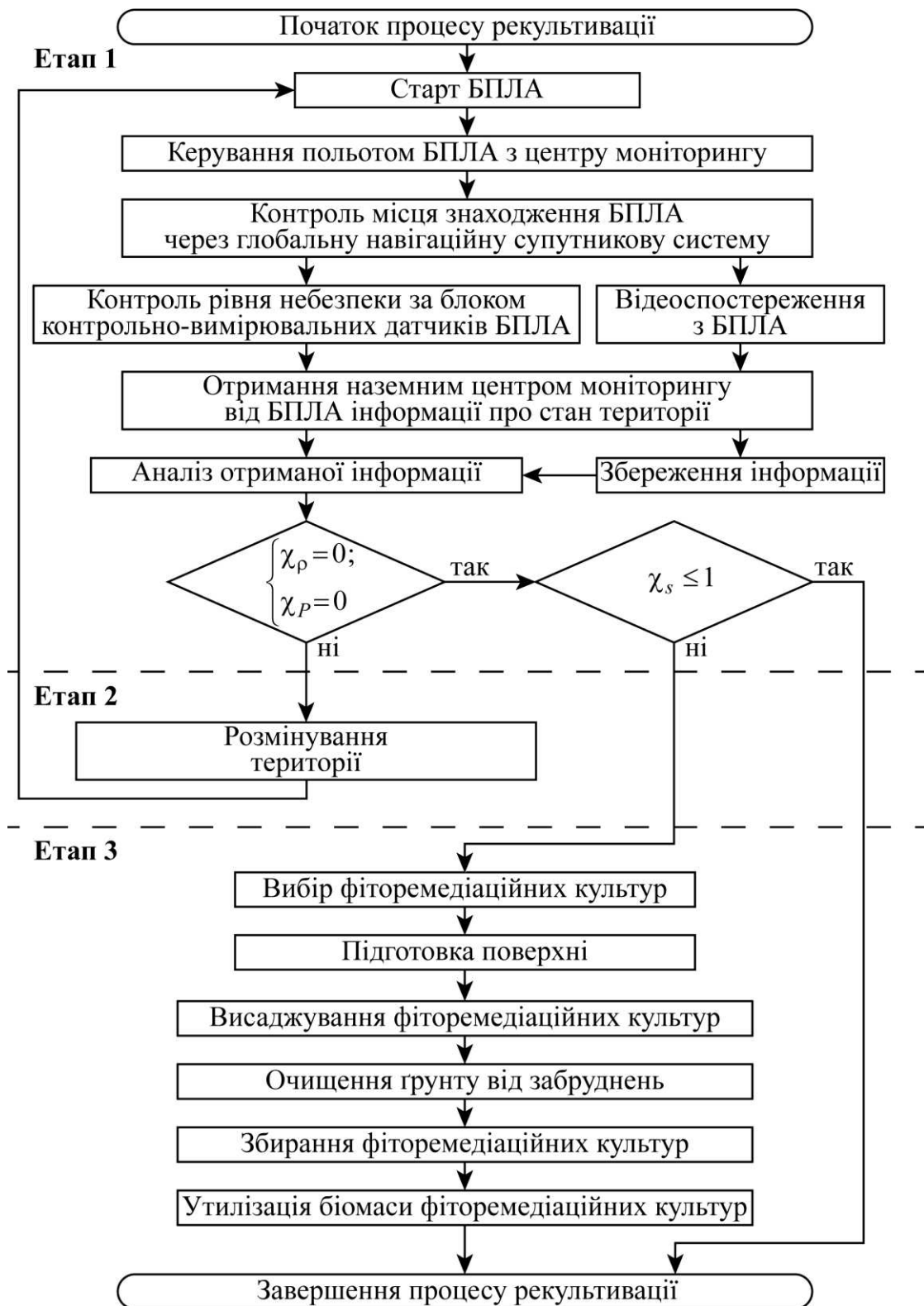


Рисунок 3.1 – Керуючий алгоритм методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів

Етап 1. Моніторинг земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Етап 1 реалізується на основі принципів оперативного моніторингу територій, де сталася надзвичайна екологічна ситуація, із застосуванням безпілотних авіаційних систем [116]. Перспективною видається можливість використання досвіду розробки подібних систем для моніторингу зон пожеж на території великих об'єктів (полігонів ТПВ, тощо) [2].

Технічні основи безпіотної авіаційної системи (БАС) моніторингу земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, полягають у застосуванні контролю стану небезпеки території за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у режимі реального часу.

Вдосконалена функціональна схема БАС представлена на рис. 3.2.

Автоматизований пристрій контролю, встановлений на БПЛА, має включати в себе контрольно-вимірювальний блок з відповідними датчиками контролю, блок підповерхневої георадіолокації, блок відеоспостереження, блок встановлення місця знаходження, блок передачі інформації до наземного центру моніторингу, блок живлення, антенний блок.

Наземний центр моніторингу має включати в себе комп'ютеризовану аналітичну систему визначення рівня небезпеки досліджуваної зони, блок встановлення місця знаходження наземного центру моніторингу, блок керування рухом БПЛА, блок отримання й аналізу інформації від БПЛА, блок збереження інформації, антенний блок.

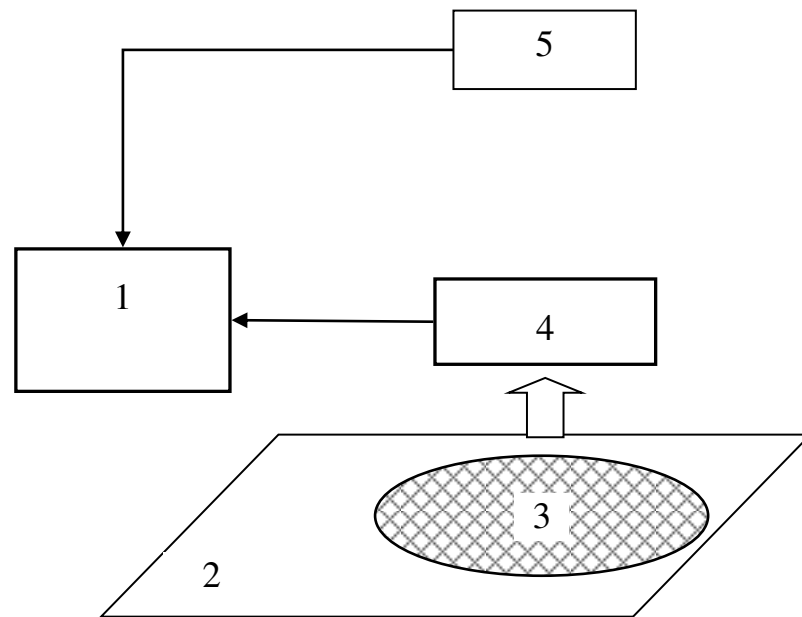


Рисунок 3.2 – Вдосконалена функціональна схема безпілотної авіаційної системи моніторингу земель місць знешкодження та знищення боєприпасів:

- 1 – наземний центр моніторингу; 2 – територія, що досліджується;
 3 – землі, що безпосередньо постраждали; 4 – безпілотний літальний апарат;
 5 – глобальна навігаційна супутникова система

Процес моніторингу земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, включає в себе наступні операції:

- старт БПЛА;
- керування польотом БПЛА з центру моніторингу;
- контроль місця знаходження БПЛА через глобальну навігаційну супутникову систему;
- контроль рівня небезпеки за блоком контрольно-вимірювальних датчиків БПЛА;
- відеоспостереження з БПЛА;

- отримання наземним центром моніторингу від БПЛА інформації про стан території;
- аналіз отриманої інформації;
- збереження інформації.

Використання георадіолокаційного дослідження дозволяє отримати кольорове зображення, яке називають радарограмою. Різними кольорами на радарограмі відображаються різні рівні амплітуди сигналу, відбитого від шару ґрунту на відповідній глибині, що дозволяє візуально (або із застосуванням засобів аналізу зображень) знайти положення небезпечних вибухових предметів та їх окремих частин.

В подальшому із застосуванням представлених у розділі 2 методу та критерію оцінювання рівня небезпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів небезпечні визначається рівень небезпеки обстежуваної території у частковому (за кожним небезпечним вибуховим предметом) та інтегральному (для всієї обстежуваної території) вигляді.

Результатом виконання операцій Етапу 1 є карта розташування джерел небезпеки для використання спеціалізованими підрозділами при розмінуванні із зазначеними величинами:

- критеріїв оцінювання рівня небезпеки за напрямом вибухонебезпеки для кожного небезпечного вибухового предмету, визначених за формулами (2.15) та (2.16), а також для всієї території в цілому, визначених за формулою (2.14);
- критерію оцінювання рівня небезпеки за напрямом екологічної безпеки для досліджуваної території, визначеного за формулою (2.17);
- інтегрального критерію оцінювання рівня небезпеки, визначеного за формулою (2.19).

Етап 2. Розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Етап 2 реалізується спеціалізованими піротехнічними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій з використанням результатів моніторингу, проведеного на Етапі 1. Найголовнішою проблемою, що суттєво гальмує процес відновлення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, є мала швидкість обстеження та розмінування територій, забруднених вибуховими предметами. Для вирішення вказаної проблеми пропонується на Етапі 2 використовувати спеціалізовану техніку для дистанційного розмінування [117, 118]. Використання техніки для дистанційного розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки для піротехнічних підрозділів, підвищити швидкість обробки території, не втрачаючи якості розмінування. Вказані системи є ефективними щодо видалення протипіхотних мін, та може бути обладнана культиватором, що проводить вторинну обробку ґрунту. Це призводить до кращої підготовленості ґрунту до реалізації Етапу 3.

Після проведення операцій з розмінування повторюється виконання операцій Етапу I, після чого проводиться повторне оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів із застосуванням представлених у розділі 2 методу та критерію у інтегральному (для всієї обстежуваної території) вигляді.

Результатом виконання операцій Етапу 2 є підготовлена до проведення рекультивації територія земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, для якої величини критеріїв оцінювання рівня безпеки за напрямом вибухонебезпеки для всієї території в цілому, визначених за формулою (2.14), дорівнюють нулю.

Етап 3. Біологічне очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Етап 3 за часом реалізації є найтривалішим з усіх. До реалізації Етапу 3 можна приступати відразу після вдалого закінчення Етапу 2.

В основу Етапу 3 покладено спосіб фіторемедіації. Він полягає у висаджуванні та подальшому вирощуванні на забруднених землях спеціальних рослин, що акумулюють важкі метали та органічні вибухові речовини. Після їх накопичення біомасу рослинного покриву потрібно зібрати та утилізувати на спеціально пристосованих майданчиках. Відповідно, тривалість технологічного циклу біологічного очищення визначається тривалістю біологічного циклу розвитку та зростання рослин, що накопичують в собі забруднювачі.

Перевагами способу фіторемедіації є низька вартість та безпечність використання для навколишнього природного середовища. Як було вказано вище, біологічне очищення має бути реалізоване одночасно за двома напрямками, а саме:

- видалення важких металів;
- видалення органічних вибухових речовин.

Для реалізації Етапу 3 за напрямом видалення важких металів пропонується використання представленої в роботі [119] технології біологічного очищення, що базується на вилученні важких металів з техногенно забрудненого ґрунту шляхом їх фітоекстракції рослинами петрушки кучерявої.

За певних умов процес висіву петрушки кучерявої можна поєднати з виконання операції дистанційного розмінування Етапу 2, оснастивши системи дистанційного розмінування сівалками.

Для реалізації Етапу 3 за напрямом видалення органічних вибухових речовин спосіб фітоекстракції не є придатним, оскільки вказані речовини мають бути розщеплені для забезпечення поглинання рослиною. Виходячи з цього, пропонується використовувати спосіб біодеградації, де на корінні рослин утворюються колонії мікроорганізмів, що здатні розщеплювати вибухові речовини. Використання трав'яних культур у цьому випадку не є доцільним, оскільки їх коренева система не дає достатньо простору для колонії мікроорганізмів. Для реалізації Етапу 3 за напрямом видалення органічних вибухових речовин пропонується використання технології, представленої у роботі [120]. Вона заснована на використанні трансгенних дерев видів тополя та осика.

Перевагами запропонованих рослин є їх пристосованість до природних умов України, що дозволить реалізувати запропоновану методику для вирішення проблеми відновлення земель території нашої держави, порушених внаслідок воєнної агресії російської федерації. Після очищення ґрунту біомасу петрушки кучерявої та трансгенних дерев видів тополя та осика необхідно зібрати та утилізувати в якості біопалива.

Після проведення операцій з біологічного очищення земель проводиться повторне оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів із застосуванням представлених у розділі 2 методу та критерію у інтегральному (для всієї обстежуваної території) вигляді із визначенням:

- критерію оцінювання рівня безпеки за напрямом екологічної безпеки для досліджуваної території, визначеного за формулою (2.17);

- інтегрального критерію оцінювання рівня безпеки, визначеного за формулою (2.19).

Результатом виконання операцій Етапу 3 є підготовлена до господарського використання територія місць знешкодження та знищення боєприпасів, для якої величини критеріїв оцінювання рівня безпеки за напрямом вибухонебезпеки для всієї території в цілому, визначених за формулою (2.14), дорівнюють нулю, а величини критерію оцінювання рівня безпеки за напрямом екологічної безпеки для досліджуваної території, визначеного за формулою (2.17), та інтегрального критерію оцінювання рівня безпеки, визначеного за формулою (2.19), менші або дорівнюють одиниці.

3.2 Розробка методики дослідження забруднення ґрунту важкими металами у місцях знешкодження та знищення боєприпасів

Вирішити задачу створення методики дослідження забруднення ґрунтів важкими металами в місцях вибухів можна безпосередньо на полі методом інфрачервоної (ІЧ) спектрофотометрії з наступним порівнянням отриманого ІЧ-спектру з зразковий ІЧ-спектр досліджуваного важкого металу [121]. Серед матеріальних об'єктів немає сполук, які мають різну структуру, але однаковий ІЧ-спектр, що дає змогу ідентифікувати відповідне забруднення в зразку ґрунту шляхом виявлення окремих характерних для нього смуг ІЧ-спектру. Таким чином, за ІЧ-спектром зразка ґрунту стає можливим визначити вміст кожного окремого його компонента, зокрема важких металів.

Теорія побудови природоохоронних технологій на прикладі екологічно небезпечних технічних енергогенеруючих об'єктів, що використовують вуглецевмісне невідновлюване паливо, представлена в монографії [122].

Теорію та приклади розробки систем управління екологічною безпекою на основі відповідних природоохоронних технологій, як методологічної основи забезпечення законодавчо встановленого рівня екологічної безпеки, описано в джерелі [123].

Забруднення важкими металами в результаті вибуху відбувається в поверхневому шарі ґрунту, проте в подальшому можлива їх міграція в глиб ґрунтового шару. У зв'язку з викладеним відбір проб ґрунту для дослідження проводити на глибину до 30 см з подальшим дослідженням розрізів на різній глибині.

Проби ґрунту були відібрані в місці, обраному як типове місце вибухів для знищення вибухонебезпечних предметів. Пробовідбірником відбирали кернові проби ґрунту на глибині до 30 см. Отримані кернові проби використовували для подальшого відбору окремих проб ґрунту з поверхневого шару ґрунту (глибина 0 см) та глибших шарів (глибина 10, 15, 20, 25 та 30 см) відповідно.

Для якісного та кількісного аналізу проб ґрунту використовували метод «таблетки KBr». Отримані зразки обробляли в гранулах з бромистою сіллю калію (KBr), яка використовувалася як суспендує середовище [124]. Дрібноподрібнені зразки ґрунту ретельно перемішували з подальшим пресуванням у форми для отримання прозорих таблеток. Цей метод дозволяє виключити більшість смуг спектру та контролювати концентрацію зразка.

Отримані гранули досліджували на спектрально-аналітичній установці, створеній на базі інфрачервоного спектрометра ІКС-21 і тепловізора LAND-814 [125]. Оптична схема спектрально-аналітичної установки показана на рис. 3.3. Принцип дії спектрально-аналітичної установки показаний на рис. 3.4.

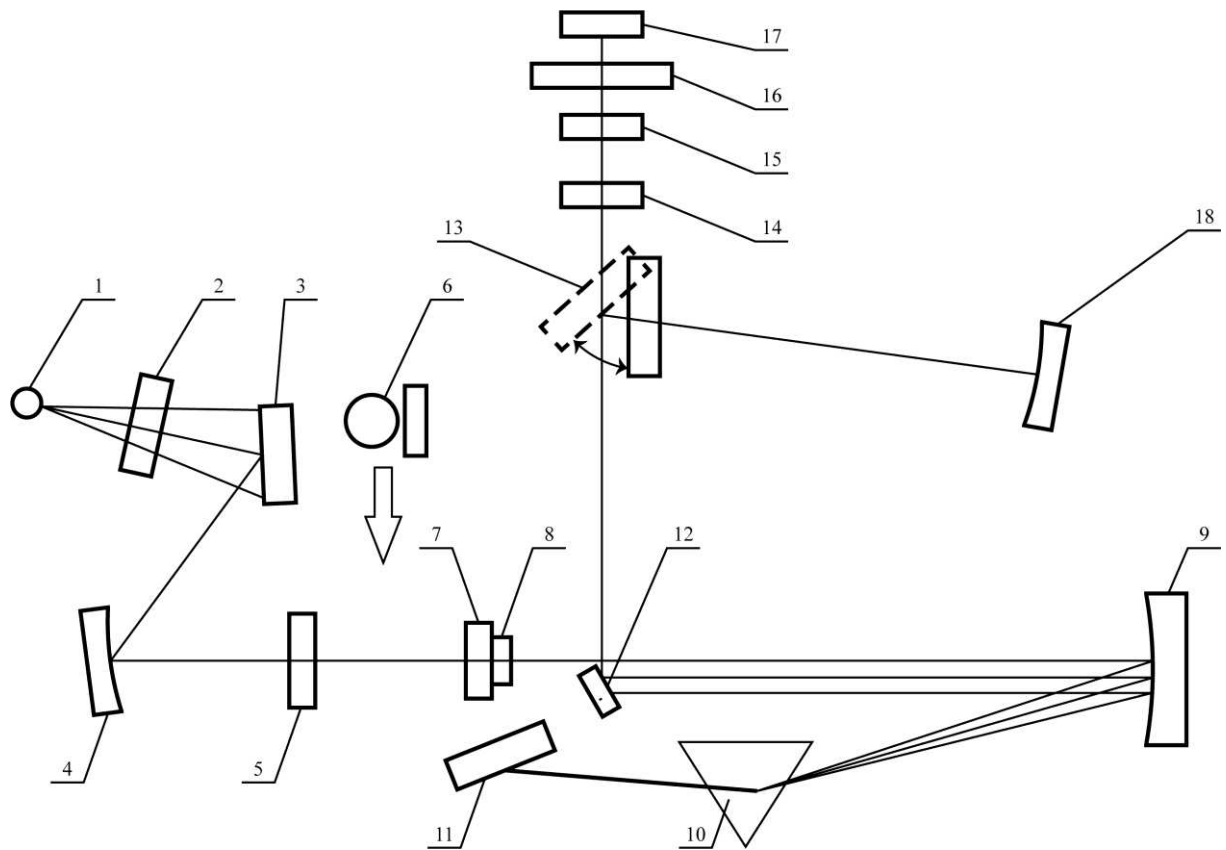


Рисунок 3.3 – Оптична схема спектрально-аналітичної установки:

1 – джерело випромінювання; 2 – вхідне захисне вікно освітлювача;
 3 – плоске дзеркало; 4 – сферичне дзеркало; 5 – вихідне захисне вікно освітлювача; 6 – кювета; 7 – отвір; 8 – вхідний зазор; 9 – позаосьове параболічне дзеркало; 10 – призма; 11 – репліка дзеркала або ешелету Літтрова; 12 – плоске дзеркало; 13 – плоске поворотне дзеркало; 14 – вихідне захисне вікно монохроматора або фільтра; 15 – оптична система радіометра; 16 – натурна матриця стрілок фокальної площини (FPA) «дивлячого» типу; 17 – блок обробки результатів вимірювань; 18 – одиночний приймач випромінювання

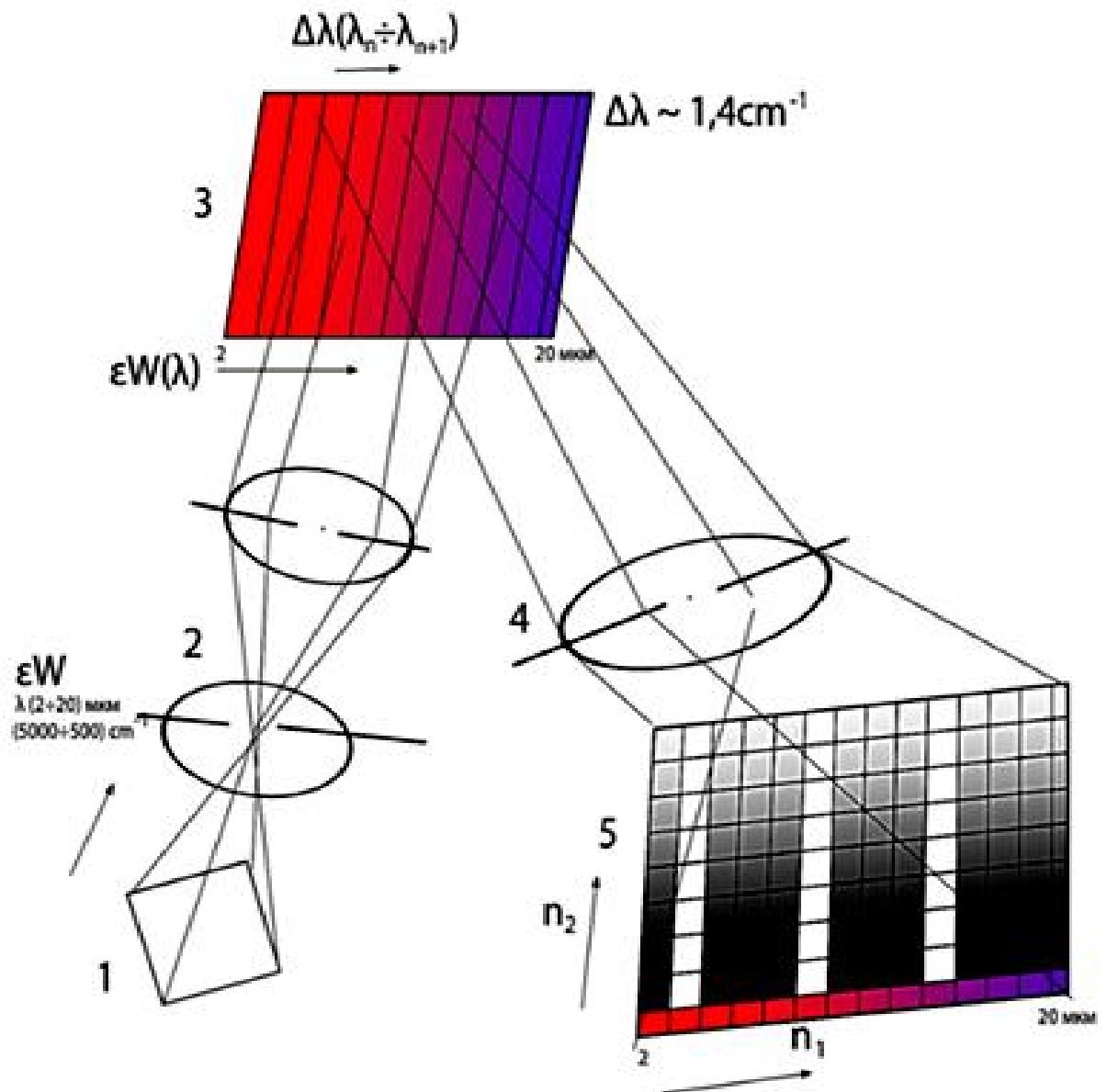


Рисунок 3.4 – Схема реєстрації та візуалізації спектру інфрачервоного випромінювання:

- 1 – джерело випромінювання; 2 – інфрачервона оптична система;
 3 – дисперсійний блок; 4 – інфрачервоно-тороїдальна оптична система;
 5 – повномасштабна матриця стрілок фокальної площини (FPA)
 «дивлячого» типу

Для спектроскопічних досліджень використовувався спектрометр ІКС-21, вдосконалений за рахунок використання неселективної матриці чутливих елементів тепловізора ЛАНД-814. Такий підхід дозволив якісно підвищити чутливість і спектральну роздільну здатність системи [125].

ІЧ-спектрометричні дослідження проводили в найбільш інформативному спектральному діапазоні довжин хвиль 7,5...14 мкм. Його перевагою є розташування в ньому спектрального максимуму власного випромінювання земних об'єктів при нормальній температурі $T \sim 300$ К, що відповідає довжині хвилі ~ 10 мкм.

Порівняння отриманих спектрів з еталонними дозволяє ідентифікувати склад складних хімічних сполук і виокремити його специфічні компоненти. Для ідентифікації забруднювачів, які піддаються впливу вибухів боєприпасів, ми використали еталонні спектри Al_2O_3 (рис. 3.5), MgO (рис. 3.6) та MgAl_2O_4 (рис. 3.7) разом із аналогами існуючих каталогів ІЧ-спектрів [121, 126].

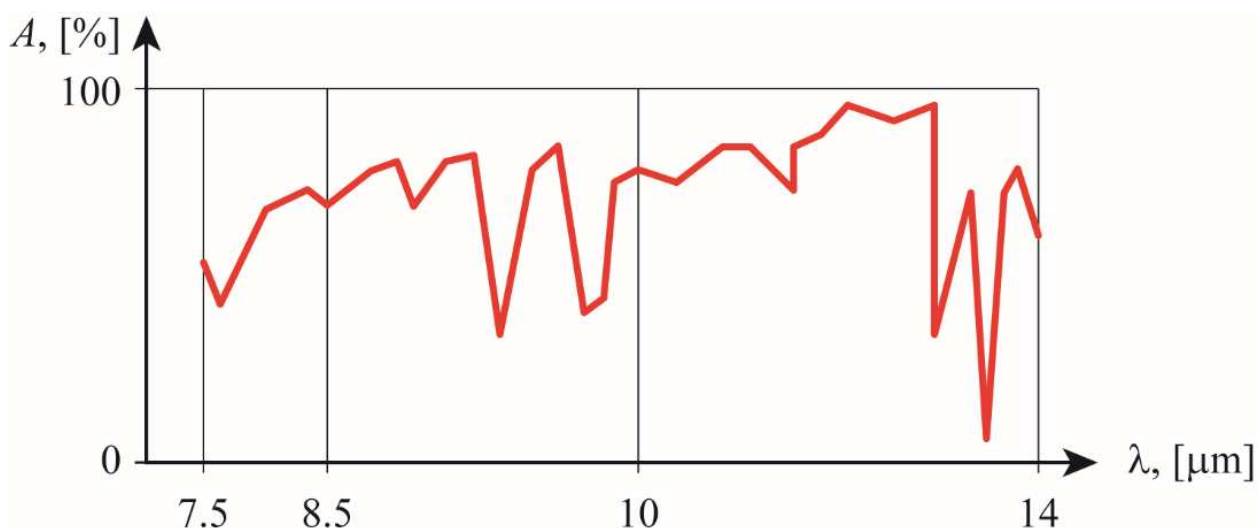
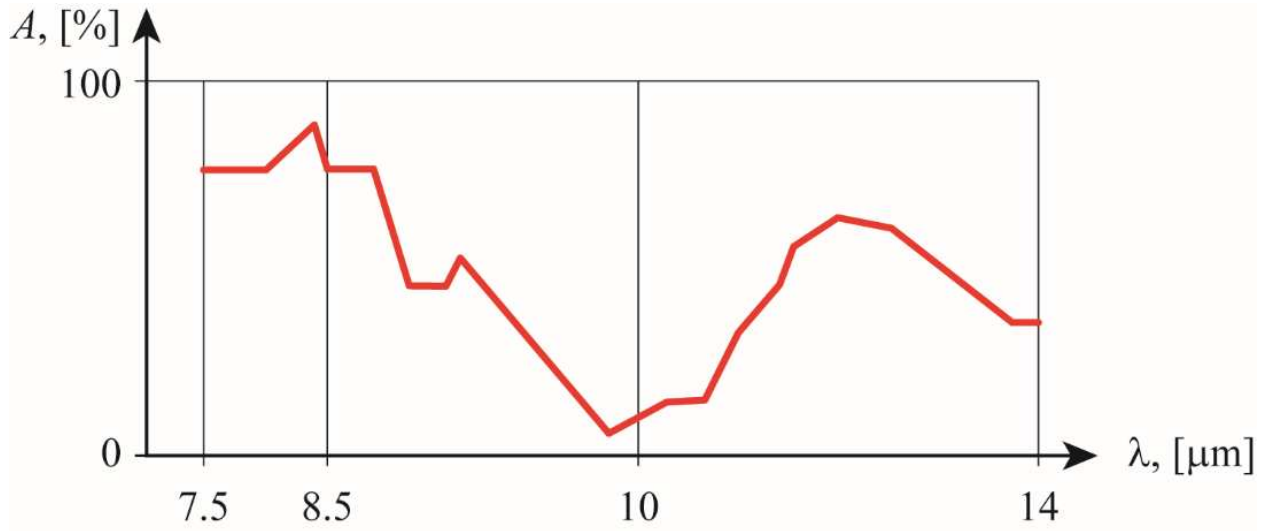
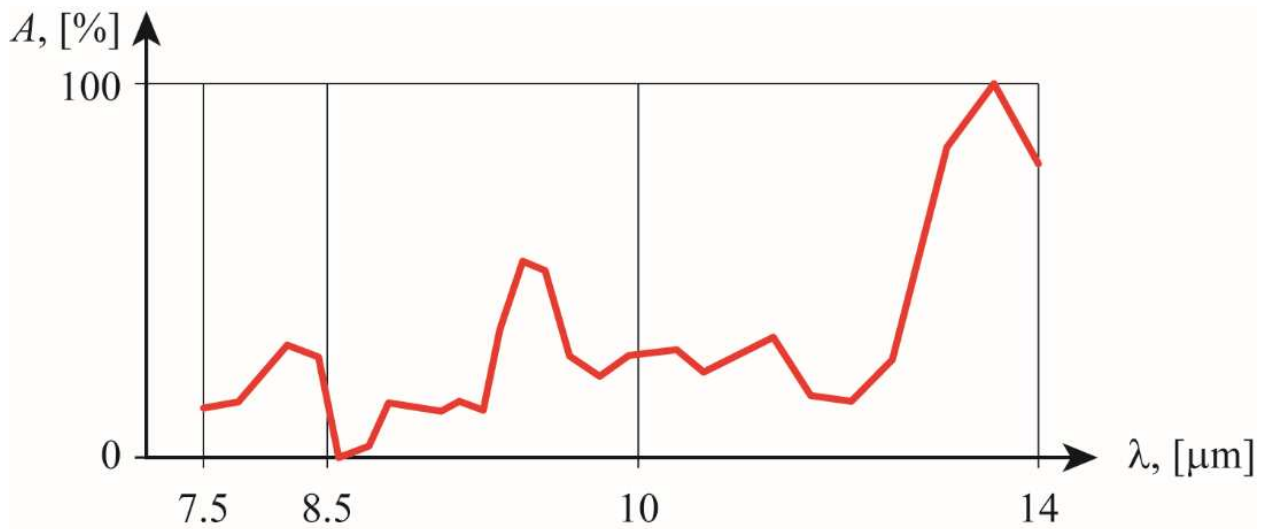


Рисунок 3.5 – Еталонний спектр Al_2O_3

Рисунок 3.6 – Еталонний спектр MgO Рисунок 3.7 – Еталонний спектр MgAl_2O_4

За результатами аналізу спектрів поглинання досліджуваного зразка та еталонного спектру для кожного компонента суміші визначено окремі смуги, на які не впливають інші компоненти.

Значення логарифмічного пропускання досліджуваного зразка визначали за виділеними смугами за формулою [124]:

$$T = \lg (I / I_0), \quad (3.1)$$

де I_0 – інтенсивність падаючого випромінювання певної довжини хвилі; I – інтенсивність випромінювання, що пройшло крізь зразок. У цьому випадку значення $T = 1$ означає відсутність досліджуваної речовини в пробній суміші і її зменшення відповідає збільшенню кількості досліджуваної речовини в пробній суміші.

Графіки залежностей значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту представлені на рис. 3.8-3.15.

Результати визначення логарифмічного пропускання для зразків ґрунту показані у табл. 3.1.

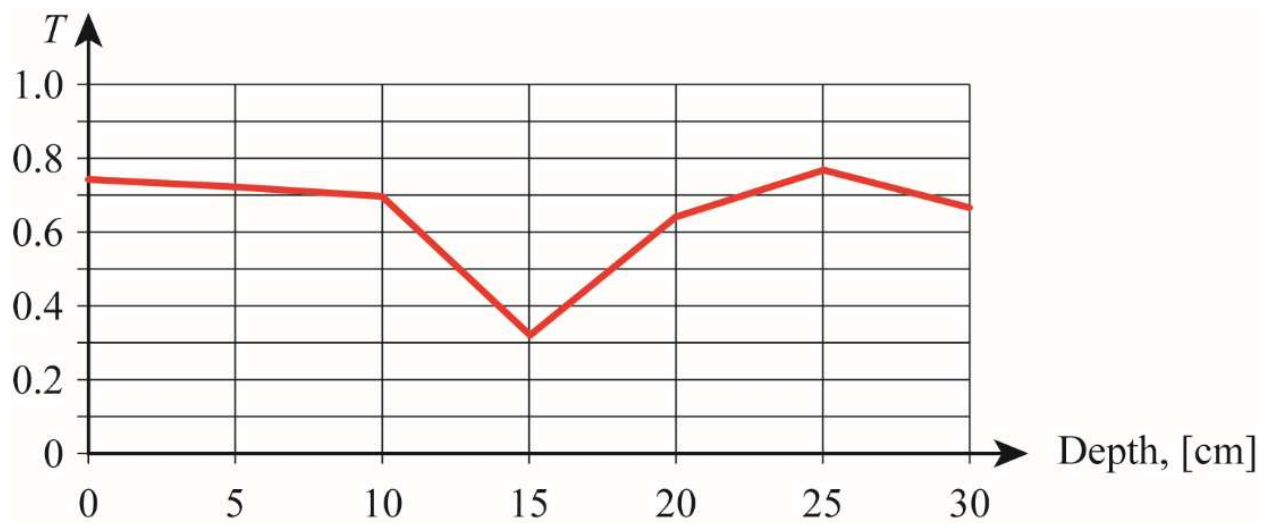


Рисунок 3.8 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для Al_2O_3

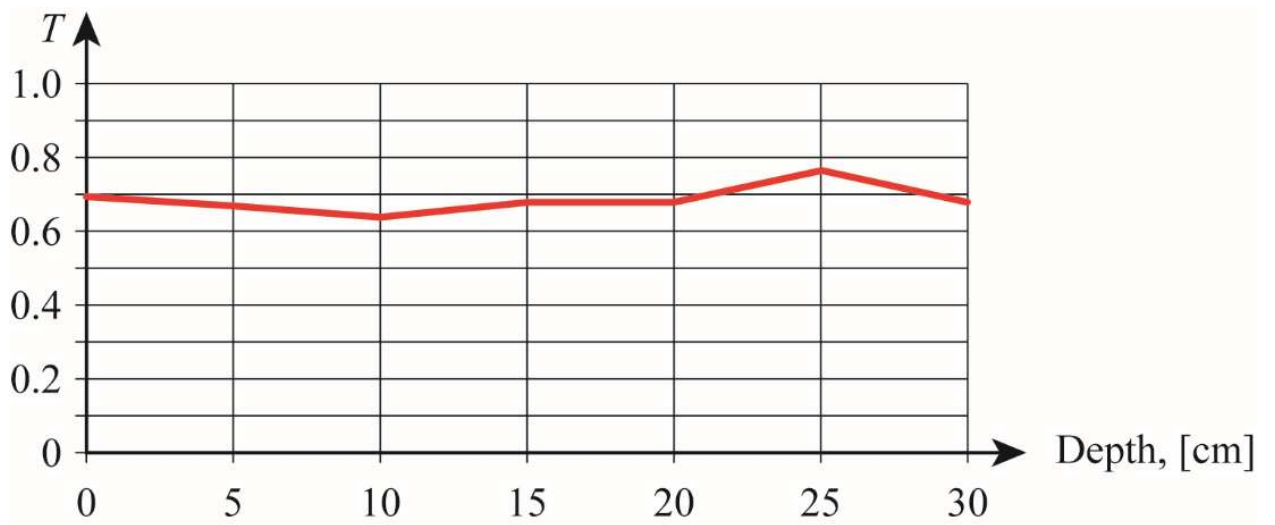


Рисунок 3.9 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для MgO

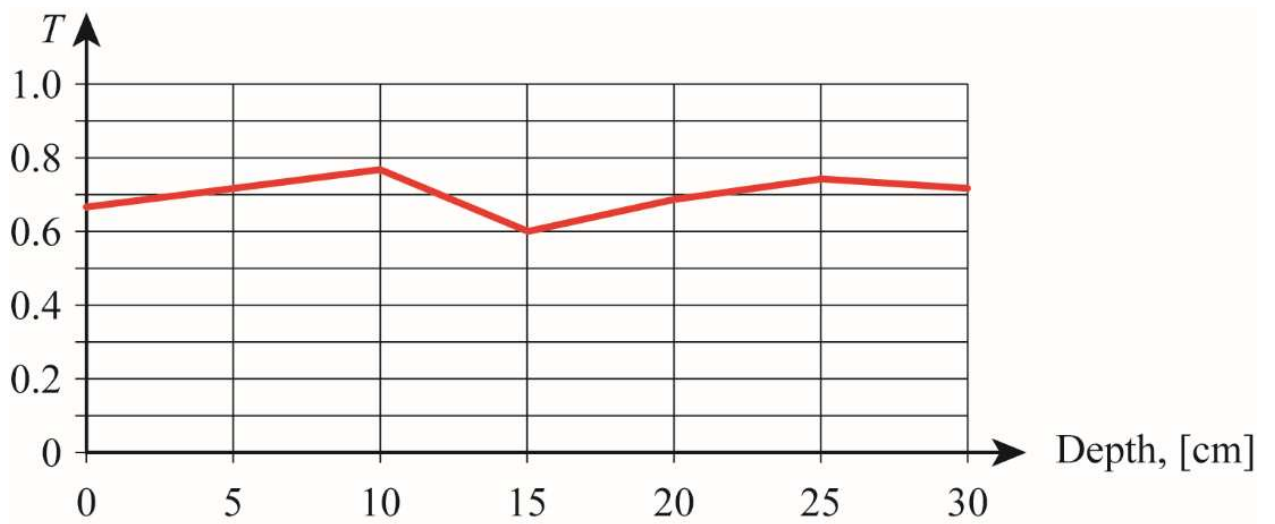


Рисунок 3.10 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для MgAl_2O_4

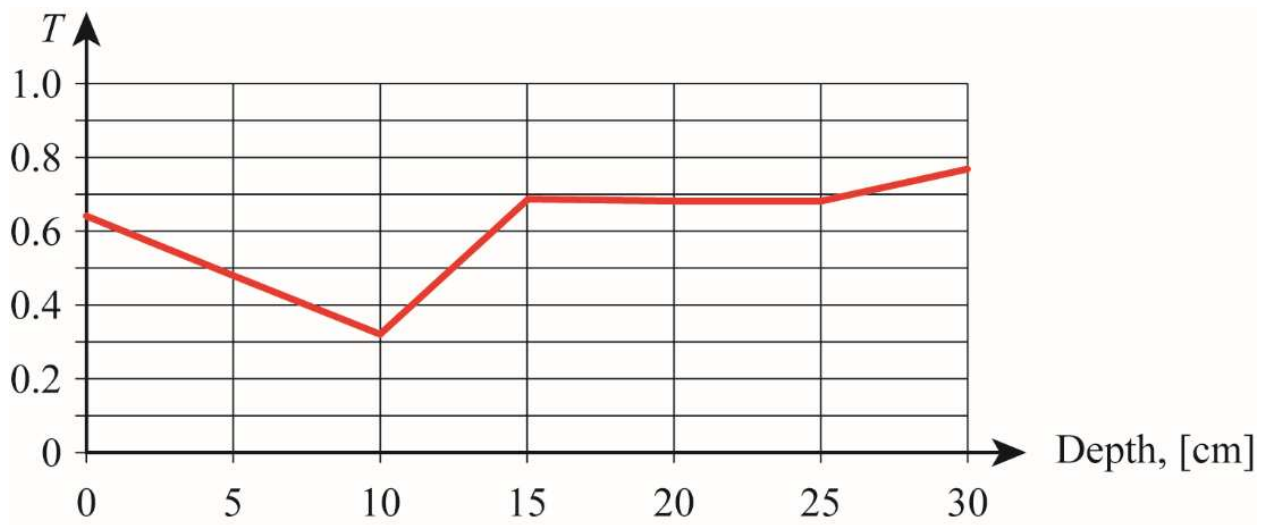


Рисунок 3.11 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для FeO



Рисунок 3.12 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для Fe₂O₃

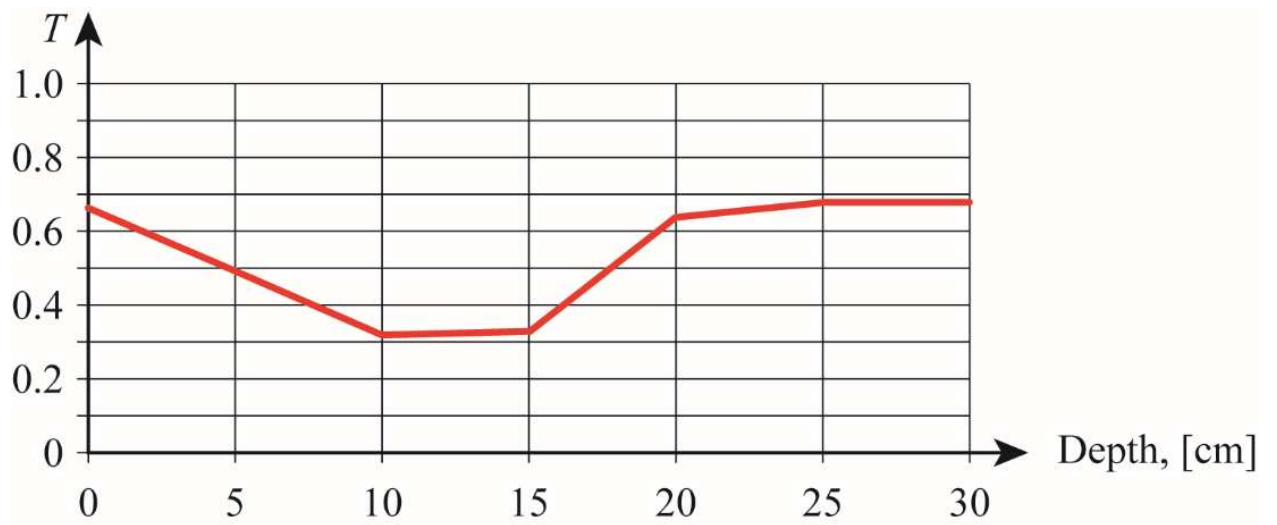


Рисунок 3.13 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для CuO

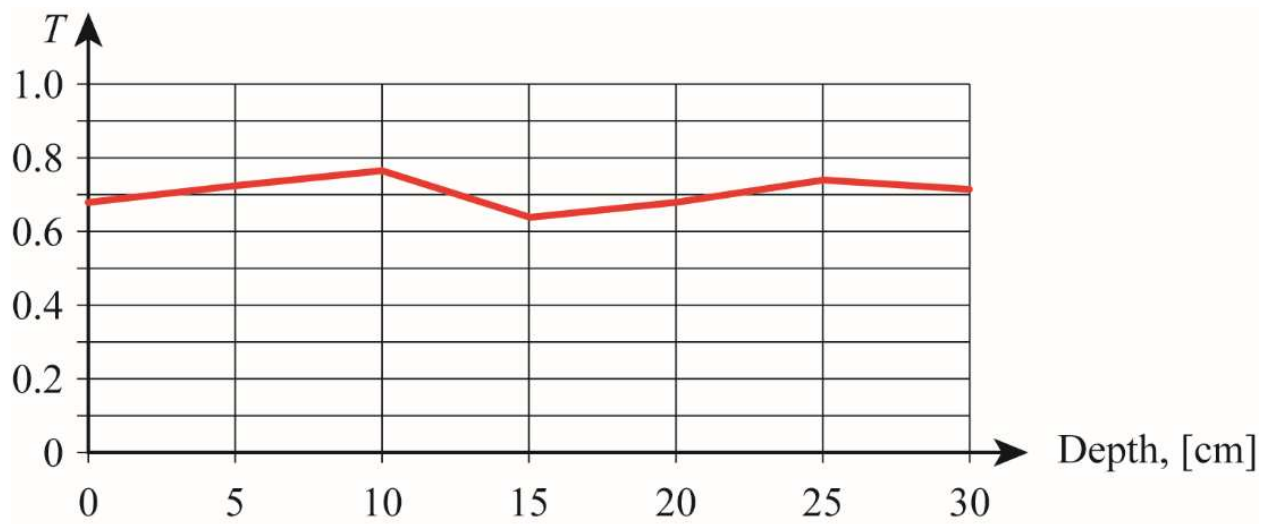


Рисунок 3.14 – Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для ZnO

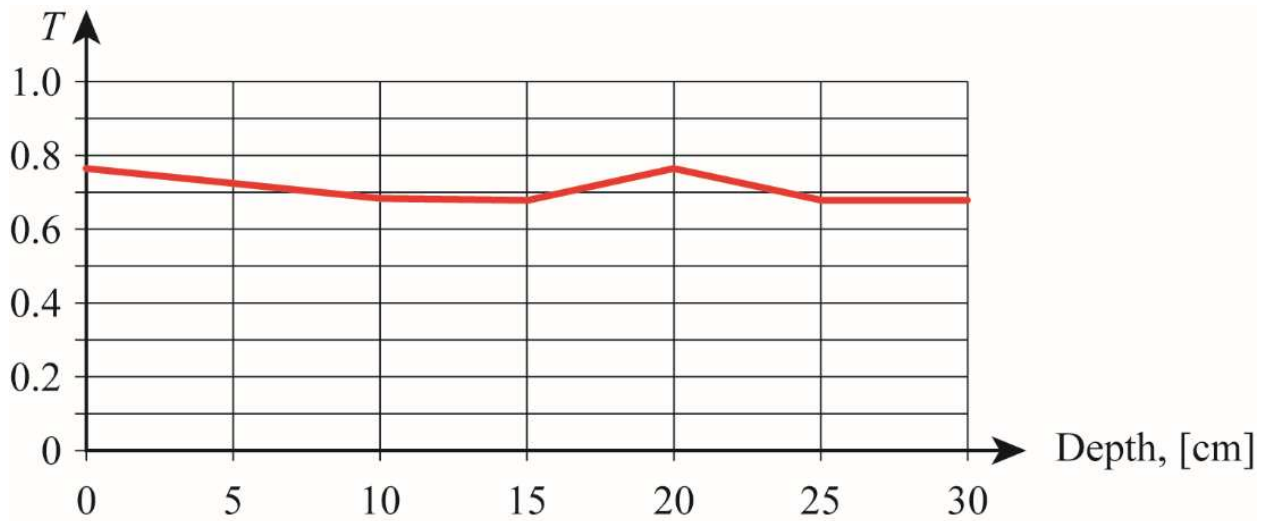


Рисунок 3.15 –Залежність значення логарифмічного пропускання від глибини розташування зразка ґрунту для NiO

Таблиця 3.1 – Значення логарифмічного пропускання, отримані в експерименті

Номер зразка	1	2	3	4	5	6
Глибина, см	0	10	15	20	25	30
Речовина	Логарифмічне пропускання T					
Al_2O_3	0,740	0,699	0,319	0,640	0,767	0,667
MgO	0,699	0,682	0,640	0,683	0,682	0,767
MgAl_2O_4	0,667	0,767	0,598	0,685	0,740	0,718
FeO	0,640	0,319	0,685	0,682	0,683	0,767
Fe_2O_3	0,598	0,333	0,640	0,598	0,767	0,718
CuO	0,667	0,319	0,332	0,640	0,683	0,682
ZnO	0,682	0,767	0,640	0,683	0,740	0,718
NiO	0,767	0,685	0,682	0,767	0,683	0,683

Аналіз отриманих результатів показує, що такі метали як Mg, Ni та Zn стабільно присутні в ґрунті місця вибуху. Натомість для таких металів як Al, Fe та Cu спостерігалось різке зниження логарифмічного значення пропускання на глибині 10...15 см, що означає, що ці елементи накопичуються на цих глибинах ґрунту після вибухів.

Висновки за розділом 3

1. Вперше створено методику рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, яка включає в себе три етапи, а саме:

– Етап 1 – моніторинг земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізований на основі безпілотної авіаційної системи моніторингу з використанням розроблених методу та критерію оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів;

– Етап 2 – розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізується спеціалізованими піротехнічними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій з використанням результатів моніторингу, проведеного на Етапі 1;

– Етап 3 – біологічне очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – з використанням способу фітореMediaції.

2. Запропонована вдосконалена методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів, що дозволяє визначити наявність таких металів як Al, Cu, Fe, Mg, Ni та Zn у пробах ґрунту місця вибуху. Застосування еталонних спектрів поглинання досліджуваного зразка ґрунту

та еталонних спектрів різних речовин з окремими смугами, не зачепленими іншими компонентами, дозволяє ідентифікувати склад складних хімічних сполук та окремі його специфічні компоненти.

З використанням запропонованою методики встановлено, що такі метали як Mg, Ni та Zn демонструють стабільну присутність у ґрунті місця вибуху з невеликою кількістю. Натомість для таких металів, як Al, Cu та Fe, ми спостерігаємо різке зниження логарифмічного значення пропускання на глибині 10...15 см, що означає, що ці елементи накопичуються на цих глибинах ґрунту після вибухів.

ІЧ-спектрометричні дослідження забезпечують можливість подальшого вдосконалення запропонованої методики дослідження забруднення ґрунтів важкими металами в місцях вибухів у напрямку впровадження дистанційного спектрального зондування Землі в польових умовах.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Технологія рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії рф

Виходячи з аналізу особливостей негативного впливу на навколишнє природне середовище чинників, пов'язаних з військовою агресією російської федерації, можна сформулювати наступні вимоги до технології рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок цього, а саме:

- 1) комплексний характер технології з можливістю одночасного вирішення декількох завдань із забезпечення екологічної безпеки;
- 2) можливість застосування технології на великих територіях;
- 3) врахування вимог забезпечення вибухобезпеки при проведенні робіт з рекультивації.

Для виконання вказаних вимог було запропоновано технологію рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, яка заснована на використанні розробленої методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Функціональна схема запропонованої технології рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, представлена на рисунку 4.1.

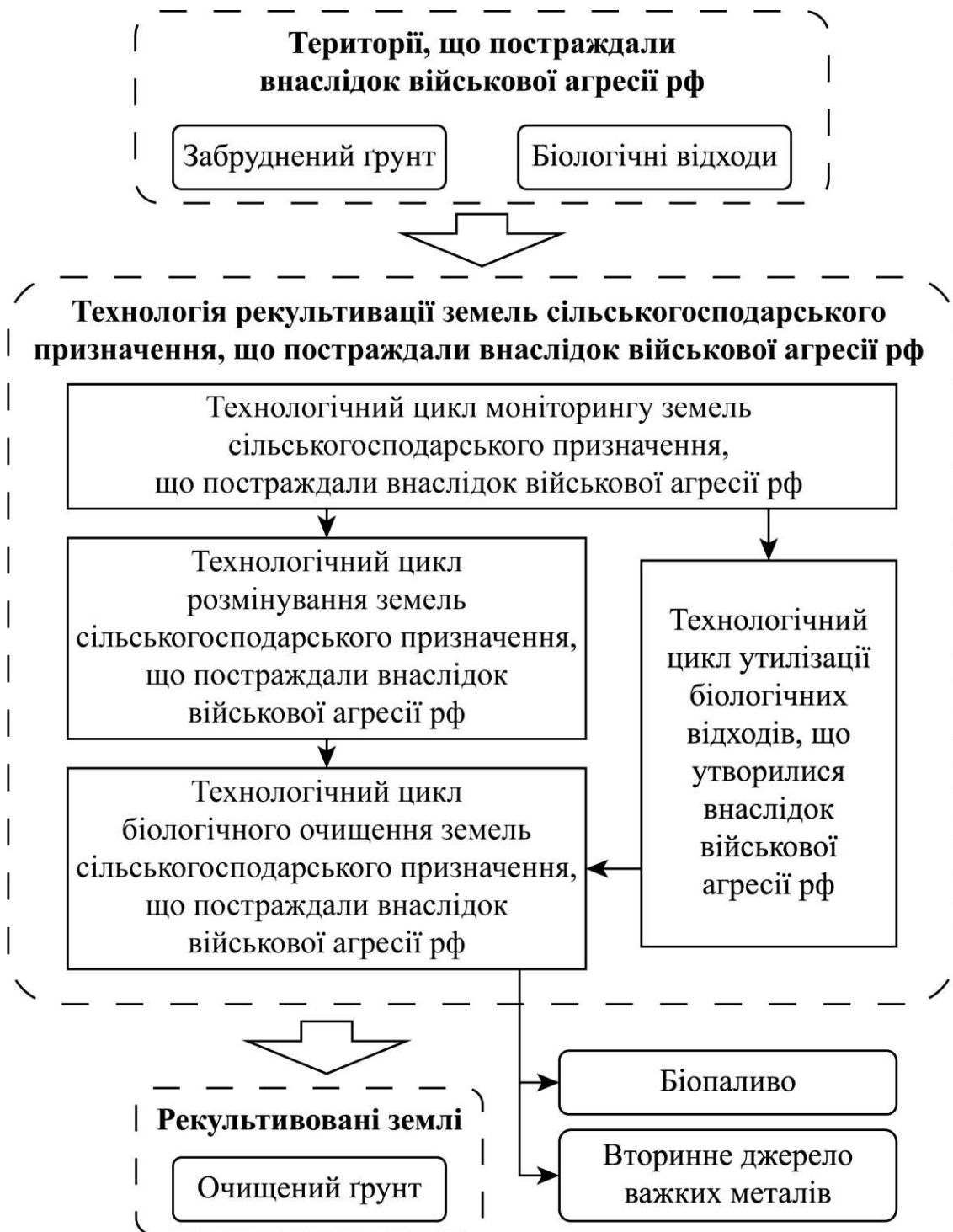


Рисунок 4.1 – Функціональна схема запропонованої технології рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації

Вона складається з чотирьох технологічних циклів:

1) технологічний цикл моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації;

2) технологічний цикл розмінування земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації;

3) технологічний цикл біологічного очищення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації;

4) технологічний цикл утилізації біологічних відходів, що утворилися внаслідок військової агресії російської федерації.

Перші три цикли відповідають реалізації Етапів I-III розробленої у попередньому розділі методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Четвертий технологічний цикл є практичним вдосконаленням розробленої методики та застосовується для інтенсифікації зростання та розвитку рослин, що використовуються при фіторе mediaції.

Суттєвою проблемою, що заважатиме реалізації технологічного циклу біологічного очищення на територіях, що постраждали від військової агресії російської федерації, є низька схожість насіння висаджених рослин. Зазвичай для її подолання застосовують певні види добрив, що сприяють підвищенню схожості насіння. Одночасно вирішити проблему утилізації утворених внаслідок військової агресії російської федерації біологічних відходів дозволяє реалізація ж запропонованого технологічного циклу утилізації біологічних відходів дозволяє водночас вирішити й цю проблему.

Найголовнішою проблемою, що суттєво гальмує процес відновлення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок

військової агресії російської федерації, є мала швидкість обстеження та розмінування територій, забруднених вибуховими предметами. Тому при розробці технології пропонується використовувати спеціалізовану техніку для розмінування.

Вже використовуються на території Харківської області дві спеціалізовані дистанційно керовані машини для розмінування Bozena-5 словацького виробництва [117]. Вказана техніка представлена на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Машина для дистанційного розмінування Bozena 5 (Словаччина)

Більш пристосованою до вирішення задач рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, є дистанційно керована система DOK-ING MV-10 хорватського виробництва [118]. Вказана техніка показана на рисунку 4.3.

Обидві системи є ефективними щодо видалення протипіхотних мін, однак, DOK-ING MV-10 додатково оснащена культиватором, що проводить вторинну обробку ґрунту. Це призводить до кращої підготовленості ґрунту до реалізації наступного технологічного циклу біологічного очищення.

Використання техніки для дистанційного розмінування земель сільсько-господарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки для піротехнічних підрозділів, підвищити швидкість обробки території, не втрачаючи якості розмінування.



Рисунок 4.3 – Машина для дистанційного розмінування DOK-ING MV-10
(Хорватія)

Для реалізації технологічного циклу біологічного очищення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, за напрямом видалення важких металів пропонується представлена в роботі [119] технологія біологічного очищення, що базується на вилученні важких металів з техногенно забрудненого ґрунту шляхом їх фітоекстракції рослинами петрушки кучерявої. Вказана рослина є пристосованою до природних умов Харківської області.

Для підвищення об'єму біомаси рослин та покращення умов видалення важких металів завдяки утворенню у ґрунті їх хелатів висів петрушки кучерявої супроводжується внесенням ефектора фітоекстракції (етилендіамінтетраоцтова кислота) та обробкою насіння перед висівом регулятором росту (препарат «Корневін»). Для підвищення швидкості виконання технологічного циклу процес висіву петрушки кучерявої можна поєднати з процесом розмінування, оснастивши представлені раніше системи дистанційного розмінування сівалками [120]. Зокрема, на рисунку 4.4 представлено сівалку для трав'яних культур AGRO-MASZ SP200 польського виробництва [127]. Для покращення схожості та збережуваності насіння можна використовувати спосіб його гранулювання.

Для реалізації технологічного циклу біологічного очищення земель за напрямом видалення органічних вибухових речовин пропонується використання технології, представленої у роботі [128]. Вона заснована на використанні трансгенних дерев видів тополя та осика, що також є пристосованими до природних умов Харківської області.

Після очищення ґрунту вказані вище рослинні культури можуть бути використані у якості біопалива. Зола від спалювання утилізованої біомаси

також може слугувати сировиною для виділення важких металів для їх подальшого повторного використання.



Рисунок 4.4 – Сівалка AGRO-MASZ SP200 (Польща)

4.2 Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів

У місці знешкодження та знищення боєприпасів відбуваються їх вибухи, в результаті яких утворюється велика кількість уламків боєприпасів різного розміру, які можуть розлітатися на достатньо велику відстань та заглиблюватися у ґрунт. При проведенні робіт з рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів вказані уламки можуть бути осередками небезпеки для людей та техніки, тому їх виявлення потребує особливої уваги. При цьому завдяки впливу факторів вибуху – ударної хвилі

та механічного впливу уламків – на поверхні території місця знешкодження та знищення боєприпасів утворюються суттєві нерівності, які погіршують умови пошуку та видалення уламків боєприпасів під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Для практичної реалізації розробленої технології за технологічним циклом моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації необхідно створення безпілотної авіаційної системи моніторингу з використанням БПЛА та дистанційних засобів контролю. Для виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів було розроблено спосіб виявлення вказаних осередків небезпеки [17, 18], функціональна схема якого представлена на рисунку 4.5.

Підвищення ефективності методів виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів пов'язане із якнайширшим застосуванням різноманітних дистанційних методів контролю. З урахуванням специфіки утворення осередків небезпеки у місці знешкодження та знищення боєприпасів перспективним видається використання для пошуку осередків небезпеки методу підповерхневої георадіолокації [129] та використання для визначення показників нерівності поверхні методу лазерного сканування поверхні [130]. Основною вимогою до виконання дослідження з використанням зазначених методів є забезпечення точного позиціонування технічних засобів у потрібній точці з одночасною можливістю їх переміщення. Актуальним у цьому сенсі є використання методів та засобів дистанційного доставляння засобів підповерхневої георадіолокації та лазерного сканування поверхні у точку спостереження за допомогою БПЛА.

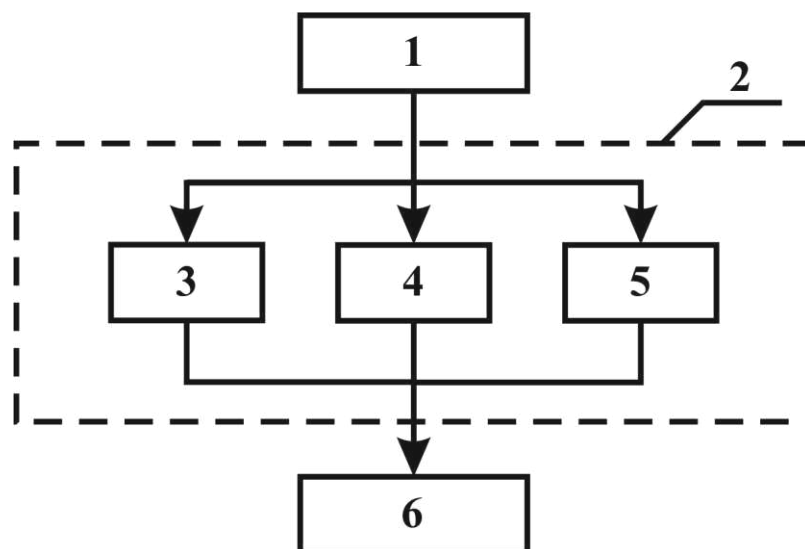


Рисунок 4.5 – Функціональна схема способу виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів:

1 – місце знешкодження та знищення боєприпасів; 2 – БПЛА, який має можливість як вільного переміщення у горизонтальній та вертикальній площині, так і має властивість зависати у повітрі безпосередньо над поверхнею з прив’язкою до точки спостереження; 3 – блок спостереження у оптичному та інфрачервоному діапазонах; 4 – блок підповерхневої радіолокації; 5 – блок лазерного сканування поверхні; 6 – наземний центр спостереження

Це дає змогу в автоматичному режимі визначати показники нерівності поверхні у виявлених осередках небезпеки. Наявність даної інформації дозволяє визначати послідовність виконання операцій та потрібні обсяги ресурсів та техніки, які мають бути застосовані піротехнічними підрозділами для ліквідації виявлених осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Запропонований спосіб працює таким чином. Один або декілька БПЛА здійснюють постійне спостереження місця знешкодження та знищення боєприпасів, рухаючись таким чином, що забезпечується покриття усієї його території. При виявленні за допомогою блоку спостереження у оптичному та інфрачервоному діапазонах осередка небезпеки, БПЛА в автоматичному режимі переміщується до місця розташування осередка небезпеки, зависає безпосередньо над поверхнею з прив'язкою до центру виявленого осередка небезпеки, визначає за допомогою блоку підповерхневої георадіолокації глибину його розташування, а також визначає за допомогою блоку лазерного сканування поверхні показники нерівності поверхні у точці спостереження. Дані щодо виявленого осередка небезпеки та місця його розташування передаються до наземного центру спостереження. В подальшому наземний центр спостереження в оперативному режимі передає дані про виявлений осередок небезпеки до піротехнічного підрозділу та дозволяє визначати дії щодо видалення уламка боєприпасу з виявленого осередка небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів.

Використання запропонованого способу дозволяє забезпечувати покриття всієї площі місця знешкодження та знищення боєприпасів, визначати нові параметри місця розташування осередка небезпеки, а саме показники нерівності поверхні в осередку небезпеки, а також в автоматичному режимі виявляти осередки небезпеки та в подальшому контролювати їх глибину та показники нерівності поверхні в осередках небезпеки. При цьому виключається участь у виявленні осередків небезпеки людини-оператора, що дозволяє зменшити працевитрати на реалізацію способу та зменшити кількість помилок при виявленні осередків небезпеки за рахунок виключення впливу суб'єктивних факторів.

Для інтенсифікації зростання та розвитку рослин, що використовуються при фіторе mediaції, потрібно застосовувати певні види добрив, що сприяють цьому. Також на територіях, що постраждали від військової агресії російської федерації, суттєвою проблемою, що заважатиме реалізації технологічного циклу біологічного очищення, є низька схожість насіння висаджених рослин.

Вирішити вказані проблеми та одночасно вирішити проблему утилізації утворених внаслідок військової агресії російської федерації біологічних відходів дозволяє реалізація технологічного циклу їх утилізації. Зокрема, у роботі [131] було запропоновано технологію зольного гранулювання у пакуванні насіння з використанням біологічних відходів. При практичній реалізації вказаної технології можуть використовуватися компактні пересувні моделі крематорів, що дозволяє створити на їх основі мобільні комплекси з утилізації відходів у місцях їх накопичення. Продукт роботи крематора можна використовувати для гранулювання відразу після закінчення спалювання. Також отриману золу можна вільно накопичувати та транспортувати для подальшого використання, оскільки в результаті спалювання забезпечується знезараження біологічних відходів.

Утворена зольна гранула сферичної форми містить в собі зерно азотно-фосфатного добрива, також в якості добрива виступає сама зола (рис. 4.6).

Перевагами використання зольних гранул, виготовлених із золи спалених небезпечних відходів тваринництва при пакуванні насіння є наступне:

- покращення збережуваності насіння у випадку зовнішніх температурних впливів та виключення негативного ефекту, якщо такі впливи є короткостроковими;

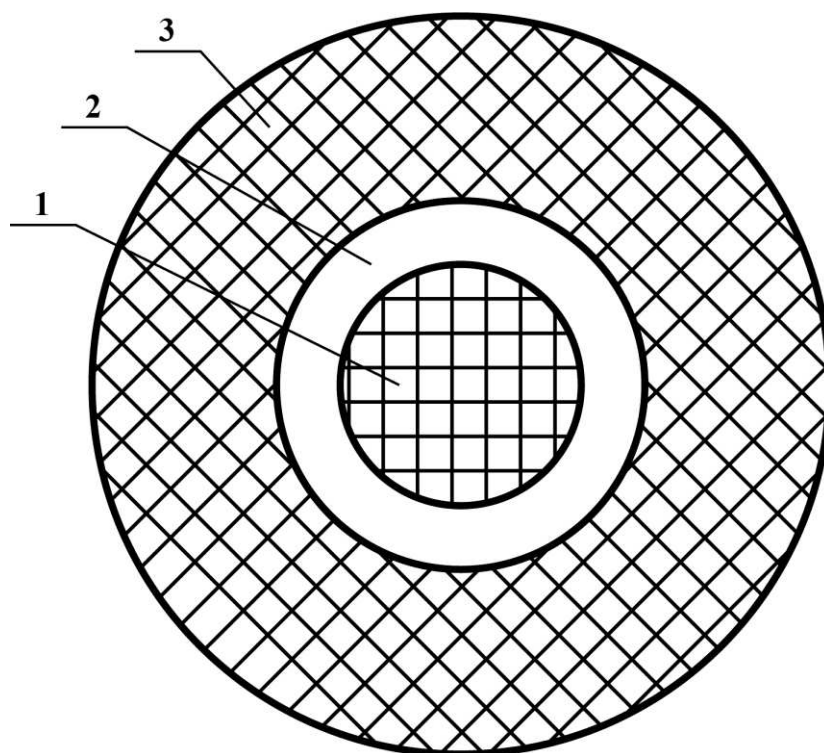


Рисунок 4.6 – Схема насіннєво-органомінеральних гранул [132]:

1 – гранула важкорозчинного азотно-фосфорного добрива; 2 – суміш насіння, органічного добрива та дрібнозернистого піску; 3 – зола від спалювання біологічних відходів

– забезпечення утилізації небезпечних біологічних відходів тваринництва безпосередньо у місці їх захоронення;

– можливість організації технологічного процесу гранулювання насіння безпосередньо у місці захоронення небезпечних біологічних відходів та у достатній близькості до місця збирання та пакування насіння, та навпаки.

4.3 Мобільний комплект польових досліджень ґрунту

Аналіз існуючих способів визначення показників якості ґрунту, придатних для дослідження земель, що постраждали внаслідок бойових дій та обстрілів, показав практичну відсутність на сьогоднішній день єдиної технології експериментального дослідження, яка б дозволила вирішити весь комплекс завдань із забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Причиною цього є, зокрема, велика складність визначення комплексу характеристик якості ґрунтів при виборі відповідного технологічного процесу. Велика кількість забруднювачів потребує використання складного лабораторного обладнання, у багатьох випадках це пов'язано з проведенням довготривалих досліджень у спеціальних умовах.

Для вирішення поставленого завдання було розроблено «МОБІЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ҐРУНТУ» – комплект лабораторного устаткування для проведення польових досліджень якості ґрунту при рекультивації земель місць, що постраждали від військової агресії російської федерації, до складу якого входять:

- відбірник проб ґрунту,
- набір для експрес-аналізу проб ґрунту,
- рН-метр з електродами для визначення вмісту важких металів,
- вимірювач кислотності, вологості, освітлення ЕПТ 301,
- кондуктометр кишеньковий,
- переносний штатив, лабораторний посуд.

Комплект реалізовано у корпусі у вигляді переносного ящика довжиною 60 см із руків'ям, що забезпечує зручність переносу комплекту у польових умовах. Для забезпечення збережуваності обладнання під час

транспортування всередині корпусу місця розташування обладнання обкладено амортизуючим матеріалом. Все обладнання має автономне джерело живлення. Загальний вигляд мобільного комплексу польових досліджень ґрунту представлено на рисунку 4.7.

Представлений мобільний комплект польових досліджень ґрунту реалізовано на базі сучасних технічних рішень з урахуванням принципів організації та проведення польових експериментальних досліджень, що дозволило застосовувати його у широкому спектрі умов.



Рисунок 4.7 – Загальний вигляд мобільного комплексу польових досліджень ґрунту

Застосування розробленого комплексу дозволяє визначити експрес-методом характеристики якості ґрунту одночасно за показниками родючості та вмістом основних забруднювачів, що надходять внаслідок бойових дій. Отримані результати, в свою чергу, дають змогу визначити технологічні характеристики процесу рекультивації земель, що постраждали внаслідок бойових дій.

4.4 Практичне впровадження отриманих результатів дослідження

Розроблені у ході виконання представленого дисертаційного дослідження критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, створений на його основі метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, а також методика рекультивації місць знешкодження та знищення боєприпасів використовуються у практичній діяльності частини піротехнічних робіт та гуманітарного розмінування Аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Кіровоградській області (акт про впровадження від 08.11.2023 р.). Також розроблені критерій та метод використовуються в практичній діяльності ТОВ «Агрофірма Софіївська» (с. Софіївка Компанівського району Кіровоградської області) (акт про впровадження від 21.12.2023 р.).

Також отримані результати дослідження використовуються у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України при підготовці здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої

освіти за освітньою програмою «Техногенно-екологічна безпека» зі спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища», а саме при вивченні теми «Система контролю якості довкілля та її зв'язок з системою моніторингу» навчальної дисципліни «Технології і методи контролю показників якості довкілля» (акт про впровадження від 08.11.2022 р.).

Висновки за розділом 4

1. Розроблено технологію рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації, яка складається з чотирьох технологічних циклів, а саме: технологічного циклу моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу розмінування земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу біологічного очищення земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації; технологічного циклу утилізації біологічних відходів, що утворилися внаслідок військової агресії російської федерації.

Перші три цикли відповідають реалізації Етапів I-III розробленої у попередньому розділі методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. Четвертий технологічний цикл є практичним вдосконаленням розробленої методики та застосовується для інтенсифікації зростання та розвитку рослин, що використовуються при фіторе mediaції.

2. Для реалізації моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що постраждали внаслідок військової агресії російської федерації розроблено спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів, який захищено двома Патентами України на корисну модель.

3. Розроблено мобільний комплект польових досліджень ґрунту – комплект лабораторного устаткування для проведення польових досліджень якості ґрунту при рекультивації земель місць, що постраждали від військової агресії російської федерації, який дозволяє визначити експрес-методом характеристики якості ґрунту одночасно за показниками його родючості та вмістом основних забруднювачів, що надходять до нього внаслідок бойових дій. Отримані результати, в свою чергу, дають змогу визначити технологічні характеристики процесу рекультивації земель, що постраждали внаслідок бойових дій.

4. Основні результати дослідження використовуються у практичній діяльності частини піротехнічних робіт та гуманітарного розмінування Аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Кіровоградській області (акт про використання від 08.11.2023 р.) та ТОВ «Агрофірма Софіївська» (с. Софіївка Компанівського району Кіровоградської області) (акт про впровадження від 21.12.2023 р.), а також у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України при підготовці здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Техногенно-екологічна безпека» зі спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу у галузі технологій захисту навколишнього середовища, а саме: підвищення екологічної безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів шляхом розробки методики рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

За підсумками виконаної наукової роботи зроблено наступні висновки:

1. У результаті аналізу існуючих технологій рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів встановлено відсутність на сьогоднішній день єдиної технології рекультивації земель подібних об'єктів, яка б дозволила вирішити весь комплекс завдань із забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Причиною цього є, зокрема відсутність єдиного комплексного критерію оцінки безпеки процесу рекультивації, що одночасно враховував би чинники вибухонебезпеки, яку можуть становити не лише залишки боєприпасів, а й сам забруднений вибуховими речовинами ґрунт, та чинники екологічної небезпеки, пов'язаних з усім спектром впливів на ґрунт, зокрема, компресійного впливу, забруднення важкими металами та іншими хімічними речовинами, тощо.

2. Вперше створено імітаційну модель системи управління безпекою рекультивації 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.

3. Розроблено вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів на основі використання нормативного підходу та визначено значущі показники, а саме: ймовірність вибуху, величина надмірного тиску у повітряній ударній хвилі та рівень деградації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів. Перевагою запропонованого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів є одночасне формалізоване представлення показників рівня небезпеки вибуху та якості довкілля, що у свою чергу забезпечує можливість використовувати його для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації у імітаційних числових експериментах.

4. Шляхом використання вдосконаленого критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів було розроблено вдосконалений метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, придатний не лише для довгострокового оцінювання, а й для оперативного управління безпекою подібних об'єктів. Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів ризику вибуху та екологічної небезпеки, одночасно мінімізувавши кількість значущих показників якості довкілля. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором

нормативних критеріїв, а також спрощується процедура оцінювання без втрати точності.

5. Вперше створено методику рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, яка включає в себе три етапи, а саме: Етап 1 – моніторинг земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізований на основі безпілотної авіаційної системи моніторингу з використанням розроблених методу та критерію оцінювання рівня безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів; Етап 2 – розмінування земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – реалізується спеціалізованими піротехнічними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій з використанням результатів моніторингу, проведеного на Етапі 1; Етап 3 – біологічне очищення земель місць знешкодження та знищення боєприпасів – з використанням способу фіторе mediaції.

6. Розроблено рекомендації щодо практичного впровадження отриманих результатів дослідження. Основні результати дослідження використовуються у практичній діяльності частини піротехнічних робіт та гуманітарного розмінування Аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Кіровоградській області (акт про використання від 08.11.2023 р.), а також у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України при підготовці здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Техногенно-екологічна безпека» зі спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (акт про впровадження від 08.12.2022 р.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / Ю.Ю. Дідовець, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова, А. Джінаду. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10(2/2021). С. 64–69. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.10.
2. Вдосконалений критерій в методі оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / В.А. Андронов, Ю.Ю. Дідовець, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова, А. Джінаду. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 12 (2/2022). С. 43–50. DOI:10.52363/2522-1892.2022.2.6.
3. Didovets Yu. Technique of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. *Technogenic and ecological safety*. 2024. Vol. 15(1/2024). P. 80–89. DOI: 10.52363/2522-1892.2024.1.9.
4. Method of Investigation of Soil Contamination with Heavy Metals at the Sites of Explosions / Didovets Yu., Koloskov V., Bandurian B., Koloskova H. *Key Engineering Materials*. 2024. Vol. 988. P. 107–116.
5. Дідовець Ю.Ю. Аналіз небезпек існуючих методів знешкодження та утилізації вибухонебезпечних предметів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2021. С. 296. (Форма участі – очна).
6. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Аналіз методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі (STEI-2021)*: збірка матеріалів I Міжнародної науково-практичної

конференції. Херсон: Морський інститут імені контр-адмірала Ф.Ф. Ушакова, 2021. С. 47–50. (Форма участі – заочна).

7. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Методи рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція “Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку”* : збірник матеріалів (21–22 жовтня 2021, м. Херсон, Україна). Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 81–84. (Форма участі – заочна).

8. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць вибухів боєприпасів. *«Подолання екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022»*: Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», (26–27 травня 2022 року, Полтава – Львів). Полтава : НУПП, 2022. С. 234–237. (Форма участі – заочна).

9. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Аналіз компонентів забруднення ґрунтів під час вибухів. *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 179–181. (Форма участі – очна).

10. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *П'ята Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*: збірник матеріалів

(27-28 жовтня 2022, м. Херсон, Україна). Херсон: «Олді+», 2022. С. 79–82. (Форма участі – очна).

11. Didovets Yu.Yu. Model of safety management system of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2022. С. 398. (Форма участі – очна).

12. Дідовець Ю.Ю. Вдосконалення критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2023. С. 392. (Форма участі – очна).

13. Дідовець Ю.Ю., Джінаду А. Визначення шкал показників для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2023. С. 393. (Форма участі – очна).

14. Технологія рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали від військової агресії рф / В.А. Андронов, В.Ю. Колосков, Ю.Ю. Дідовець, В.Ю. Єременко, І.С. Шурчилова. *The 8th International scientific and practical conference “Science and technology: problems, prospects and innovations”* (May 11-13, 2023). CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2023. С. 11–17. (Форма участі – заочна).

15. Колосков В. Ю., Дідовець Ю. Ю., Борисенко Ю. Д. Розробка методики польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової агресії рф. *The 7th International scientific and practical conference “Modern*

research in science and education” (March 7-9, 2024) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2024. С. 165–170. (Форма участі – заочна).

16. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Бандурян Б.Б. Методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. *Problems of Emergency Situations*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2024. С. 296–297. (Форма участі – очна).

17. 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 / Ю.Ю. Дідовець, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. № u202103377, заяв. 15.06.2021; опубл. 20.10.2021, бюл. № 42.

18. Пат. 155125 Україна, F42D5/02, G01V3/16, G01V8/00. Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів [Текст] / Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М.; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u202303776, заяв. 07.08.2023; опубл. 17.01.2024, бюл. № 3.

19. Land Contamination: Technical Guidance on Special Sites: Explosives Manufacturing & Processing Sites. R&D Technical Report P5-042/TR/03 / Bulloch G. et al. Environment Agency, 2001. 68 p.

20. Guilbaud M. The Environmental Impact of an Explosion. White Paper. Geode, 2020. 43 p.

21. 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.

22. 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.

23. Explosive particle soil surface dispersion model for detonated military munitions / Hathaway J. E. et al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. Vol. 187(415). P. 4652.

24. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review / Broomandi P., Guney M., Kim J. R., Karaca F. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Art. 9002.

25. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment / Lima D., Bezerra M., Neves E., Moreira F. *Reviews on Environmental Health*. 2011. Vol. 26(2). P. 101–110.

26. 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 / Gorecki S. et al. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 599–600. P. 314–323.

27. Pichtel J. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Applied and Environmental Soil Science*. 2012. Art. 617236.

28. Olson K., Tharp M. 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*. 2020. Vol. 75(2). P. 33A–37A.

29. Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range / Ryu H. et al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2007. Vol. 29(4). P. 259–269.

30. Vasarevicius S., Greičiūte K. Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2004. Vol. 12(4). P. 132–137.
31. Idzelis R. L., Greičiūte K., Paliulis D. 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*. 2006. Vol. 14, Issue 4. Pp. 183–190.
32. Lewis T. A., Newcombe D. A., Crawford R. L. Bioremediation of soils contaminated with explosives. *Journal of Environmental Management*. 2004. Vol. 70(4). P. 291–307.
33. Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralization / J. Hawari et al. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2000. Vol. 54, Issue 5. Pp. 605–618.
34. Rieger P., Knackmuss H. J. Basic Knowledge and Perspectives on Biodegradation of 2,4,6-Trinitrotoluene and Related Nitroaromatic Compounds in Contaminated Soil. *Biodegradation of nitroaromatic compounds*; Spain, J. C., Ed. New York: Plenum Publishing Co., 1995. Pp. 1–18.
35. Klausmeier R. E., Osmon J. L., Walls D. R. The effect of trinitrotoluene on microorganisms. *Developments in Industrial Microbiology*. 1973. Vol. 15. Pp. 309–317.
36. Specific toxic effects of 2,4,6-trinitrotoluene on *Bacillus subtilis* SK1. / B. M. Kurinenko et al. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2003. Vol. 39, Issue 3. Pp. 275–278.
37. Won W. D., DiSalvo L. H., Ng J. Toxicity and mutagenicity of 2,4,6-trinitrotoluene and its microbial metabolites. *Applied and Environmental Microbiology*. 1976. Vol. 31, Issue 4. Pp. 576–580.

38. TNT transport and fate in contaminated soil / S. D. Comfortet al. *Journal of Environmental Quality*. 1995. Vol. 24, Issue 6. Pp. 1174–1182.
39. Certini G., Scalenghe R., Woods W. I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. 2013. Vol. 127. Pp. 1–15.
40. Fayiga A. O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environmental Chemistry*. 2019. Vol. 16, Issue 2. Pp. 81–91.
41. Spain J. C. Biodegradation of nitroaromatic compounds. *Annual Review of Microbiology*. 1995. Vol. 49. P. 523–555.
42. Dinake P., Kelebemang R., Sehub N. A comprehensive approach to speciation of lead and its contamination of firing range soils: a review. *Soil & Sediment Contamination*. 2019. Vol. 28. P. 1–29.
43. Etim E.U. Batch leaching of Pb contaminated shooting range soil using citric acid modified washing solution and electrochemical reduction. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2018. Vol. 16. P. 3013–3020.
44. Immobilization of lead in contaminated firing range soil using biochar / Moon D. H. et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013. Vol. 20. P. 8464–8471.
45. Lead transformation and distribution in the soils of shooting ranges in Florida, USA / Cao X. et al. *Science of the Total Environment*. 2003. Vol. 307. P. 179–189.
46. The chemical and mineralogical behaviour of Pb in shooting range soils from central Sweden / Lin Z., Comet B., Qvarfort U., Herbert R. *Environmental Pollution*. 1995. Vol. 89. P. 303–309.
47. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті: наказ М-ва охорони здоров'я України від

14 лип. 2020 р. № 1595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення: 10.10.2022).

48. Phytotoxicity assays with hydroxyapatite nanoparticles lead the way to recover firing range soils / Lago-Vila M., Rodríguez-Seijo A., Vega F. A., Arenas-Lago D. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 690. P. 1151–1161.

49. Bullet on bullet fragmentation profile in soils / Martin W. A., Nestler C. C., Wynter M., Larson S. L. *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol. 146. P. 369–372.

50. 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.

51. 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.

52. Enhanced phytoremediation of TNT and cobalt co-contaminated soil by AfSSB transformed plant / J.-j. Gao et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 220. ID 112407.

53. Composting Explosives/Organics Contaminated Soils / R. C. Doyle, J. D. Isbister, G. L. Anspach, J. F. Kitchensp. Atlantic Research Corporation, 1986. 198 p.

54. Кузубов Д. Дві тисячі вбитих корів, збитки на мільярд та робота на руїнах. Як ферма на Харківщині відновлюється після окупації та знущань росіян. Українська правда, 2023. URL: <https://www.pravda.com.ua/articles/2023/03/3/7391787/> (дата звернення: 10.03.2023 р.)

55. Окупанти на Харківщині руйнують тваринницькі ферми і вбивають худобу. Agroportal.UA, 2022. URL: <https://agroportal.ua/news/zhivotnovodstvo/okupanti-na-harkivshchini-ruynuyut-tvarinnicki-fermi-i-vbivayut-hudobu> (дата звернення: 10.02.2023 р.)

56. Осадчий А. Ситуація на тваринницьких фермах України під час війни: звіт зоозахисників ГО “Відкриті клітки Україна”. ГО “Відкриті клітки Україна”, 2022. URL: <https://opencages.com.ua/blog/fermy-ukrajiny-pidchas-vijny> (10.03.2023 р.)

57. Merkoci A., Alegret S. Comprehensive analytical chemistry. Elsevier B.V., Amsterdam, 2007. 143 p.

58. Aragay G., Pons J., Merkoci. A. Recent trends in macro-, micro-, and nanomaterial-based tools and strategies for heavy-metal detection. *Chemical Review*. 2011. Vol. 111. Pp. 3433–3458.

59. Removal zinc ions from contaminated soil using biodegradable polyaspartate via soil washing process / Mu’azu N.D. et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1349. Art. 012146.

60. An integrated H-G scheme identifying areas for soil remediation and primary heavy metal contributors: a risk perspective / Zou B. et al. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Art. 341.

61. Organic Food and Health: A Systematic Review / Rock B. et al. *Journal of Community Medicine & Health Education*. 2017. Vol. 7. Pp. 2161–2711.

62. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management / Rai P. K. et al. *Environment International*. 2019. Vol. 125. Pp. 365–385.

63. Bamboo – an untapped plant resource for the phytoremediation of heavy metal contaminated soils / Bian F. et al. *Chemosphere*. 2019. Vol. 246. Art. 125750.

64. Introduction to phytoremediation, National Risk Management Research Laboratory, EPA/600/R-99/107. U. S. Environmental Protection Agency, 2000. 104 p.

65. Bhattacharya T., Banerjee D. K., Gopal B. Heavy metal uptake by *Scirpus littoralis* Schrad. from fly ash dosed and metal spiked soils. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. Vol. 121(1-3). Pp. 363–380.

66. Van Ginneken L., Meers E., Guissson R. Phytoremediation for heavy metal-contaminated soils combined with bioenergy production. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2007. Vol. 15(4). Pp. 227–236.

67. Phytofiltration of mercury-contaminated water: volatilisation and plant-accumulation aspects / Moreno F. N., Anderson C. W. N., Stewart R. B., Robinson B. H. *Environmental and Experimental Botany*. 2008. Vol. 62(1). Pp. 78–85.

68. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation / Tangahu B. V. et al. *International Journal of Chemical Engineering*. 2011. Vol. 31. Pp. 1–31.

69. Akpor O.B., Muchie M. Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: processes and applications. *International Journal of Physical Sciences*. 2010. Vol. 5(12). Pp. 1807–1817.

70. Perennial plants in the phytoremediation of lead-contaminated soils / Cho-Ruk K., Kurukote J., Supprung P., Vetayasuporn S. *Biotechnology*. 2006. Vol. 5(1). Pp. 1–4.

71. Phytoremediation of arsenic and lead in contaminated soil using Chinese Brake ferns (*Pteris vittata*) and Indian mustard (*Brassica juncea*) / Salido A. L.,

Hasty K. L., Lim J. M., Butcher D. J. *International Journal of Phytoremediation*. 2003. Vol. 5(2). Pp. 89–103.

72. Olguín E. J., Sánchez-Galván G. Heavy metal removal in phytofiltration and phycoremediation: the need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. *New Biotechnology*. 2012. Vol. 30(1). Pp. 3-8.

73. Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard [*Brassica juncea*L.] / Liu D. et al. *Bioresource Technology*. 2000. Vol. 71(3). Pp. 73–277/

74. Mwegoha W. J. S. The use of phytoremediation technology for abatement soil and groundwater pollution in Tanzania: opportunities and challenges. *Journal of Sustainable Development in Africa*. 2008. Vol. 10(1). Pp. 140–156.

75. Nejad Z. D., Jung M. C., Kim K. H. Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018. Vol. 40. Pp. 927–953.

76. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation / Rajkumar M., Sandhya S., Prasad M. N. V., Freitas H. *Biotechnology Advances*. 2012. Vol. 30. Pp. 1562–1574.

77. Cameselle C., Gouveia S. Phytoremediation of mixed contaminated soil enhanced with electric current. *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 361. Pp. 95–102.

78. Shah V., Daverey A. Phytoremediation: a multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*. 2020. Vol. 18. Art. 100774.

79. Erakhrumen A. A., Agbontalor A. Phytoremediation: an environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation in developing countries. *Educational Research Review*. 2007. Vol. 2(7). Pp. 151–156.

80. Patra D.K., Pradhan C., Patra H.K. Toxic metal decontamination by phytoremediation approach: concept, challenges, opportunities and future perspectives. *Environmental Technology & Innovation*. 2020. Vol. 18. Art. 100672.

81. Phytoremediation of contaminated waters: an eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application / Ansari A. A., Naeem M., Gill S. S., AlZuaibr F. M. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 2020. Vol. 46, Issue 4. Pp. 371-376.

82. Ghosh M., Singh S. P. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2005. Vol. 3(1). Pp. 1-18.

83. Phytoremediation – focusing on accumulator plants that remediate metal-contaminated soils / Chaudhry T. M., Hayes W. J., Khan A. G., Khoo C. S. *Australasian Journal of Ecotoxicology*. 1998. Vol. 4. Pp. 37–51.

84. Raskin I., Ensley B. D. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000. 304 p.

85. Lasat M. M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*. 2000. Vol. 2(5). Pp. 1–25.

86. Prasad M. N., Pratas J., Freitas H. Trace elements in plants and soils of abandoned mines in Portugal: significance for phytomanagement and biogeochemical prospecting. *Trace elements in the environment: Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation*. 2005. Pp. 507–521.

87. Rulkens W. H., Tichy R., Grotenhuis J. T. C. Remediation of polluted soil and sediment: perspectives and failures. *Water Science and Technology*. 1998. Vol. 37. Pp. 27–35.

88. Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian Mustard / Salt D. E. et al. *Environmental Science & Technology*. 1997. Vol. 31(6). Pp. 1636–1644.

89. Role of plants in metal cycling in a tidal wetland: implications for phytoremediation / Teuchies J. et al. *Science of The Total Environment*. 2013. Vol. 445. Pp. 146–154.

90. Henry J.R. An overview of phytoremediation of lead and mercury. NNEMS Report. Washington, D.C., 2000. 55 p.

91. Cobbett C. S. Phytochelatins and their role in heavy metal detoxification. *Plant Physiology*. 2000. Vol. 123. Pp. 825–832.

92. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic / Alkorta I. et al. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2004. Vol. 3(1). Pp. 71–90.

93. Gardea-Torresdey J.L., dela Rosa G., Peralta-Videa J.R. Use of phytofiltration technologies in the removal of heavy metals: a review. *Pure and Applied Chemistry*. 2004. Vol. 76(4). Pp. 801–813.

94. Meers E., Tack F. M. G. The potential of foliar treatments for enhanced phytoextraction of heavy metals from contaminated soil with *Helianthus annuus*. *Remediation Journal*. 2004. Vol. 14. Pp. 111–123.

95. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment / Li Z. et al. *Science of The Total Environment*. 2014. Vol. 468-469. Pp. 843–853.

96. Li Z., Zhou M., Lin W. The research of nanoparticle and microparticle hydroxyapatite amendment in multiple heavy metals contaminated soil remediation. *Journal of Nanomaterials*. 2014. Art. 168418.

97. Biosorption of copper(II) from aqueous solutions using volcanic rock matrix-immobilized *Pseudomonas putida* cells with surface-displayed cyanobacterial metallothioneins / Ni H. et al. *Chemical Engineering Journal*. 2012. Vol. 204-206. Pp. 264–271.

98. Significance of co-immobilized activated carbon and *Bacillus subtilis* on removal of Cr(VI) from aqueous solutions / Sukumar C. et al. *Environmental Earth Sciences*. 2014. Vol. 72. Pp. 839–847.

99. The improved methods of heavy metals removal by biosorbents: a review / Qin H. et al. *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 258. Art. 113777.

100. Mwangi I.W., Ngila J.C. Removal of heavy metals from contaminated water using ethylenediamine-modified green seaweed (*Caulerpa serrulata*). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2012. Vol. 50(52). Pp. 111–120.

101. Activated carbon mitigates mercury and methylmercury bioavailability in contaminated sediments / Gilmour C. C. et al. *Environmental Science & Technology*. 2013. Vol. 47(22). Pp. 13001–13010.

102. Wen J., Yi Y., Zeng G. Effects of modified zeolite on the removal and stabilization of heavy metals in contaminated lake sediment using BCR sequential extraction. *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 178. Pp. 63–69.

103. Kim J., Lee S. S., Khim J. Peat moss-derived biochars as effective sorbents for VOCs' removal in groundwater. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019. Vol. 41. Pp. 1637–1646.

104. Immobilization of Cu, Zn, Cd and Pb in mine drainage stream sediment using Chinese loess / Zang F. et al. *Chemosphere*. 2017. Vol. 181. Pp. 83–91.

105. Heavy metal removal from aqueous solutions using engineered magnetic biochars derived from waste marine macro-algal biomass / Son E. B., Poo K. M., Chang J. S., Chae K. J. *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 615. Pp. 161–168.

106. Pal D., Maiti S. K. An approach to counter sediment toxicity by immobilization of heavy metals using waste fish scale derived biosorbents. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 187. Art. 109833.

107. Phytotoxicity assays with hydroxyapatite nanoparticles lead the way to recover firing range soils / Lago-Vila M., Rodríguez-Seijo A., Vega F. A., Arenas-Lago D. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 690. Pp. 1151–1161.

108. Cunningham S.D., Ow D.W. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology*. 1996. Vol. 110. Pp. 715–719.

109. 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.

110. Project Management Institute, Inc. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fifth Edition. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc, 2013.

111. Никифоров Л. Л. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник. Дашков і К, 2013.

112. 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.

113. Поспелов Б. Б., Андронов В. А. Моделі якості виявлення екологічної небезпеки за реальними даними моніторингу. *Техногенно-*

екологічна безпека. 2018. № 3 (1/2018). С. 3–7.

114. Колосков В. Ю. Визначення значущих показників критерію екологічного резерву територій, прилеглих до місць зберігання відходів. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 3 (1/2018). С. 44–51.

115. Словник української мови : [в 11 т.] / АН Української РСР, Ін-т мовознав. ім. О. О. Потебні ; редкол.: І. К. Білодід (голова) [та ін.]. Київ: Наукова думка, 1970-1980. Т. 4: І-М / ред. тому: А. А. Бурячок, П. П. Доценко. 1973. 840 с.

116. Формування трас польоту безпілотних літальних апаратів під час оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталася надзвичайна екологічна ситуація / Захарченко Ю. В. та ін. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 11(1/2022). С. 23–33.

117. Максимов В. ЗСУ отримали Bozena-5: як допомагають словацькі машини розмінування. Today.UA, 2023. URL: <https://biz.today.ua/russkyj-vsupoluchyly-bozena-5-kak-pomogayut-slovatskye-mashyny-razmynirovaniya/> (дата звернення: 30.03.2023 р.)

118. Михайлова Г. Механічний сапер із роборукою: розмінувати Україну будуть сучасні механізми. Телеграф, 2023. URL: <https://telegraf.com.ua/ukr/tehnologii/2023-03-20/5783639-mekhanichniy-saper-iz-roborukoyu-rozminovuvati-ukrainu-budut-suchasni-mekhanizmi-video-foto> (дата звернення: 30.03.2023 р.)

119. Шматков Г. Г., Яковишина Т. Ф. Фітоекстракція важких металів з ґрунту. *Національний гірничий університет. Збірник наукових праць*. 2013. № 41. С. 182–187.

120. Kumar S. Phytoremediation of Explosives using Transgenic Plants. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*. 2014. Suppl 4. Art. 11127.

121. K. Nakamoto, *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*, sixth ed., John Wiley and Sons, Inc., Hoboken. 2009.

122. Фізичне і математичне моделювання процесів у фільтрах твердих частинок у практиці критеріального оцінювання рівня екологічної безпеки : монографія / О.М. Кондратенко, В.Ю. Колосков, Ю.Ф. Деркач, С.А. Коваленко. Х.: Стил-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2020. 522 с.

123. S.O. Vambol, I.V. Mishchenko, V.Yu. Koloskov, O.M. Kondratenko, *Ecological Safety Management Systems. Lecture notes*, Kharkiv, NUCDU, 2018.

124. A.L. Smith, *Applied Infrared Spectroscopy Fundamentals, Techniques and Analytical Problem-Solving*, John Wiley and Sons, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1979.

125. V.F. Klepikov, V.V. Lytvynenko, B.B. Bandurian, O.I. Volchok, V.I. Sokolenko and A.V. Pahomov, UA Patent 115934. (2018)

126. Spectral Database for Organic Compounds SDBS, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Information on https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct_frame_top.cgi

127. Основи ведення сільського господарства та охорона земель : навчальний посібник для вузів / Грабак Н. Х. та ін. К. : Професіонал, 2006. 485 с.

128. Сівалка сидератів, підсівач трав для борін, культиваторів AGRO-MASZ SP200. ТОВ «ТБС-АГРО», 2023. URL: <https://tbs-lutsk.com.ua/ua/p724018949-sivalka-siderativ-pidsivach.html> (дата звернення: 21.03.2023 р.)

129. Курганський В. М., Тішаєв І. В. Електричні та електромагнітні методи дослідження свердловин : Навч. посіб. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011. 175 с.

130. Романишин І., Маліцький А., Лозинський В. Класифікація та основні характеристики наземних 3D-сканерів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2012. Вип. II (24). С. 69-74.

131. Зольне гранулювання у пакуванні насіння з використанням небезпечних відходів тваринництва / Колосков В. Ю. та ін. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 12(2/2022). С. 65–71.

132. Пат. 151010 Україна, МПК А01С 1/06 (2006.01). Спосіб виготовлення насіннево-органомінеральних гранул для висіву дрібнонасінневих культур з використанням золи від спалювання біологічних відходів / Капінос Є. В., Балагурак А. В., Колосков В. Ю., Колоскова Г. М., Кондратенко О. М.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u202105512; заявл. 29.09.2021; опубл. 25.05.2022, бюл. № 21.

ДОДАТОК А.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / **Ю.Ю. Дідовець**, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова, А. Джінаду. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10(2/2021). С. 64–69. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.10.

Здобувачем особисто проведено літературний огляд та розроблено модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

2. Вдосконалений критерій в методі оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів / В.А. Андронов, **Ю.Ю. Дідовець**, В.Ю. Колосков, Г.М. Колоскова, А. Джінаду. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. № 12 (2/2022). С. 43–50. DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.6.

Здобувачем особисто проведено літературний огляд, визначено значущі показники для оцінювання рівня безпеки, а також вдосконалено критерій та метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

3. **Didovets Yu.** Technique of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. *Technogenic and ecological safety*. 2024. Vol. 15(1/2024). P. 80–89. DOI: 10.52363/2522-1892.2024.1.9.

Статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus:

4. Method of Investigation of Soil Contamination with Heavy Metals at the Sites of Explosions / **Didovets Yu.**, Koloskov V., Bandurian B., Koloskova H. *Key Engineering Materials*. 2024. Vol. 988. P. 107–116.

Здобувачу особисто належить методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. Здобувачем особисто проведено відбір проб забрудненого ґрунту в місцях, де відбувалися вибухи, а також визначення забруднення з використанням запропонованої методики.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. **Дідовець Ю.Ю.** Аналіз небезпек існуючих методів знешкодження та утилізації вибухонебезпечних предметів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених*. Х.: НУЦЗ України, 2021. С. 296. (Форма участі – очна).

6. **Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М.** Аналіз методів рекультивзації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі (STEI-2021): збірка матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон: Морський інститут імені контр-адмірала Ф.Ф. Ушакова, 2021. С. 47–50. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних методів рекультивзації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

7. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Методи рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція “Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку”* : збірник матеріалів (21–22 жовтня 2021, м. Херсон, Україна). Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 81–84. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних методів рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

8. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць вибухів боєприпасів. *«Подолання екологічних ризиків і загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022»*: Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», (26–27 травня 2022 року, Полтава – Львів). Полтава : НУПП, 2022. С. 234–237. (Форма участі – заочна).

Здобувачем особисто проведено літературний огляд та розроблено модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

9. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Аналіз компонентів забруднення ґрунтів під час вибухів. *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 179–181. (Форма участі – очна).

Здобувачем особисто проведено аналіз компонентів забруднення ґрунтів під час вибухів.

10. Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М. Модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *П'ята Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»*: збірник матеріалів (27-28 жовтня 2022, м. Херсон, Україна). Херсон: «Олді+», 2022. С. 79–82. (Форма участі – очна).

Здобувачем особисто проведено літературний огляд та розроблено модель системи управління безпекою рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

11. Didovets Yu.Yu. Model of safety management system of land recultivation of places of ammunition disposal and destruction. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2022. С. 398. (Форма участі – очна).

12. Дідовець Ю.Ю. Вдосконалення критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2023. С. 392. (Форма участі – очна).

13. Дідовець Ю.Ю., Джінаду А. Визначення шкал показників для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного*

захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Х.: НУЦЗ України, 2023. С. 393. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних підходів до визначення шкал показників оцінювання рівня безпеки, а також теоретичне обґрунтування визначення шкал показників, що застосовуються для оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

14. Технологія рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали від військової агресії рф / В.А. Андронов, **В.Ю. Колосков, Ю.Ю. Дідовець**, В.Ю. Єременко, І.С. Шурчилова. *The 8th International scientific and practical conference “Science and technology: problems, prospects and innovations”* (May 11-13, 2023). CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2023. С. 11–17. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить технологічна схема рекультивації земель сільськогосподарського призначення, що постраждали від військової агресії рф.

15. Колосков В. Ю., **Дідовець Ю. Ю.**, Борисенко Ю. Д. Розробка методики польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової агресії рф. *The 7th International scientific and practical conference “Modern research in science and education”* (March 7-9, 2024) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2024. С. 165–170. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить методика польових досліджень ґрунту земель, що постраждали від військової агресії рф.

16. **Дідовець Ю.Ю.**, Колосков В.Ю., Бандурян Б.Б. Методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. *Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-*

практичної конференції. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2024. С. 296–297. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить методика дослідження забруднення ґрунту важкими металами в місцях вибухів. Здобувачем особисто проведено відбір проб забрудненого ґрунту в місцях, де відбувалися вибухи, а також визначення забруднення з використанням запропонованої методики.

Патенти:

17. 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 / **Ю.Ю. Дідовець, В.Ю. Колосков**, Г.М. Колоскова; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. № u202103377, заяв. 15.06.2021; опубл. 20.10.2021, бюл. № 42.

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних способів виявлення осередків небезпеки, теоретичне та економіко технологічне обґрунтування ефективності використання беспілотних апаратів для виявлення осередків небезпеки, що виникли внаслідок вибухів.

18. Пат. 155125 Україна, F42D5/02, G01V3/16, G01V8/00. Спосіб виявлення осередків небезпеки під час рекультивації земель місця знешкодження та знищення боєприпасів [Текст] / **Дідовець Ю.Ю., Колосков В.Ю., Колоскова Г.М.**; (Україна), заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u202303776, заяв. 07.08.2023; опубл. 17.01.2024, бюл. № 3.

Здобувачу особисто належить літературний огляд та порівняльна характеристика різних способів виявлення осередків небезпеки, теоретичне та економіко технологічне обґрунтування ефективності використання беспілотних апаратів для виявлення осередків небезпеки, що виникли внаслідок вибухів.

ДОДАТОК Б.

**ПАТЕНТИ УКРАЇНИ НА КОРИСНІ МОДЕЛІ,
ОТРИМАНІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ**





ДОДАТОК В.

**ДОКУМЕНТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДОСЛІДЖЕННЯ**



Володимир КОНДРАТЕНКО

12 2023 р.

А К Т

впровадження результатів, отриманих в ході виконання дисертаційного дослідження Дідовцем Юрієм Юрійовичем на здобуття ступеня вищої освіти доктора філософії

Комісія у складі: голови комісії Володимир КОНДРАТЕНКО – директор, та членів комісії: Юрій ТКАЧЕНКО – агроном та Надія МЕЛЬНИКОВА – бухгалтер, склала цей акт про те, що нові результати, одержані особисто Дідовцем Ю.Ю. у межах дисертаційного дослідження у вигляді критерію оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів та методу оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів, розробленого на основі вищезазначеного критерію впроваджені у практичну діяльність ТОВ «Агрофірма Софіївська».

Використання зазначених результатів дисертаційного дослідження дозволяє: по-перше, вдосконалити деякі аспекти діяльності стосовно відновлення властивостей земель, порушених в процесі знешкодження та знищення боєприпасів; по-друге, суттєво підвищити рівень безпеки персоналу, що виконує роботи за напрямом рекультивації порушених земель; по-третє, підвищити рівень екологічної безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Голова комісії:

Володимир КОНДРАТЕНКО

Члени комісії:

Юрій ТКАЧЕНКО

Надія МЕЛЬНИКОВА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник АРЗ СП ГУ ДСНС

України у Кіровоградській області

Полковник служби цивільного захисту

Олексій СУШКО

« 8 » 20 23 р.

А К Т

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
на здобуття ступеня вищої освіти доктора філософії
ДІДОВЦЯ Юрія Юрійовича

Комісія у складі: голови комісії Філіппова О.Ю. – начальник ЧПР та ГР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Кіровоградській області, та членів комісії: Кудрі О.В. – начальник ВПР ГПР ЧПР та ГР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Кіровоградській області та Козак Б.Я. – старший сапер ВПР ГПР ЧПР та ГР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Кіровоградській області, склала цей акт про те, що в ЧПР та ГР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Кіровоградській області впроваджені наступні результати дисертаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти доктора філософії ДІДОВЦЯ Юрія Юрійовича:

- критерій оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів;
- метод оцінювання рівня безпеки процесу рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів;
- методика рекультивації земель місць знешкодження та знищення боєприпасів.

Використання результатів дисертаційного дослідження дозволить підвищити рівень екологічної безпеки місць знешкодження та знищення боєприпасів, забезпечити відновлення порушених земель та їх повернення в стан, придатний для подальшого використання у народному господарстві.

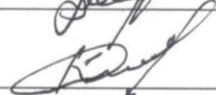
Голова комісії:



Філіппов О.Ю.

Члени комісії:



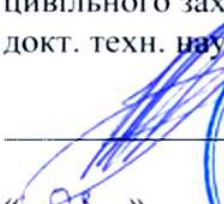


Кудря О.В.

Козак Б.Я.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор навчальної та методичної
роботи Національного університету
цивільного захисту України,
докт. техн. наук, ст. наук. співроб.


Юрій КЛЮЧКА
« 03 » _____ 2022 року

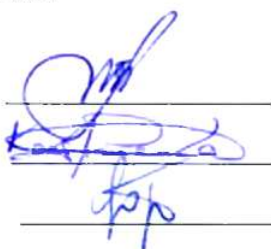

А К Т

про впровадження результатів науково-дослідної роботи
**«Розробка технології рекультивації земель
місць знешкодження боєприпасів»**

у навчальний процес кафедри прикладної механіки та технологій захисту
навколишнього середовища факультету техногенно-екологічної безпеки
Національного університету цивільного захисту України

Комісія у складі: начальника факультету оперативно-рятувальних сил НУЦЗ України, докт. техн. наук, професора Р.В. Пономаренка, доцента кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища НУЦЗ України, докт. техн. наук, доцента О.М. Кондратенка та старшого викладача кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища НУЦЗ України, канд. техн. наук, доцента С.А. Горносталь складала цей акт про впровадження результатів науково-дослідної роботи «Розробка технології рекультивації земель місць знешкодження боєприпасів» (номер держреєстрації 0121U000001, термін досліджень: 01.2021–12.2023 рр.), керівником якої є завідувач кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища НУЦЗ України, канд. техн. наук, доцент В.Ю. Колосков, відповідальним виконавцем – ад'юнкт кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища НУЦЗ України, майор служби цивільного захисту Ю.Ю. Дідовець, у навчальний процес і стверджує, що матеріали даної роботи використовуються при вивченні дисципліни вивченні теми «Система контролю якості довкілля та її зв'язок з системою моніторингу» з дисципліни «Технології і методи контролю показників якості довкілля» освітньо-наукової програми «Техногенно-екологічна безпека» для підготовки фахівців третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, ступеня вищої освіти «Доктор філософії» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища», галузі знань 18 «Виробництво та технології».

Члени комісії:



Роман ПОНОМАРЕНКО

Олександр КОНДРАТЕНКО

Стелла ГОРНОСТАЛЬ