

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОГО РОЗМІНУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ В УКРАЇНІ

Харченко О., <https://orcid.org/0009-0005-3506-0796>

Власенко В., <https://orcid.org/0009-0004-9943-6716>

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

Войновский В., <https://orcid.org/0000-0002-9994-2617>

Майданович В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета дослідження – проаналізувати поточний стан, проблеми та перспективи застосування ґрунтообробної техніки для гуманітарного розмінування в Україні, особливо на сільськогосподарських угіддях. Автори прагнули узагальнити класифікацію машин для розмінування, порівняти вітчизняні та іноземні зразки, а також визначити ключові технічні, екологічні й організаційні рішення, що сприятимуть підвищенню ефективності та безпеки процесу механізованого очищення ґрунтів.

Методи. У роботі застосовано міждисциплінарний підхід, який включає методи технічного та порівняльного аналізу, системного підходу і контент-аналізу. Джерелами для дослідження слугували відкриті наукові публікації, звіти міжнародних організацій, а також нормативно-правова база. Використано порівняльну характеристику технічних параметрів машин для розмінування вітчизняного та іноземного виробництва для виявлення їхніх сильних і слабких сторін в умовах України.

Результати. Дослідження представило детальну класифікацію машин для механізованого розмінування за типом робочого органа (фрезерні, ланцюгові, коткові), принципом керування та призначенням. Аналіз показав, що іноземні зразки техніки, наприклад, «DOK-ING MV-4» чи «MineWolf MW240», демонструють високу продуктивність, рівень автоматизації та стійкість до вибухів, однак є фінансово затратними. Натомість українські розробки, хоч і знаходяться на етапі прототипів, є більш адаптованими до місцевих ґрунтових умов і доступнішими за ціною. Окрема увага приділена екологічним ризикам: виявлено, що використання фрезерних механізмів може пошкоджувати родючий шар ґрунту, водночас коткові системи є екологічно безпечнішими.

Висновки. Ефективне вирішення проблеми мінного забруднення в Україні вимагає комплексного та системного підходу. Оптимальною стратегією є поєднання використання перевіреної іноземної техніки з одночасним інвестуванням у розвиток і серійне виробництво вітчизняних машин, адаптованих до локальних умов. Така синергія між українською промисловістю, наукою, державою та міжнародними партнерами забезпечить прискорення розмінування та сприятиме відновленню сільського господарства й екологічній безпеці.

Ключові слова: розмінування, вибухонебезпечні предмети, ґрунтообробна техніка, механізоване розмінування, екологічна безпека, сільськогосподарські угіддя, класифікація машин.

Вступ. На сьогодні проблема мінного забруднення залишається однією з найгостріших гуманітарних та екологічних загроз у світі [Aznar-Sánchez et al., 2018; Arranz-González et al., 2022; Sánchez-Castro et al., 2023]. Понад 60 країн, зокрема Ангола, Афганістан, Камбоджа, Ірак, Сирія, Хорватія та Боснія і Герцеговина, продовжують потерпати від наслідків збройних конфліктів, залишаючись десятиліттями

небезпечними для цивільного населення через наявність мін і вибухонебезпечних предметів (ВНП) [GICHD, 2025]. Згідно з даними Landmine Monitor (2024), щороку тисячі людей гинуть або зазнають поранень унаслідок підриву на мінах, більшість із яких – цивільні, серед них велика частка – діти. Глобальна спільнота через ООН, Женевський центр гуманітарного розмінування (GICHD) та інші організації активно працює над зменшенням масштабів мінної небезпеки, однак повне очищення територій вимагає десятиліть зусиль, значних фінансових вкладень і технічного ресурсу [GICHD, 2025].

У контексті повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну у 2022 р., країна зіткнулася з безпрецедентним за масштабом мінним забрудненням. За оцінками Світового банку, понад 139 тисяч км² української території потенційно забруднені ВНП, що робить Україну однією з найбільш замінованих країн світу [RDNA 3, 2024]. Це ставить під загрозу життя мільйонів громадян, унеможливорює повноцінне функціонування сільського господарства, гальмує соціально-економічне відновлення та створює тривалі екологічні ризики [Matkivskiy & Taras, 2024; Shebanina et al., 2024; Solokha et al., 2024; Smirnova et al., 2024]. Особливу небезпеку становлять протипіхотні міни, касетні боєприпаси, а також залишки боєприпасів, які поступово кородують, вивільняючи токсичні речовини у ґрунт [Драп'ятій, 2023; Dmytrukha et al., 2024; Leal Filho et al., 2024; Solokha et al., 2025].

Попри зусилля урядових структур, міжнародних організацій і волонтерських ініціатив, процес гуманітарного розмінування в Україні залишається складним, повільним і надзвичайно витратним [Hutsul et al., 2024; Hassan et al., 2024; Бойко та ін., 2025]. Однією з ключових проблем є дефіцит механізованої техніки, що здатна швидко та безпечно очищувати значні площі сільськогосподарських угідь та інфраструктурних об'єктів. Водночас застосування традиційного ручного методу розмінування не забезпечує

необхідного темпу вирішення проблеми. Тому актуальним стає впровадження спеціалізованої ґрунтообробної техніки, адаптованої до умов мінного забруднення з урахуванням українських кліматичних і ґрунтових особливостей [Холодова, 2023].

Ґрунтообробна техніка для розмінування ґрунту – це спеціалізовані машини, які використовуються для очищення землі від мін і вибухонебезпечних предметів. Ці машини мають різноманітний комплект робочих органів: ланцюгові механізми, фрези, маніпулятори та ковші для переміщення ґрунту [Army Technology, 2010; Nemapala et al., 2012; DOK-ING, 2025; Way Industry, 2025]. Вони дають змогу безпечно й ефективно очищувати поля, лісосмуги, окопи та інші ділянки.

Розмінування територій, забруднених вибухонебезпечними предметами, стало одним із ключових викликів для України у післявоєнний період. Серед найактуальніших питань сьогодні виділяються такі:

- нестача технічних засобів для масштабного механізованого очищення територій, особливо у сільськогосподарському секторі;
- потреба в адаптації ґрунтообробної техніки до потреб розмінування з урахуванням українських кліматичних і ґрунтових умов;
- збереження родючості ґрунтів у процесі проведення вибухонебезпечних робіт;
- впровадження міжнародних стандартів безпеки (IMAS) й ефективності, які відповідали б як національним, так і міжнародним вимогам гуманітарного розмінування [GICHD, 2025];
- екологічна загроза через корозію боєприпасів і вивільнення токсичних речовин у ґрунт;
- відсутність достатньої кількості підготовлених фахівців, особливо в контексті роботи з новими технічними засобами.

Сьогодні Україна вже займається питанням розмінування територій, які зазнали засмічення продуктами бойових дій. На даний час на території, де відбувалися бойові дії, працюють машини для розмінування та фахівці з розмінування.

Водночас ми розуміємо, що задіяних потужностей і людських ресурсів недостатньо для вирішення цієї проблеми. Тому на кожній зустрічі керівництва держави і фахівців із розмінування порушуються питання щодо постачання необхідного обладнання, розробки вітчизняних машин, навчання саперів і піротехніків, фінансового забезпечення гуманітарного розмінування тощо. Основний меседж цих зустрічей — країна зацікавлена в тому, щоб не імпортувати обладнання, а купувати своє. Тому, безумовно, ми підтримуємо ефективні українські розробки, щоб масштабувати виробництво вітчизняних виробників, наскільки це можливо. Однак ми розуміємо і те, що за короткий час неможливо закрити це питання власними силами, тому охоче звертаємося за допомогою до партнерів.

Постановка завдань. Головною проблемою є масштабне мінне забруднення території України, яке ставить під загрозу життя населення, перешкоджає сільськогосподарському виробництву, сповільнює економічне відновлення країни та створює тривалу екологічну загрозу.

На сьогодні вибухонебезпечними предметами забруднено понад 139 000 км² території України [Драп'ятій, 2023]. Розмінування всіх постраждалих земель, за попередніми оцінками Світового банку, обійдеться у 29,8 мільярда доларів, а процес розмінування триватиме десятиліття [RDNA 3, 2024].

До роботи активно долучаються вітчизняні виробники, науковці, військові, волонтерські організації, Державна служба з надзвичайних ситуацій, Державна спеціальна служба транспорту та приватні оператори, які займаються розмінуванням в Україні. Суспільство також демонструє високу активність у сприянні розмінуванню — як через волонтерську діяльність, так і фінансовою підтримкою.

Окрему увагу приділено розмінуванню сільськогосподарських угідь. Швидке очищення таких територій — критично важливе для забезпечення посівної кампанії та продовольчої безпеки. Фермери

вже зазнали значних збитків через війну, і подальше зволікання призведе до ще більших втрат. Тому виробники сільськогосподарської техніки також долучилися до створення технічних рішень для безпечної праці на землі.

Метою цієї роботи є аналіз сучасного стану, проблем і перспектив застосування ґрунтообробної техніки для гуманітарного розмінування територій України, зокрема сільськогосподарських угідь, що зазнали мінного забруднення внаслідок воєнних дій. Дослідження спрямоване на узагальнення класифікації машин для розмінування, порівняльну характеристику вітчизняних та іноземних зразків, а також на визначення технічних, екологічних та організаційних рішень, які сприятимуть підвищенню ефективності, безпеки й екологічної доцільності механізованого очищення ґрунтів.

Методи і матеріали. У процесі підготовки наукової статті використано міждисциплінарний підхід, що поєднує методи технічного аналізу, системного підходу, порівняльного аналізу, а також методи контент-аналізу та аналізу нормативно-правової бази. Для аналізу використано відкриті публікації, наукові статті, технічні звіти українських і міжнародних експертів із питань протимінної діяльності, у т.ч. стандарти IMAS, звіти Світового банку, наукові публікації в галузі механізації сільського господарства, оборонної та екологічної безпеки. Здійснено порівняння технічних характеристик зразків ґрунтообробної техніки вітчизняного та іноземного виробництва, що застосовуються для механізованого розмінування, з метою виявлення їхніх переваг, недоліків та адаптивності до умов України.

Результати. Розмінування — комплекс заходів, спрямованих на виявлення, вилучення або знищення вибухонебезпечних предметів (ВНП) на територіях, що зазнали бойових дій або були піддані мінуванню. У міжнародній практиці розрізняють такі основні типи розмінування:

- гуманітарне розмінування — очищення територій, які використовуються



Рисунок 1 – Схема класифікації машин для механізованого розмінування

або потенційно будуть використовуватися цивільним населенням (зокрема сільське господарство, інфраструктура);

- військове розмінування — забезпечення мобільності військових підрозділів на театрі воєнних дій;

- технічне обстеження — визначення характеру та ступеня забруднення території;

- нетехнічне обстеження — аналіз інформації, свідчень, історичних даних про можливу наявність мін або ВНП.

В умовах сьогодення України основна увага спрямована саме на гуманітарне розмінування, оскільки мінна небезпека загрожуює мільйонам громадян, стримує аграрне виробництво та перешкоджає соціально-економічному відновленню територій.

Тому ручне розмінування — найбільш точний, однак надзвичайно повільний і ресурсозатратний процес. Застосування механізованих засобів дає змогу значно прискорити процес очищення територій, підвищити безпеку саперів і зменшити витрати. Машини здатні обробляти від декількох сотень до декількох тисяч квадратних метрів на годину, що у десятки разів перевищує продуктивність людини.

Машини для механізованого розмінування класифікуються за типом робочого органа, принципом дії та призначенням (рис. 1):

- фрезерні машини - оснащені роторно-фрезерним блоком, який руйнує верхній шар ґрунту та ініціює детонацію мін або забезпечує їхнє виявлення. Недолік — суттєве порушення структури ґрунту, включаючи гумусний шар;

- коткові системи — використовують важкі барабани (котки) для механічного натиску на поверхню землі (міни активуються під тиском без ушкодження ґрунту; вважаються екологічно безпечнішими);

- ланцюгові механізми — створюють удари або вібрації у ґрунті для детонації або виявлення ВНП;

- маніпуляторні системи — дають змогу вилучати вибухонебезпечні предмети точково за допомогою дистанційного керування.

- багатофункціональні ковші — забезпечують переміщення та очищення ґрунту.

За принципом керування машини поділяються на:

- пілотовані (з кабіною) — керуються оператором на борту, який потребує посиленого бронювання і ризикує життям;

- дистанційно керовані — оператор управляє машиною на безпечній відстані (до 1000 м), що істотно знижує ризики;

- автономні (роботизовані) — працюють за попередньо заданим маршрутом із використанням GPS і сенсорних систем.

За призначенням машини поділяються на:

- універсальні — поєднують функції фрезерування, котків і транспортування ґрунту;

- спеціалізовані — розраховані на певні типи місцевості (болота, скелі, ліси тощо);

- пошукові — призначені для виявлення ВНП за допомогою сенсорів, радарів, тепловізорів або металодетекторів.

Сучасна машина для розмінування повинна відповідати ряду технічних та експлуатаційних вимог:

Таблиця 1 – Технічні характеристики ключових зразків машин для розмінування

Назва машини	Країна	Тип робочого органа	Продуктивність (м ² /год)	Глибина обробки (см)	Спосіб керування
DOK-ING MV-4	Хорватія	Фрезерний барабан	1500–2500	до 25	Дистанційне
Bozena-4	Словаччина	Ланцюгова система	1800–2000	до 30	Дистанційне
MineWolf MW240	Швейцарія	Змінний (фреза/коток)	до 3000	до 25	Пілотований / дистанційне
Armtrac 100-350	Велика Британія	Фреза + маніпулятор	до 4000	до 30	Дистанційне / автономне
RSL Robotika UGV	Україна	Фрезерний барабан	1200–1500	до 20	Дистанційне
Інфоком-ЛТД (прототип)	Україна	Котковий пристрій + сенсори	до 1000	до 15	Дистанційне / автономне

- стійкість до підриву — захист ключових вузлів від дії вибуху (мінімум до 10 кг ТНТ);

- висока прохідність — можливість роботи на різних типах ґрунтів і в умовах бездоріжжя;

- продуктивність — мінімальна ефективність має становити не менше 1000–2000 м²/год при глибині обробки до 25 см;

- мінімальний вплив на ґрунт — важливо, особливо для сільськогосподарських угідь;

- легкість транспортування — можливість швидкого переміщення в межах області або регіону.

- сумісність з іншими засобами виявлення — дронами, георадарами або кінологічними групами.

Швидке розмінування є критично важливим не лише з міркувань безпеки, а й з огляду на екологічну ситуацію. З часом мінно-вибухові речовини кородують, отруюючи ґрунт. Попри шкоду, яку може завдати сам процес розмінування, він є менш небезпечним, ніж тривала присутність мін у ґрунті.

Україна вивчає і переймає досвід інших країн, які десятиліттями розмінують свої території після закінчення бойових дій, зокрема Хорватії, Північної Македонії, Азербайджану, Грузії, Косова тощо. Масштаб української проблеми —

значно глобальніший, ніж у вище зазначених країнах. При всій складності ситуації в Україні нам може знадобитися певний іноземний досвід, наприклад, зонування уражених територій, як це зробила Франція після Першої світової війни [Холодова, 2023]. Забруднені ділянки розбили на зони за ступенем впливу на довкілля вибухонебезпечних речовин, вміст яких у ґрунті подекуди завищений — при горінні тротилу та гексогену, які містяться в снарядах і мінах вивільнюються речовини, що стають токсичними. Сірка накопичується в ґрунті, пішов дощ — і це вже сірчана кислота, після неї взагалі нічого не буде рости. Це питання наразі вивчається українськими науковцями, оскільки у процесі знешкодження мін неможливо уникнути забруднення довкілля, навіть якщо підрив відбувається за межами поля. Речовини, які після вибуху потрапляють у землю, в повітря з часом можуть позначитися на стані всієї екосистеми. Для вирощування продуктів найкраще позбуватися мін деінде, тоді ризики зараження ґрунту будуть меншими.

Що стосується методів розмінування, то одним із запропонованих нашими виробниками є котковий метод. Пояснюючи переваги коткового методу над традиційним розмінуванням, звертаємо увагу на рушійний механізм: коток проходить

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз вітчизняних та іноземних зразків техніки для розмінування

Критерій	Вітчизняні зразки	Іноземні зразки
Рівень технічної готовності	Переважно дослідні або малосерійні	Серійне виробництво, сертифіковано
Продуктивність	Середня (до 1500 м²/год)	Висока (до 4000 м²/год)
Глибина обробки	15–20 см	До 30 см
Різноманітність робочих органів	Обмежена (фрези, котки)	Багатофункціональні модулі
Стійкість до вибухів	До 5 кг ТНТ	До 10–12 кг ТНТ
Автоматизація / дистанційне керування	Є, але потребує розвитку	Високий рівень, стабільна робота
Екологічна безпека	Коткові системи екологічніші	Залежить від типу (фрези шкодять)
Ціна одиниці техніки	Низька / середня	Висока (від 500 тис. до 1,5 млн €)
Підтримка сервісу / обслуговування	Доступна локально	Залежить від країни постачання
Адаптація до українських ґрунтів	Висока	Часто потребує доопрацювання

поверхнею землі та не зачіпає ґрунт із середини. При механізованому розмінуванні верхні шари землі перемішує ротор (передня частина машини). Тоді повернути ґрунт у попередній стан значно складніше, бо руйнується структура ґрунту, верхній шар – гумус. Це пара сантиметрів, але саме гумус містить максимум мікроорганізмів і поживних елементів, що забезпечують родючість.

До чинників, які впливають на динаміку проведення розмінування, належить і рельєф місцевості. До прикладу, машину механізованого розмінування не можна використовувати в лісовій, скелястій або болотистій місцевості. Погодні умови також впливають на динаміку розмінування. Розмінування неможливо проводити при низькій температурі (нижче +3–5°C). Фактично з пізньої осені до середини весни розмінування не проводиться. Навіть у літній період тривала дощова погода є несприятливою для очищення територій від вибухонебезпечних предметів.

Окрему загрозу становить дистанційне мінування, яке активно використовує противник. Навіть після очищення території неможливо гарантувати її повну безпечність через можливість повторного мінування, що становить небезпеку для людей і тварин, особливо в прикордонних

районах.

Попри складнощі, у 2024 р. завдяки державній програмі розмінування вдалося ввести в обробіток близько 260 тисяч гектарів сільськогосподарських земель. На 2025 рік урядом було закладено фінансування в обсязі до 1 мільярда гривень, що дасть змогу збільшити площі придатні для посіву [Драп'ятий, 2023].

Враховуючи масштабність проблеми мінного забруднення територій України, вирішення цього завдання потребує системного та міждисциплінарного підходів з урахуванням технічних, організаційних, екологічних та соціально-економічних чинників. У сучасних умовах, коли значна частина сільськогосподарських земель залишається непридатною для використання, необхідно сформувати комплексну стратегію, орієнтовану як на оперативне очищення територій, так і на збереження природних ресурсів.

Одним із ключових напрямів є створення та серійне виробництво вітчизняної ґрунтообробної техніки, призначеної для гуманітарного розмінування. Підвищення рівня локалізації виробництва дасть змогу не лише забезпечити швидке технічне переоснащення відповідних підрозділів, але й зменшити залежність від імпортного обладнання. Зокрема, перспективними

є багатофункціональні машини з фрезерними, ланцюговими та котковими модулями, а також дистанційним керуванням для зниження ризиків для оператора.

На території України вже застосовуються як іноземні зразки техніки (наприклад, «DOK-ING MV-4» (Хорватія), «Bozena-4» (Словаччина), «MineWolf» (Швейцарія)), так і українські розробки. Серед вітчизняних зразків – розробки КБ «Роботікс», «Інфоком ЛТД», дослідні зразки ННЦ «Інститут механізації сільського господарства». Частина машин уже випробовується у реальних умовах на Херсонщині, Миколаївщині та Харківщині.

Обговорення. Сучасні тенденції у міжнародній практиці засвідчують, що застосування дистанційно керованих і автономних систем значно підвищує ефективність і безпеку розмінування. У роботах Habib (2007; 2008) висвітлюється необхідність використання надійних і точних датчиків або інтегрованих сенсорних систем у поєднанні з ефективними методами об'єднання та обробки даних для гуманітарного розмінування. Встановлено, що традиційне ручне виявлення мін є повільним і небезпечним, а броньовані машини не завжди забезпечують належний захист і мають обмежену ефективність у складних умовах, а роботизовані рішення з ефективними сенсорами, модульною конструкцією та адаптивністю до рельєфу можуть істотно підвищити безпеку, ефективність і гнучкість операцій [Habib, 2007]. У поєднанні з ручними інструментами інтелектуальні машини здатні пришвидшити як виявлення, так і перевірку. Додатково, координація роботи декількох роботів підвищує загальну продуктивність завдяки командній взаємодії.

Окрім технічного аспекту, надзвичайно актуальними є екологічні виклики, що виникають як унаслідок використання ВНП, так і після механізованого очищення територій. Дослідження науковців підкреслюють довгострокові ризики для довкілля від уламків боєприпасів і токсичних залишків [Novik, 2022; Krajnović & Smolek, 2024].

На окрему увагу заслуговують підхо-

ди до автоматизації пошуку мін: наукові огляди акцентують на значному прогресі у використанні Інтернету речей (IoT), сенсорів, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та наземних роботів у складі комплексних систем для розмінування [Nevliudov et al., 2021; Hutsul et al., 2023]. Такі розробки демонструють свою ефективність і в умовах складного рельєфу, де традиційні методи є малоефективними або надто ризикованими. Технології БПЛА та IoT не входять до традиційної класифікації методів гуманітарного розмінування. Однак вони є сполучною ланкою для впровадження на їхній основі або за їхньої безпосередньої участі інших технологічних рішень, включаючи геоінформаційні системи, нейронні мережі, штучний інтелект, великі дані тощо. Перспективи впровадження мереж зв'язку 5G в Україні підвищать просторову точність при поєднанні обох технологій, що особливо важливо для гуманітарного розмінування.

Сучасні комунікаційні технології, зокрема 5G та концепції на зразок Інтернету речей суттєво впливають на розвиток повітряного зв'язку із застосуванням БПЛА. Залежно від сфери використання та географії дрони також можуть слугувати засобом розширення зони покриття та підвищення пропускної здатності мереж 5G, виконуючи функції ретрансляторів або мобільних базових станцій [Hutsul et al., 2023]. Це особливо корисно в ізольованих або важкодоступних районах. Інтеграція хмарних технологій з БПЛА додатково підсилює їхні функціональні можливості, забезпечуючи розширені ресурси для обробки даних.

У роботі Nevliudov та ін. проведено аналіз сучасних роботизованих військових комплексів (РВК), що розробляються в Україні та передових країнах світу, та охарактеризовано структуру компонентів системи гуманітарного розмінування. Встановлено, що організація системи гуманітарного розмінування з використанням ВМК повинна включати розвідку ВНП, пошук, маркування, їхню ідентифікацію та безпосереднє розмінування.

Розглянуто демаскувальні ознаки ВВП, а також сучасні методи та детектори виявлення ВВП. Обґрунтовано перспективність параметричного методу виявлення мін. Однак у реальному застосуванні найбільш перспективним є використання комбінації електромагнітних, оптичних і механічних методів [Nevliudov et al., 2021].

Українська ґрунтообробна техніка, модифікована під завдання розмінування, часто базується на серійних тракторах із навісним або причіпним обладнанням (фрези, ланцюги), однак потребує вдосконалення для досягнення міжнародного рівня надійності й безпеки.

Іншим важливим напрямом є створення нормативної та стандартизаційної бази [GICHN, 2025; КМУ, 2024], оскільки відсутність чітко визначених національних стандартів на техніку для розмінування стримує розвиток галузі та створює ризики у питаннях безпеки. Необхідною є розробка технічних регламентів, що відповідатимуть як вимогам Міжнародної програми протимінної діяльності (IMAS), так і особливостям ґрунтових і кліматичних умов України.

Також актуальним є зонування забруднених територій. За прикладом Франції, де після Першої світової війни було введено систему класифікації земель за ступенем хімічного й вибухового забруднення [Meerschman et al., 2011], в Україні доцільно впровадити аналогічну модель. Це дасть змогу здійснювати пріоритетне розмінування найбільш небезпечних ділянок і вибирати оптимальні методи очищення — механізовані, ручні або комбіновані.

У контексті сталого землекористування надзвичайно важливо впроваджувати екологічно дружні методи нейтралізації вибухонебезпечних предметів, зокрема коткові системи, що не порушують структуру ґрунтового покриву. Як зазначалося вище, традиційне механізоване розмінування фрезерного типу має суттєвий недолік — руйнування гумусного шару, що є критичним для аграрного виробництва. Тому перевага надається методам, які мінімізують антропогенне втручання в ґрун-

тову екосистему.

Навчання кваліфікованих кадрів — ще один стратегічний напрямок. З урахуванням постійного розвитку розмінувальних технологій, зокрема дистанційного керування, автоматизованих систем виявлення та знешкодження, необхідно формувати систему спеціалізованої технічної освіти та перепідготовки операторів, інженерів, саперів та екологів.

Окрему увагу слід приділити розширенню міжнародного співробітництва. Залучення досвіду країн, які мають тривалу історію розмінування, наприклад, Хорватії, Азербайджану, Північної Македонії, дасть змогу адаптувати перевірені підходи та інноваційні технології. Також важливим є залучення міжнародної технічної допомоги та фінансових ресурсів, зокрема в межах програм ООН, НАТО, ЄС та окремих донорських структур.

З огляду на постійну мінну загрозу, що може виникати внаслідок повторного дистанційного мінування з боку агресора, необхідно розвивати інформаційно-аналітичні системи картування, що дають змогу оперативно оновлювати дані про небезпечні території. Це особливо важливо для цивільного населення, фермерських господарств і органів місцевого самоврядування.

Висновок. Таким чином, ефективно вирішення проблеми мінного забруднення українських територій потребує комплексного підходу, в основу якого покладено синергію між вітчизняною наукою, промисловістю, державним управлінням, міжнародними партнерами та громадянським суспільством. Лише за умови поєднання зусиль у всіх зазначених напрямках можна досягти мети — зробити українські землі безпечними, придатними для життя та господарювання.

Вітчизняні зразки техніки мають значний потенціал у сфері механізованого розмінування, зокрема завдяки своїй адаптованості до специфіки українських умов, простоті обслуговування та нижчій вартості. Водночас вони поступаються за рівнем автоматизації, ефективності та за-

хисту від вибухів. Іноземні зразки надають більш повний спектр можливостей, однак є фінансово затратними й іноді потребують адаптації до наших ґрунтів. Оптимальною стратегією є паралельне використання наявних іноземних рішень та інвестування у розвиток українських машин, які враховують як технічні, так і екологічні вимоги сучасного розмінування.

Перелік літератури

- Бойко, О. А., Гаман, П. І., & Павлов, С. С. (2025). Гуманітарне розмінування в Україні: державна політика і державне управління. Публічне управління і політика № 5(9). <https://doi.org/10.70651/3041-2498/2025.5.13>
- Драп'ятий, Б. (2023). Розмінування. Наскільки масштабна проблема і як її вирішувати? ZN.UA. <https://zn.ua/ukr/war/rozminuvannja-naskilki-masshtabna-problema-i-jak-jiji-virishuvati.html>
- КМУ (2024). Про схвалення Національної стратегії протимінної діяльності на період до 2033 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2026 роках. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 червня 2024 р. № 616-р, Київ. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skxhvalennia-natsionalnoi-stratehii-protyminnoi-diialnosti-na-period-do-2033-roku-ta-zatverdzhennia-t280624>
- Холодова, А. (2023). Екологічно дружнє розмінування: чи існує воно та як відновити забруднені ґрунти. Nakypilo.ua. <https://nakypilo.ua/teksty/ekolohichno-druzhnie-rozminuvannia-chy-isnuie-vonota-yak-vidnovyty-zabrudneni-grunty/>
- Armtrac Ltd. (2018). Armtrac 100-350 technical data sheet. <https://armtrac.net/wp-content/uploads/SPEC-100-350-MK2-ISS-3.00-10-2018.pdf>
- Army Technology (2010). MineWolf Mine-Clearance Machine. URL: <https://www.army-technology.com/projects/minewolf/>
- Arranz-González, J. C., Guzmán-Martínez, F., Tapia-Téllez, A., Jiménez-Oyola, S., & García-Martínez, M. J. (2022). Polluting potential from mining wastes: Proposal for application a global contamination index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11), 792.
- Aznar-Sánchez, J. A., García-Gymez, J. J., Velasco-Mucoz, J. F., & Carretero-Gymez, A. (2018). Mining waste and its sustainable management: advances in worldwide research. *Minerals*, 8(7), 284. <https://doi.org/10.3390/min8070284>
- DOK-ING (2021). MV-4 light demining system specification. <https://www.dok-ing.hr/products/mv-4/>
- GICHD (2025). International Mine Action Standards (IMAS). URL: <https://www.mineactionstandards.org/>
- Habib, M. K. (2007). Humanitarian demining: reality and the challenge of technology – the state of the arts. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 4(2), 19. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/5699>
- Habib, M. K. (2008). Humanitarian Demining: Innovative Solutions and the Challenges of Technology, Book edited by: Maki K. Habib, ISBN 978-3-902613-11-0, pp. 392, February 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.
- Hassan, M. I., Ahmat, D., & Ouya, S. (2024, May). Technologies behind the humanitarian demining: a review. In 2024 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets) (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SmartNets61466.2024.10577706>
- Hemapala, K. T. M. U., & Razzoli, R. P. (2012). Design and development of a landmines removal robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(1), 5.
- Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskyi, O., Moisiuk, O., Ivashko, V., & Samila, A. (2024). Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
- Hutsul, T., Tkach, V., & Khobzei, M. (2023). Humanitarian demining: How can UAVs and Internet of Things help?. *Security of Infocommunication Systems and Internet*

of Things, 1(2), 02004-02004. <https://doi.org/10.31861/sisiot2023.2.02004>

Krajnović, Z., & Smolek, A. (2024). Impact of Military Activities on the Environment. *Strategos: Znanstveni časopis Sveučilišta obrane i sigurnosti „Dr. Franjo Tuđman“ i Hrvatskog vojnog učilišta „Dr. Franjo Tuđman“*, 8(2), 89-124. <https://hrcak.srce.hr/file/468627>

Landmine Monitor (2024). International Campaign to Ban Landmines. Geneva: IC-BL-CMC. URL: <https://www.the-monitor.org/api/assets/reports/Landmine-Monitors/LMM2024/Downloads/Landmine-Monitor-2024-Final-Web.pdf>

Leal Filho, W., Fedoruk, M., Eustachio, J. H. P. P., Splodytel, A., Smaliychuk, A., & Szyrkowska-Jyżwik, M. I. (2024). The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*, 364, 121399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>

Matkivskyi, M., & Taras, T. (2024). Pollution of the atmosphere, soil and water resources as a result of the Russian-Ukrainian war. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 15(1), 87-99. <https://doi.org/10.69628/esbur/1.2024.87>

Meerschman E, Cockx L, Islam MM, Meeuws F, Van Meirvenne M. Geostatistical Assessment of the Impact of World War I on the Spatial Occurrence of Soil Heavy Metals (2011). *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. ;40:417-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0104-6>

Nevliudov, I., Yanushkevych, D., & Ivanov, L. (2021). Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. *Technology audit and production reserves*, 6(2/62), 47-52. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.245803> Dmytrukha, N. M., Kozlov, K. P., & Herasimova, O. V. (2024). Soil contamination with heavy metals: a hygienic concern. *Ukrainian Journal of Occupational Health*, 20(1), 66-75. <https://doi.org/10.33573/ujoh2024.01.066>

Novik, G. P. (2022). Analysis of samples of high explosives extracted from explosive remnants of war. *Science of the total environ-*

ment, 842, 156864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156864>

RDNA 3 (2024). Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment. World Bank Publications. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099021324115085807/pdf/P1801741bea12c012189ca16d95d8c2556a.pdf>

Sánchez-Castro, I., Molina, L., Prieto-Fernández, M. B., & Segura, A. (2023). Past, present and future trends in the remediation of heavy-metal contaminated soil-Remediation techniques applied in real soil-contamination events. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16692>

Shebanina, O., Kormyshkin, I., Bondar, A., Bulba, I., & Ualkhanov, B. (2024). Ukrainian soil pollution before and after the Russian invasion. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 208-215. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2245288>

Smirnova, K., Baliuk, S., Kucher, A., Vorotyntseva, L., & Honcharova, A. (2024). Ecological and toxicological condition of militarily degraded chernozems: A case study of the Chkalovsk territorial community. *Scientific Horizons*, 27(11), 90-104. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.90>

Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>

Solokha, M., Melnyk, O., Cannon, N., Horton, M., Datsko, O., & O'Connor, D. (2025). Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*, 995, 180105.

Way Industry (2025). Bozena-4 demining vehicle: Technical parameters. <https://www.bozena.eu/bozena-4/>

References

Armtrac Ltd. (2018). Armtrac 100-350 technical data sheet. <https://armtrac.net/wp-content/uploads/SPEC-100-350-MK2-ISS-3.00-10-2018.pdf>

- Army Technology (2010). MineWolf Mine-Clearance Machine. URL: <https://www.army-technology.com/projects/minewolf/>
- Arranz-González, J. C., Guzmán-Martínez, F., Tapia-Téllez, A., Jiménez-Oyola, S., & García-Martínez, M. J. (2022). Polluting potential from mining wastes: Proposal for application a global contamination index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11), 792.
- Aznar-Sánchez, J. A., García-Gymez, J. J., Velasco-Mucoz, J. F., & Carretero-Gymez, A. (2018). Mining waste and its sustainable management: advances in worldwide research. *Minerals*, 8(7), 284. <https://doi.org/10.3390/min8070284>
- Boiko, O. A., Haman, P. I., & Pavlov, S. S. (2025). Humanitarian Demining in Ukraine: State Policy and Public Administration. *Public Administration and Policy*, No. 5(9). <https://doi.org/10.70651/3041-2498/2025.5.13>
- CMU (2024). On the Approval of the National Mine Action Strategy for the Period Until 2033 and the Adoption of the Operational Action Plan for Its Implementation in 2024-2026. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 616-r dated June 28, 2024, Kyiv. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-natsionalnoi-strategii-protyminnoi-diialnosti-na-period-do-2033-roku-ta-zatverdzhennia-t280624>
- DOK-ING (2021). MV-4 light demining system specification. <https://www.dok-ing.hr/products/mv-4/>
- Drapiatyi, B. (2023). Demining: How Serious Is the Problem and How Can It Be Solved? ZN.UA. <https://zn.ua/ukr/war/rozminuvannja-naskilki-masshtabna-problema-i-jak-jiji-virishuvati.html>
- GICHD (2025). International Mine Action Standards (IMAS). URL: <https://www.mineactionstandards.org/>
- Habib, M. K. (2007). Humanitarian demining: reality and the challenge of technology – the state of the arts. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 4(2), 19. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/5699>
- Habib, M. K. (2008). Humanitarian Demining: Innovative Solutions and the Challenges of Technology, Book edited by: Maki K. Habib, ISBN 978-3-902613-11-0, pp. 392, February 2008, I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria.
- Hassan, M. I., Ahmat, D., & Ouya, S. (2024, May). Technologies behind the humanitarian demining: a review. In 2024 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets) (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SmartNets61466.2024.10577706>
- Hemapala, K. T. M. U., & Razzoli, R. P. (2012). Design and development of a landmines removal robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(1), 5.
- Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskyi, O., Moisiuk, O., Ivashko, V., & Samila, A. (2024). Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
- Hutsul, T., Tkach, V., & Khobzei, M. (2023). Humanitarian demining: How can UAVs and Internet of Things help?. *Security of Infocommunication Systems and Internet of Things*, 1(2), 02004-02004. <https://doi.org/10.31861/sisiot2023.2.02004>
- Kholodova, A. (2023). Eco-Friendly Demining: Does It Exist and How Can Contaminated Soils Be Restored? *Nakypilo.ua*. <https://nakypilo.ua/teksty/ekolohichno-druznie-rozminuvannia-chy-isnuie-vono-ta-yak-vidnovyty-zabrudneni-grunty/>
- Krajnović, Z., & Smolek, A. (2024). Impact of Military Activities on the Environment. *Strategos: Znanstveni časopis Sveučilišta obrane i sigurnosti „Dr. Franjo Tuđman “i Hrvatskog vojnog učilišta „Dr. Franjo Tuđman”*, 8(2), 89-124. <https://hrcak.srce.hr/file/468627>
- Landmine Monitor (2024). International Campaign to Ban Landmines. Geneva: ICBL-CMC. URL: <https://www.the-monitor.org/api/assets/reports/Landmine-Monitors/LMM2024/Downloads/Landmine-Monitor-2024-Final-Web.pdf>
- Leal Filho, W., Fedoruk, M., Eustachio, J. H. P. P., Splodytel, A., Smaliychuk, A., &

Szynkowska-Jyżwik, M. I. (2024). The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*, 364, 121399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>

Matkivskyi, M., & Taras, T. (2024). Pollution of the atmosphere, soil and water resources as a result of the Russian-Ukrainian war. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 15(1), 87-99. <https://doi.org/10.69628/esbur/1.2024.87>

Meerschman E, Cockx L, Islam MM, Meeuws F, Van Meirvenne M. Geostatistical Assessment of the Impact of World War I on the Spatial Occurrence of Soil Heavy Metals (2011). *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. ;40:417-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0104-6>

Nevliudov, I., Yanushkevych, D., & Ivanov, L. (2021). Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. *Technology audit and production reserves*, 6(2/62), 47-52. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.245803> Dmytrukha, N. M., Kozlov, K. P., & Herasimova, O. V. (2024). Soil contamination with heavy metals: a hygienic concern. *Ukrainian Journal of Occupational Health*, 20(1), 66-75. <https://doi.org/10.33573/ujoh2024.01.066>

Novik, G. P. (2022). Analysis of samples of high explosives extracted from explosive remnants of war. *Science of the total environment*, 842, 156864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156864>

RDNA 3 (2024). *Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment*. World Bank Publications. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099021324115085807/pdf/P1801741bea12c012189ca16d95d8c2556a.pdf>

Sánchez-Castro, I., Molina, L., Prieto-Fernández, M. B., & Segura, A. (2023). Past, present and future trends in the remediation of heavy-metal contaminated soil-Remediation techniques applied in real soil-contamination events. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16692>

Shebanina, O., Kormyshkin, I., Bondar, A., Bulba, I., & Ualkhanov, B. (2024). Ukrainian soil pollution before and after

the Russian invasion. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 208-215. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2245288>

Smirnova, K., Baliuk, S., Kucher, A., Vorotyntseva, L., & Honcharova, A. (2024). Ecological and toxicological condition of militarily degraded chernozems: A case study of the Chkalovsk territorial community. *Scientific Horizons*, 27(11), 90-104. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.90>

Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>

Solokha, M., Melnyk, O., Cannon, N., Horton, M., Datsko, O., & O'Connor, D. (2025). Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*, 995, 180105.

Way Industry (2025). *Bozena-4 demining vehicle: Technical parameters*. <https://www.bozena.eu/bozena-4/>

UDC 623.454.38; 351.759.5

ANALYSIS OF MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR MECHANIZED DEMINING OF AGRICULTURAL LANDS IN UKRAINE

Kharchenko O., <https://orcid.org/0009-0005-3506-0796>

Vlasenko V., <https://orcid.org/0009-0004-9943-6716>

State Research Institute for Testing and Certification of Armaments and Military Equipment

Voinovskyi V., <https://orcid.org/0000-0002-9994-2617>

Maidanovych V., PhD in Technical Sciences, <https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The main objective of the study is to analyze the current state, problems, and prospects of using soil-tilling equipment for humanitarian demining in Ukraine, especially in agricultural lands. The authors aimed to generalize the classification of demining machines, compare domestic and foreign models, and identify key technical, environmental, and organizational solutions that will contribute to increasing the efficiency and safety of the mechanized soil clearance process.

Methods. The work uses an interdisciplinary approach that includes methods of technical and comparative analysis, system approach, and content analysis. The sources for the study were open scientific publications, reports from international organizations, and the legal and regulatory framework. A comparative analysis of the technical parameters of domestic and foreign demining machines was used to identify their strengths and weaknesses in the conditions of Ukraine.

Results. The study presented a detailed classification of machines for mechanized demining by type of working body (milling, chain, roller), principle of control, and purpose. The analysis showed that foreign equipment samples, such as DOK-ING MV-4 or MineWolf MW240, demonstrate high productivity, level of automation, and resistance to explosions, but are financially costly. In contrast, Ukrainian developments, although at the prototype stage, are more adapted to local soil conditions and more affordable. Special attention is paid to environmental risks: it was found that the use of milling mechanisms can damage the fertile soil layer, while roller systems are more environmentally safe.

Conclusions. The effective solution to the problem of mine contamination in Ukraine requires a comprehensive and systematic approach. The optimal strategy is a combination of using proven foreign equipment while investing in the development and serial production of domestic machines adapted to local conditions. This synergy between the Ukrainian industry, science, government, and international partners will ensure the acceleration of demining and contribute to the restoration of agriculture and environmental safety.

Keywords: demining, explosive ordnance, soil-tilling equipment, mechanized demining, environmental safety, agricultural lands, machine classification.