

Гуцул Т., Ткач В., Хобзей М.

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

монографія

Міністерство освіти і науки
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

Тарас ГУЦУЛ
Владислав ТКАЧ
Микола ХОБЗЕЙ

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

монографія



Чернівці
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
2024

УДК 623.365

Г 977

Рекомендовано до друку Вченою радою
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича (протокол №12 від 02.09.2024 р.)

Рецензенти:

- | | |
|---|--|
| Карпінський
Юрій
Олександрович | – д-р техн. наук, проф., заст. дир. з наукової роботи Науково-дослідного інституту геодезії і картографії (ДП «НДІГК»). |
| Стрілець
Віктор
Маркович | – д-р техн. наук, проф., доц. кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту. |
| Семенов
Андрій
Олександрович | – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету. |

***Автори:** канд. техн. наук., доц. Гуцул Т. В. (розд. 3, 4, 5); аспірант
Ткач В. О. (розд. 2, 4, 5); аспірант Хобзей М. М. (розд. 1, 4, 5).*

Г 977 **Гуцул Т. В., Ткач В. О., Хобзей М. М.** Класифікація та особливості методів гуманітарного розмінування територій на сучасному етапі : монографія / за ред. Т. В. Гуцула. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2024. 240 с.
ISBN 978-966-423-882-0

Пропоноване видання – результат виконання співробітниками науково-дослідної частини Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича науково-дослідної роботи за темами: 0124U000459 та 0123U100679. Розкрито проблематику наслідків замінування територій, існуючих методів і концепцій, світового досвіду подолання мінних загроз, здійснено порівняння та класифікацію методів гуманітарного розмінування місцевості.

Для уповноважених підрозділів центральних органів виконавчої влади та операторів протимінної діяльності, саперів, співробітників ДСНС, наукових співробітників, а також викладачів та здобувачів закладів вищої освіти цивільного захисту населення.

ISBN 978-966-423-882-0

УДК 623.365

© Гуцул Т. В., Ткач В. О., Хобзей М. М., 2024
© Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича, 2024

ЗМІСТ

Передмова	5
Список умовних позначень та скорочень	7
Розділ 1. Історія появи, еволюція розробки та використання мін	9
1.1. Виникнення та значення терміна «міна»	9
1.2. Поява перших порохових мін та їх ефективність	16
1.3. Еволюція розвитку мінної справи	23
1.4. Особливості використання мін у сучасних військових конфліктах.....	30
Висновки до розділу 1	45
Література	47
Розділ 2. Проблема мінної небезпеки на сучасному етапі та географія її розповсюдження	50
2.1. Негативні наслідки та загрози, які спричиняють міни	50
2.2. Масштаби мінної проблеми у світі.....	67
2.2.1. Країни-лідери за існуючими запасами мін	71
2.2.2. Найпоширеніші типи мін.....	72
2.2.3. Країни-лідери за виробництвом мін	77
2.2.4. Тенденції виробництва мін.....	79
2.3. Мінна небезпека на території України.....	82
Висновки до розділу 2	86
Література	88
Розділ 3. Світовий досвід боротьби з мінною загрозою	92
3.1. Законодавчі ініціативи й заходи на державному та світовому рівнях.....	92
3.2. Поняття гуманітарного розмінування територій	98
3.3. Поняття військового розмінування територій.....	100
3.4. Особливості досвіду окремих країн	103
3.5. Порівняння динаміки встановлення та знешкодження мін	114
3.6. Очищення території України від мін за період 1991-2022 рр.	116
3.7. Прогнозні оцінки тривалості післявоєнного розмінування території України	119
Висновки до розділу 3	121

Література	123
Розділ 4. Огляд існуючих методів гуманітарного розмінування територій	126
4.1. Загальні відомості	126
4.2. Біологічні	130
4.3. Електромагнітні	138
4.4. Оптичні	154
4.5. Хімічні	158
4.6. Ядерні	164
4.7. Акустичні	167
4.8. Механічні	172
4.9. Інтернет речей	176
4.10. Геоінформаційні системи	181
4.11. Штучний інтелект	190
Висновки до розділу 4	198
Література	199
Розділ 5. Порівняння методів гуманітарного розмінування територій	208
5.1. Переваги й недоліки методів гуманітарного розмінування територій	208
5.2. Підходи до класифікації методів гуманітарного розмінування територій	212
5.3. Новинки науково-технічного прогресу для розмінування територій	217
5.4. Новітній досвід України	223
5.5. Прогнозування трендів розвитку гуманітарного розмінування	230
Висновки до розділу 5	233
Література	235
Післямова	238

Передмова

Історія людства – це історія воєн. Протягом усієї історії людства інструменти та процедури ведення бойових дій постійно вдосконалювалися. Минуло дуже багато часу з моменту винайдення вибухівки, і ці «сполуки» використовувалися в незліченних випадках як на користь, так і проти людства.

За століття до Першої світової війни використання мін вважалося боягузством і варварством.

Міни можуть «жити» надзвичайно довго, поки не підірвуться або не будуть вилучені. Вони часто залишаються невиявленими в землі ще довго після завершення конфлікту, завдаючи масових страждань цивільному населенню протягом багатьох років після настання «миру». Сьогодні більшість мінних полів не нанесено на карту та не зареєстровано, і тих, хто їх заклав, можливо, більше не існує. Такі явища роблять протипіхотні міни складними, непередбачуваними та небезпечними.

Записи показують, що, за кількома винятками, міни використовувалися широко й не вибірково як урядовими військами, так і повстанськими силами: мінні поля не було належно зареєстровано, нанесено на карту чи позначено на місцевості; міни були випадково розкидані в цивільних районах (у селах, на полях і стежках та навколо них), без зусиль для захисту цивільних осіб; часто міни були спрямовані проти цивільного населення як зброя терору. Таке використання є грубим порушенням основних прав людини та заборонено міжнародним правом.

Гуманітарна протимінна діяльність сприяє розбудові миру. Термін *«розбудова миру»* вперше введено у 1992 р. тодішнім Генеральним секретарем ООН Бутросом Бутросом-Галі у *«Порядку денному для миру»*. Його використання обмежувалося постконфліктними заходами, інвентаризацією післявоєнних потреб та наявних міжнародних ресурсів, і мало на увазі будь-який вид діяльності, спрямований на відновлення нормального життя в постраждалих від війни суспільствах, включаючи дипломатичні, військові, економічні та гуманітарні зусилля.

Концепція розбудови миру, що з'явилася згодом, була широкою, але занадто розмитою, щоб запропонувати багато чого з

точки зору управління проведенням складних операцій у нестабільному середовищі.

Термін «*гуманітарна протимінна діяльність*» значною мірою введено в другій половині 1990-х рр. для розуміння того, що протимінна діяльність повинна бути тісно інтегрована з іншими видами діяльності, спрямованими на допомогу суспільству у відновленні після збройного конфлікту і стимулюванні розвитку, а також того, що між різними компонентами протимінної діяльності мають бути тісніші зв'язки.

Загалом, гуманітарна протимінна діяльність включає всі організовані зусилля, спрямовані на пом'якшення наслідків або ліквідацію наземних мін і вибухонебезпечних пережитків війни. Остання версія Стандартів ООН з питань протимінної діяльності виділяє п'ять її загальних компонентів:

- інформування про мінну небезпеку;
- розмінування, включно з обстеженням, картуванням і маркуванням;
- допомогу постраждалим, включаючи реабілітацію та реінтеграцію;
- пропаганду з метою засудження використання наземних мін;
- знищення запасів.

Незважаючи на свою коротку історію, протимінна діяльність сьогодні виділяється як високопрофесійний і ретельно регульований сектор, із власним набором міжнародних стандартів та організаційним і кадровим потенціалом, який може реагувати в найкоротші терміни, і все це накладається на принципи і зобов'язання, покладені на нього Конвенцією про протипіхотні міни 1997 року.

Список умовних позначень та скорочень

CAD	<i>англ. Computer-aided design</i> – Система автоматизованого проектування
FAR	<i>англ. The Forces Armees Rwandaises</i> – Збройні сили Руанди
GPS	<i>англ. Global Positioning System</i> – Система глобального позиціонування
IMAS	<i>англ. The International Mine Action Standards</i> – Міжнародні стандарти з протимінної діяльності
IMSMA	<i>англ. Information Management System for Mine Action</i> – Інформаційна система управління протимінною діяльністю
IoT	<i>англ. Internet of Things</i> – Інтернет речей
LIDAR	<i>англ. Light Identification, Detection and Ranging</i> – ЛІДАР
SADF	<i>англ. South African Defence Force</i> – Південно-африканські сили оборони
USCENTCOM	<i>англ. United States Central Command</i> – Центральне Командування Збройних сил США
АТО / ООС	антитерористична операція / операція об'єднаних сил
БПЛА	безпілотний літальний апарат
БТР	бронетранспортер
ВВП	валовий внутрішній продукт
ВНП	валовий національний продукт
ГІС	геоінформаційна система
ДЗЗ	дистанційне зондування Землі
ДСНС	Державна служба України з надзвичайних ситуацій
ЕІТ	електроімпедансна томографія
ЕМ	електромагнітна
ЕМІ	електромагнітна індукція
ЄС	Європейський Союз
ЖМЦГР	Женевський міжнародний центр із гуманітарного розмінування
ІЧ	інфрачервоний
КША	Конфедеративні Штати Америки
ЛЕП	лінія електропередач
МАГАТЕ	Міжнародне агентство з атомної енергії

МКЧХ	Міжнародний комітет Червоного Хреста
НАТО	<i>англ. North Atlantic Treaty Organization, NATO</i> – Організація Північноатлантичного Договору
НІГД	Національна інфраструктура геопросторових даних
НОПМД	Національний орган з питань протимінної діяльності
НСПМД	Національні стандарти протимінної діяльності
ОБСЕ	Організація з безпеки та співробітництва в Європі
ООН	Організація Об'єднаних Націй
ПРООН	Програми розвитку ООН
РПФ	<i>англ. Rwandan Patriotic Front</i> – Руандський Патріотичний Фронт
РСЗВ	реактивна система залпового вогню
СММ	Спеціальна моніторингова місія
СППР	система підтримки прийняття рішення
УЗХ	ультразвукова хвиля
УНІТА	<i>порт. União Nacional para a Independência Total de Angola, UNITA</i> – політична партія Анголи створена на базі повстанського угруповання
ЦММ	цифрова модель місцевості
ЦМР	цифрова модель рельєфу
ІІІ	штучний інтелект
ЮНІСЕФ	<i>англ. United Nations Children's Fund, UNICEF</i> – спеціалізована структура ООН із захисту прав та інтересів дітей
ЯКР	ядерний квадрупольний резонанс

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ ПОЯВИ, ЕВОЛЮЦІЯ РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ МІН

1.1. Виникнення та значення терміна «міна»

Будь-яку значну за об'ємом підземну порожнину шахтарі здавна називали «міною». Англійське слово «*tine*» може перекладатися в двох значеннях: 1) «міна»; 2) «шахта». Таких значень набуває слово «*tine*» німецькою та французькою мовами.

Словник американської спадщини визначає шахту як «виїмку в землі, з якої можна добувати руду або мінерали». Військові інженери використовували цей термін для опису дій при «прокладанні» шляху до фортифікаційної стіни. Отже, терміни «міна» і «наземна міна» стали взаємозамінними, коли їх використовують для опису будь-якої підземної вибухової пастки, що приводиться в дію жертвою.

Конвенція про заборону застосування, накопичення запасів, виробництва і передачі протипіхотних мін та про їхнє знищення розкриває тлумачення «*міни*» та «*протипіхотної міни*» так:

«*міна*» означає боєприпас, призначений для встановлення під землею, на землі або поблизу поверхні землі або іншої поверхні та для вибуху від присутності, близькості або безпосереднього впливу людини або засобу, що рухається;

«*протипіхотна міна*» означає міну, призначену для вибуху від присутності, близькості або безпосереднього впливу людини і при цьому виводить з ладу, калічить або вбиває одного або кількох людей. Міни, призначені для детонації від присутності, близькості або безпосереднього впливу засобу, що рухається, а не людини, і оснащені при цьому елементом невилучення, не можуть бути віднесені до категорії протипіхотних мін лише на тій підставі, що вони так оснащені.

Протягом історії приховані ями із шипами на дні використовувалися на полюванні та на війні. Зазвичай у війні такі пастки використовувалися як захисний прийом, щоб мінімізувати вплив чисельно переважаючого ворога, компенсувати нестачу чисельності захисників, що сьогодні відомо у військовій мові як «множник сили».

Поняття наземних мін включає різноманіття типів мін, зокрема: міни-пастки, протитранспортні та протипіхотні, а також інші пристрої, що приводяться в дію рядом механізмів: магнітним впливом, електричним керуванням, механізмами натискної дії, включаючи розтяжки. Частина протитранспортних мін містить шрапнель¹, здатну завдати серйозних уражень рукам, стопам та ногам. У деяких протипіхотних моделях, для підриву міни при наступанні жертвою на неї, використовується сполучення прикріпленої системи активації жертви з вибуховою речовиною.

Конвенція 1997 р. про заборону використання, накопичення, виробництва і передачі протипіхотних мін та їх знищення (відома як Оттавська конвенція) визначає протипіхотну міну так:

«...міна, призначена для вибуху внаслідок присутності, близькості або контакту з особою, яка виведе з ладу, поранить або вб'є одну або більше осіб. Міни, призначені для підриву внаслідок присутності, близькості або контакту транспортного засобу, а не людини, які обладнані пристроями проти виймання, не вважаються протипіхотними мінами внаслідок такого оснащення».

Термінологічна система гуманітарного розмінування ще не була предметом дослідження українських науковців, хоча здійснено спробу проаналізувати деякі окремі терміни в контексті військової термінології та перекладознавства (Palchevska, 2019).

Відповідно до міжнародних вимог, офіційною мовою гуманітарного розмінування в Україні є англійська, що може створювати проблеми з передачею інформації українським фахівцям із розмінування. В рамках подальшої підтримки програм протимінної діяльності в Україні, Женевський міжнародний центр з гуманітарного розмінування (ЖМЦГР) провів два тренінги з підготовки перекладачів для використання англійської мови в контексті технічної термінології з гуманітарного розмінування.

Перш за все визначимо, що лексика гуманітарного розмінування є практично новою сферою для України як в контексті перекладу, так і в контексті теоретичних термінологічних досліджень. Існують значні відмінності в системах класифікації боєприпасів

¹ Шрапнель – тонкостінна склянка з вибивним зарядом із димного чорного пороху, заповнена металевими кульками (шрапнельними кульками) або пірамідками.

НАТО і колишнього СРСР, які спричиняють непорозуміння під час усного або письмового перекладу документів. Як наслідок, для різних категорій боєприпасів використовуються різні класифікації. Особливістю термінологічної сфери гуманітарного розмінювання є те, що вона знаходиться на межі військової термінології та термінології надзвичайних ситуацій.

Історія мін розпочинається з часів Бронзового віку, коли людина навчилася використовувати в своїй діяльності метали. Як впливає з назви епохи, метали мали вирішальне значення у визначенні періоду, хоча, аж ніяк не єдине. По-простому термін, *«бронзовий вік»* визначається як період, коли мідь і мідні сплави були основними матеріалами для виробництва знарядь праці, зброї та прикрас (Harding, 2011). Наразі мідь є третім за важливістю металом, який використовує людина (Radetzki, 2009).

Першим металом, відомим людині, було золото, знайдене в самородному та незапям'ятованому стані в руслах струмків. Природно припускають, що наступним металом, який привернув її увагу, була самородна мідь, хоча її зовнішній вигляд менш вражаючий (Desch, 1933).

Виплавка бронзи в найпростішому вигляді потребувала видобутку руди олова та міді. Початково місця їх залягання вдавалося знаходити на поверхні, але пізніше їх видобуток ускладнювався та потребував поступового заглиблення в землю. З розвитком металургії розвивалося і шахтне мистецтво. Найпершими відомими підземними шахтами були мідні копальні в Малій Азії (близько 7 тис. років до н. е.).

З досягненням відносно високого цивілізаційного рівня розвитку в Бронзовий вік в різних країнах з'являються укріплені міста та фортеці. Дерев'яні або кам'яні стіни захищали місцеве населення та правителів як від набігів орд кочівників, так і від регулярних військ держав сусідів.

Чіткі записи про будівництво тунелів налічують понад 4000 років. Ассирійські різьблення показують інженерні підрозділи Саргона з Аккада (правив у 2334-2279 рр. до н. е.), які підривають стіни ворожих міст. Вплив тунельних операцій і загрозу їх успіху можна побачити в еволюції фортифікаційних проєктів. Замки з

високими навісними стінами вимагали ровів навколо стін, щоб змусити ворожих копачів прокладати тунелі крізь тверду скелю (Springer, 2015).

Підкопи під фортечними стінами стали попередниками тунельних мін (рис. 1) та використовуються у війні понад 2500 років.



Рис. 1. Схема підкопу під облогову вежу

Тунелі для нападу на фортеці прокладали через (нескельні) ґрунтові матеріали. Середньовічна військова техніка підкопу включала риття ґрунтових тунелів із дерев'яними або балочними підпорами для підтримки ґрунтових перекриттів. Потім у тунель розміщували горючий матеріал (наприклад, сіно або солому) і підпалювали. Вогонь спалював опорні балки, які обвалювали перекриття ґрунтових тунелів і підривали стіну по периметру (Olson & Spreidel, 2020). Під час штурму Рочестерського замку було прокладено тунель, усередині якого підпалили кріплення та жир із 40 свиней, яким покрили закріпні балки. Це викликало бурхливий вогонь, який допоміг наступаючим силам короля зруйнувати південно-східну вежу (Marsden, 2024).

Для досягнення обвалу стін або веж потрібно було робити великі підземні порожнини (міни), які забезпечували б осідання ділянки стіни (вежі) до рівня землі та руйнування на досить великій протяжності.

Близько середини V століття до н. е. грецький фахівець Еней на прізвисько «Тактик» написав трактат «Про перенесення облоги», де детально розкрив технологію античного «мінування», тобто влаштування підкопів під стінами з подальшим їхнім обваленням у разі вигорання підпор.

Мистецтво прокласти підземний хід точно в потрібне місце, дотримуючись напрямку по горизонталі і вертикалі, навіть в XXI ст. було непростотою задачею. Тривалість підготовки таких спеціалістів (*маркшейдерів*²) займає 4-5 років, і все ж при прокладанні тунелю довжиною 500-600 м похибка в 2-4 метри навіть сьогодні вважається відмінним результатом.

Оборонці завжди прагнули нейтралізувати підземні роботи супротивника, підводячи його підкопи під дно рову. В нічний період виносили каміння, колоди та ін. матеріал, який потім скидали з міських стін на атакуючих. Для того, щоб облогові вежі ставали вищими за міські стіни та башти, зводили земляні насипи (*кавальєри*).

Стародавні захисники знали про небезпеку тунелів і підривних робіт, і вони винайшли засоби для виявлення будь-якої активності ворога в тунелях. Один із методів полягав у розміщенні барабанів у ключових точках уздовж оборонної лінії та постійному стеженні за ними, щоб почути вібрацію, що виникає під час риття землі. Інші використовували чаші з водою, встановлені вздовж верхівок стін, які також реагували на підземні хвилювання. Ці методи дозволили створити грубу форму тріангуляції, за допомогою якої захисники могли скласти графік руху тунелів, що наближалися (Springer, 2015).

² Маркшейдер (від нім. *Markscheider*, утворено від *Mark* – «межа», «кордон» і *scheiden* – «розділяти») – гірничий інженер або технік, фахівець з маркшейдерії. Маркшейдерія – галузь гірської науки і техніки, що полягає у веденні просторово-геометричних вимірів (маркшейдерських зйомок) у надрах землі і на відповідних ділянках її поверхні з подальшим зображенням їх на планах, картах і розрізах при гірських і геологорозвідувальних роботах.

При зустрічі двох підкопів сторони прагнули знищити одна одну різними способами, найчастіше рукопашним боєм у тісному темному підземеллі. Іноді з тією метою використовували задушливий дим, ос або шершнів. Так у давнину вперше виникла мінна і контрмінна боротьба.

Тарани та облогові вежі (або «гелеполіси» – захоплювачі міст) були надійним засобом штурму фортець (Rossi et al., 2010). Для запобігання підведенню цих засобів до стін, перед ними викопували глибокі та широкі рови. Штурмуюча сторона намагалася заповнити їх колодами, камінням і т. ін. Одночасно винаходили нові засоби для штурмів. Серед них – балісти, катапульти, рухомі облогові вежі, з яких у місто скидалися трупи тварин і людей (для виникнення епідемій), ємності із запальними речовинами (наприклад, «грецьким вогнем»), обстрілювали із луків захисників міських стін.

Ще не було ні вибухових речовин, ні пороху, а вже став відомим принцип застосування мін та виникла тактика мінної війни. Більшість істориків вважають, що підземні міни тунельного типу були єдиним варіантом мін, існувавшим до винайдення пороху. Проте це не так.

Під час облоги галльського табору в Алезії військо Цезаря звело навколо нього систему польових укріплень (рис. 2). Загородження такої конструкції дуже схожі на аналог сучасних мінних полів. Було побудовано 11-мильну (18 км) лінію обходу галльського табору, для блокування втечі чи доставки припасів. Щовечора римські легіонери копали траншеї та зводили частокולי від можливого нападу. Допускаючи варіант прибуття галльського підкріплення в тил, зведено другу лінію контраваліяції довжиною 14 миль (22,5 км). Крім того, побудовано траншею шириною 20 футів (6 м) навколо галльської позиції, щоб уповільнити можливе просування до римських укріплень і ще два рови, деякі частини яких затоплено. Грунт із траншей використано для будівництва валу, на якому споруджено частокіл. Перед ним були ряди перешкод: 5 рядів загострених колів, які називалися кліппі або надгробками, сплетеними разом, щоб запобігти викорчовуванню; V-подібні ями з кілками, які називали ліліями; залізні кілки – стимули, встромлені

по діагоналі в землю (рис. 3). Крім окопів, побудували земляно-дерев'яну стіну заввишки 12 футів (3,5 м) із вежами через кожні 80 футів (24 м) – загалом 33 (McIntosh, 2022).

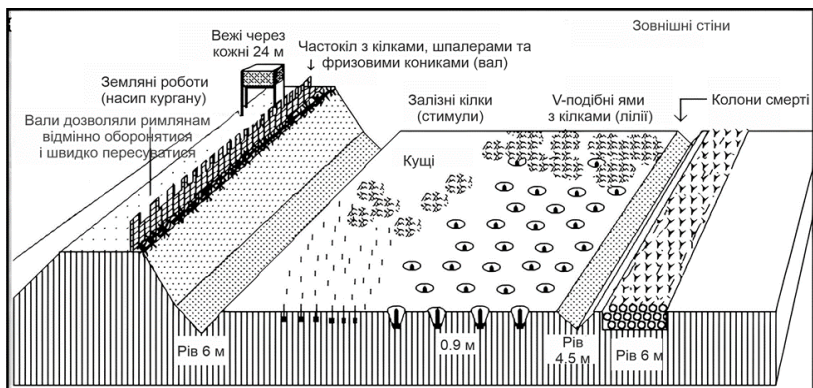


Рис. 2. Система загороджень Гая Юлія Цезаря

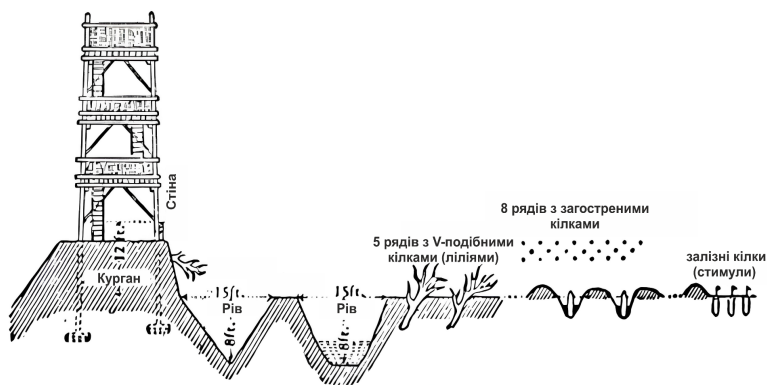


Рис. 3. Система загороджень Гая Юлія Цезаря: вид збоку

На Русі було відоме загородження «часник» (як його не кидай, він завжди падає так, що один шип стирчить догори, а на три інші шипи спирається). Перше зафіксоване використання «часнику» датовано 331 р. до н. е. персами в битві при Гавгамелах. Згодом застосовувався у всі подальші історичні періоди. Кожен легіонер

Римської імперії зобов'язаний був мати 8 штук «часнику» (трибол). На справжню військову зброю «часник» перетворився лише у візантійські часи.

Його використовували, щоб влаштовувати засідки проти кінноти, за достатньої щільності розміщення суттєво сповільнює рух та вражає піхоту (рис. 4). Зважаючи на невеликі розміри, цей вид зброї практично невидимий у траві. Для використання як протикінного загородження велику кількість виробів розкидають на місцевості залежно від виконуваного бойового завдання. Найчастіші розміри: довжина кожного штиря до 5 см, товщина біля основи 0,8-1 см. Зазвичай шипи виготовляються з металевих пластин або товстого металевого дроту. Шипи можуть закінчуватися зазубринами, як-от рибальські гачки.

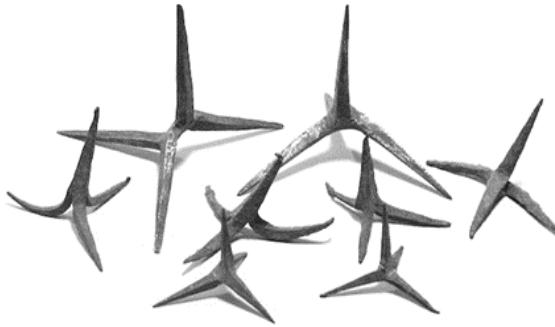


Рис. 4. Протикінне та протипіхотне загородження часник (інші відомі назви – *трибола*, *тривола*, *каракулі*, *вовчець*)

1.2. Поява перших порохових мін та їх ефективність

Новий вид зброї – міни, які використовують силу вибуху – нерозривно пов'язаний з появою чорного пороху, матеріалу, здатного швидко і рівномірно горіти під дією зовнішньої сили відповідним чином, утворюючи велику кількість газу при високій температурі (You, 2020). Його хімічний склад є поєднанням нітрату калію, деревного вугілля та сірки у ваговому співвідношенні 75:15:10. Перші вибухові речовини (протопорох) містили подібні інгредієнти, але в різних пропорціях, і були найдавнішими відомими хімічними вибуховими речовинами.

Батьківщиною протопороху вважають Китай (Schlegel, 1902). Його винайдення в IX столітті мало за мету використання нітрату калію для флюсу³ під час виплавки металів (Gray et al., 1982). Для очищення нітрат калію перекристалізовували з киплячої води. Необачне потрапляння вугілля з вогню в калійну селітру спричинило вибух суміші. Тому інші алхіміки були попереджені щодо результатів небезпеки взаємодії калійної селітри з деревним вугіллям. Селітру та сірку використовували як ліки в стародавньому Китаї, і через їх легкозаймисте поєднання, дослівна назва пороху перекладалася як «горючі ліки».

Порох – перший вид вибухових речовин, який людина коли-небудь контролювала, і це один з Чотирьох Великих китайських винаходів, який зробив значний внесок у розвиток світової цивілізації (You, 2020). Найвідоміший коментар щодо історичного значення пороху, ймовірно, зробив Френсіс Бекон (1561-1626) у «Новому організмі»: Друкарство, порох і компас «змінили вигляд і стан усього світу» спочатку в літературі, потім у війні і, нарешті, в навігації, і «незліченні зміни походять від них, так що жодна імперія, релігія чи сила, здається, не мали більшої влади і впливу на людські справи, ніж ці механічні відкриття» (Zheng, 2021).

Перша формула протопороху з'явилася в Китаї у 1044 р. (рис. 5). Потенціал пороху рухати предмети зробив його привабливим для військових стратегів, які розробляли зброю. Вибухова суміш протопороху призвела до усвідомлення можливості її використання на війні для запалів, простих бомб і гранат, які кидали за допомогою трюбуше, або великих катапульт. Точна хронологія винайдення пороху досі спірна, як і питання його використання у військовій техніці (Haw, 2013).

Наприкінці X – на початку XI ст. в період правління династії Сун розпочалося масове виробництво військових порохів. Це були переважно порохові мазі з низьким вмістом нітрогену, що використовувалися для виготовлення палаючих стріл (вогняних стріл)

³ Флюс (лат. *Fluxus* – «потік», «течія») – речовина, що додається до розплавленого металу для видалення його окисів і сторонніх шлаків, чи під час паяння для запобігання окисленню поверхні металу. Залежно від температури плавлення металу, або температури паяння, найчастіше використовують такі флюси: вапняк, силікати, бура, борна кислота, каніфоль.

для луків та вогнепальних бомб (Zheng, 2021). Вогнемети виготовлялися з порожнистих бамбукових або паперових трубок, наповнених сумішшю із запалом (рис. 6). Подібні пристрої використовувалися китайськими піратами аж до XIX ст. (Gray et al., 1982).

拐頭柱一十八條 皮簾八片 皮索一十條 散子木二百五十條 救火大桶二 鐵鈎十八箇 大木檻二箇 界扎索一十條 水灑二箇 拒馬二 麻搭四具 小水桶二隻 唧筒四箇 土布袋一十五條 界棧索一十條 鉄三具 礮一領 鑽三具 火索一十條 右隨砲預備用以蓋覆及防火箭 火藥法	晉州硫黃十四兩 窩黃七兩 焰硝二斤半 麻茹一兩 乾漆一兩 砒黃一兩 定粉一兩 竹茹一兩 黃丹一兩 黃蠟半兩 清油一分 桐油半兩 松脂一十四兩 濃油一分 右以晉州硫黃窩黃焰硝同搗羅砒黃定粉黃丹同 研乾漆搗為末竹茹麻茹即微炒為碎末黃蠟松脂 清油桐油濃油同熬成膏入前藥末旋旋和勻以紙 五重裹衣以麻縛定更別鎔松脂傳之以砲放復有
--	---

Рис. 5. Сторінка з формулою пороху з манускрипту Wujing Zongyao (Holmes, 2023)



Рис. 6. Схема раннього китайського вогнемету і бойове застосування

Знадобилося три століття розвитку від простого вогнемета до гармати. У 1232 р. в Кай-Фунг-Фу, столиці династії Чонг, захисники міста використовували пристрої «Ху дунь пао» (рис. 7), щоб прорвати облогу монголів. З описів дії пристрою можна зробити висновок, що це, можливо, був перший вибуховий пристрій у світі. Після свого відкриття порох досить повільно поширювався світом, оскільки китайці, усвідомивши важливість «чорного пилу», зберігали його як секретну зброю (Horváth & Szatai, 2020).

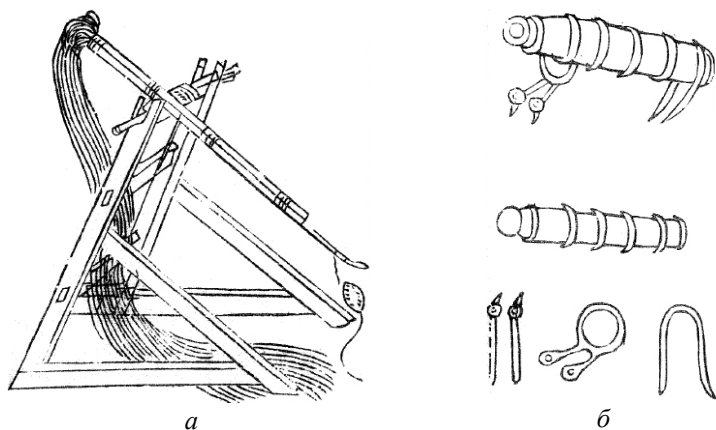


Рис. 7. Ракетна зброя у вигляді: *а* – требшету; *б* – розібраної гармати

Рукопис грецького монаха Марка Грега «Книга вогнів», написаний наприкінці IX ст., містить опис рецепту димного пороху, який складається із 60 % селітри, 20 % сірки та 20 % вугілля.

До Європи чорний порох привіз англійський монах Роберт Бекон, який у 1240 р. презентував його дію та стратегічне значення Папі Римському. У 1242 р. у своїй книзі «Liber de Nullitate Magiae» Бекон наводить точний рецепт «димного пороху» для феєрверків та стверджує, що багато речей, які вважаються магичними, насправді цілком природні. Він подав рецепт чорного пороху шляхом змішування 40 % нітрату калію, 30 % вуглецю і 30 % сірки.

Вважається, що роком пізніше монголи застосували його проти європейців під час битви на Легницькому полі (9 квітня 1241 р.) та на річці Шайо (11 квітня 1241 р.).

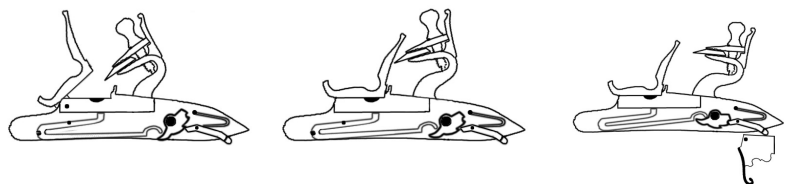
Чорний порох з'явився на Близькому Сході приблизно в той же час, коли й в Європі. Невідомо, чи ідея була «запозичена» з Китаю, чи розроблена самостійно, але, згідно з певними даними, мусульмани використовували цю суміш ще в XIII столітті. Використання чорного пороху у вибухових пристроях виявилось вигідним для військ, але в цей період не набуло значного поширення. Ймовірно, це може бути пов'язано з умовами, необхідними для зберігання пороху, який ставав вологим і непридатним при зберіганні в недостатньо сухих умовах.

Використання пороху дозволило замінити та пришвидшити звичайний підпал дерев'яних підпор у тунелях на миттєвий вибух. Уперше цей метод застосовано флорентійцями під час облоги Пізи в 1403 р., коли таким вибухом в тунелі підкопу зруйновано частину стіни фортеці (Jones, 2010).

У XV ст., крім використання у вогнепальній зброї, чорний порох застосовували в тунелях і шахтах, викопаних у землі, з метою руйнування укріплень противника. Країни з розгалуженою гірничодобувною промисловістю мали значну перевагу в тунельних війнах. Зокрема, англійські та німецькі шахтарі працювали над тим, щоб вивести створення саперних тунелів у форму мистецтва, і часто приєднувалися до спеціалізованих інженерних компаній найманців. Поява пороху в європейських військах мала два значних наслідки для тунельної війни. По-перше, це створило життєздатний альтернативний спосіб швидко припинити облогу через руйнування укріплень, оскільки муровані стіни не могли довго витримувати силу прямого артилерійського вогню. Звичайно, нападникам усе ще потрібно було підвести свою артилерію до стін, де захисники зазвичай встановлювали великі гармати, які могли відкрити вогонь у відповідь. Процес встановлення артилерії на позицію для ведення вогню по стінах недовзі вимагав значних обсягів риття та тривалого маневрування, що могло бути таким же самим повільним і дорогим, як процес мінування під стінами. Другим важливим ефектом пороху для цього стилю війни було збільшення руйнівної сили саперних тунелів. Замість того, щоб спалювати деревину, поставлену для підтримки стін, обложник міг натомість викопати камеру під стіною та наповнити її порошком. Вибух за допомогою цього методу міг рознести на

частини величезні ділянки ворожої стіни, хоча він часто мав побічний ефект одночасного руйнування і самого тунелю. Порох означав кінець масивного, імпозантного замку, але це не забезпечувало однозначної переваги нападнику.

Винайдення кремневого замка (рис. 8) для рушниць в 1547 р. призвело до появи в 1573 р. у Європі першої справжньої протипіхотної міни («fladdermine»). Вона приводилася в дію майбутньою жертвою (противником), який під час руху зачіпав тонку нитку, прив'язану до спускового гачка зведеного кремнієвого замка, який направляв іскри до порохового заряду (масою близько фунта). Фладдермани боялися вологості й потребували вмілого обслуговування. Їх використовували в основному довкола укріплень (Bom et al., 2008).



Кременевий замок: курок
спущений, полиця
відкрита

Курок на запобіжному
зводі, полиця заряджена

Курок на бойовому зводі.
Замок готовий до
стрільби

Рис. 8. Принцип роботи кременевого замка

Перше у світі використання чорного пороху як промислової вибухової речовини відбулося в Сельмецбанья (Словаччина), у 1627 р., шахтарем Гаспаром Вейндлем для злому стінки шахти.

У XVI ст. на полі бою з'явилися нові типи бойової вогнепальної зброї, тоді як типове використання чорного пороху у вибухових пристроях обмежувалося мінами, захованими під землею. Першу осколковою міну контрольованої дії на полі бою застосував Франсуа де Флері, інженер Джорджа Вашингтона, на березі річки Делавер у Нью-Джерсі в жовтні 1777 р. Міна складалася з вибухового матеріалу, вкопаного в землю, і каміння, розміщеного над або поруч із зарядом, щоб діяти як шрапнель (рис. 9) (Horváth & Szatai, 2020).

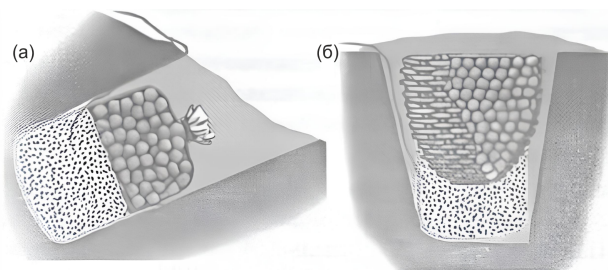


Рис. 9. Направлена осколкова міна кінця XVIII ст.:

а – похилий тип; б – вертикальний

Пізніше метод отримав подальший розвиток і використовувався для захисту постійних укріплень шляхом зупинки атакуючого ворога. Його робота нагадувала закопану в землю гармату. Діжку закопували горизонтально в землю на схилі пагорба, як правило, поблизу входу в укріплення або поблизу вразливих місць. Трубка наповнювалася порохом і осколковим матеріалом (шматками каменю, заліза та плитки). Вона використовувалася як міна з дистанційним керуванням і підривалася за допомогою запалу. Так було досягнуто ефекту, подібного до ефекту сучасних мін Клеймор. Пізніше ці пристрої використовувалися як міни, що приводилися в дію тиском або тягою. Шрапнелі мінам, виготовленим із використанням підручних матеріалів, згодом віддавали перевагу парамілітарні формування, які не мали значних ресурсів, такі як В'єтконг, центральноамериканські партизани чи боснійські повстанці під час Югославської війни (Croll, 1998).

До 1822 р. процеси виробництва пороху були вдосконалені й використовуються досі. Протягом XIX ст. видано багато посібників із рецептурою та перевіркою виготовленого пороху. Один із найперших написано Фредеріком Дрейсоном у 1830 р. Дрейсон докладно розповідає про підготовку трьох інгредієнтів. Нітрат калію, що імпортувався з Індії, частково очищався і був відомий під назвою «чорної селітри». Його очищали від накипу шляхом кип'ятіння 2 тонн селітри в 270 галонах води, а одержану сіль перекристалізовували. Матеріал перемішували, щоб утворена селітра набула форми дрібного борошна. Втрати через домішки у

цьому процесі становили 20%. Деревину обвуглювали у спеціальних циліндрах, попередньо очищаючи від кори, та нарізали на шматки довжиною 3 фути 4 дюйми. Циліндри поміщали в піч і нагрівали протягом 8 год, після чого деревне вугілля залишали на ніч у циліндрах для охолодження. Один набір із трьох циліндрів був здатний виробляти деревне вугілля у кількості 2500 барелів порошу на рік. Придатними породами для деревного вугілля була вільха верба або кизил. Сірку очищали за допомогою процесу дистиляції шляхом нагрівання 6 центнерів грубої сірки в чавунному посуді в печі (Gray et al., 1982).

З розробкою нових хімічних вибухових речовин і палив наприкінці XIX ст. використання порошу почало скорочуватися. У використанні порошу було кілька недоліків, які в кінцевому підсумку призвели до його «старіння». Зокрема, його гігроскопічні властивості зробили його чутливим до вологи, що знизило ефективність. Дим, який утворювався від горіння порошу, видавав позицію солдатів на полі бою, відкриваючи їх для ворога. Ці проблеми обмежували ефективність порошу як зброї війни та як інструменту для цивільних проєктів.

У відповідь на ці обмеження наприкінці XIX ст. хіміки розробили нітрогліцерин, нітроцелюлозу і бездимні порохи. Ці матеріали поступово витіснили порох як вибухівку та паливо. Вони були потужнішими, безпечнішими у виробництві та транспортуванні та викликали ефективніше хімічну реакцію. В результаті цих альтернатив виробництво та використання порошу різко впало (Holmes, 2023).

1.3. Еволюція розвитку мінної справи

У Європі XVII ст. підземно-мінній війні відводили величезне значення. Один із видатних полководців того часу, маршал Франції Себастьян Ле Претр де Вобан (1633-1707) у своїй праці про мистецтво облоги міцності присвятив їй кілька глав. Ним побудовано 33 нові фортеці, модернізовано понад 300 старих фортець і керовано облогою 53 фортець. Військові енциклопедії прямо називають Вобана «одним із основоположників мінно-підривної справи».

Амбіції Вобана настільки випереджали свій час, що їх було неможливо реалізувати. У 1672 та 1675 рр. Вобан просив військового міністра Лувуа дозволити йому створити «бригади» з підготовлених саперів, артилеристів, мінерів та артилеристів. Вони допомогли б інженерам керувати облоговими спорудами та польовими укріпленнями, а також загалом поширювати доктрину справжньої інженерії в армії. Він повернувся до цієї теми у 1684 р., скаржачись, що «наразі мені доводиться користуватися набором людей, які були зібрані з різних джерел. Я не знаю їх, а вони не знають і не розуміють мене». Лувуа не міг зрозуміти, що мав на увазі Вобан, коли застосував слово «сапер» до цих дивних змішаних формувань інженерних офіцерів і досвідчених рядових солдатів. Це була своєрідна організація, яка міцно утвердилася в Європі лише в XIX столітті. Вобан задовольнився тим, що зміг заснувати першу постійну роту французьких шахтарів у 1679 р. (Duffy, 2015).

Тематика мінної війни стала предметом важливих експериментів у 1685-1686 рр. Ламоттом у Валансьєні було розроблено таблиці зарядів і розмірів кратерів, що утворюються в результаті вибухів. На жаль, Вобан дійшов хибного висновку, що жоден заряд, яким би важким він не був, не здатний створити вдвічі більшу за діаметром воронку, ніж глибина залягання заряду. Тому розвиток мінної війни було загальмовано, поки Белідор не винайшов «кулю стиснення», тобто міну з надлишковим зарядом, у середині XVIII століття.

Метод, відомий як «куля стиснення», було застосовано французьким командиром Симоном Деодатом Лефевром під час облоги форту Яворницького у Свідниці. Він полягав у використанні великої кількості зеленого пороху, закопаного глибоко під землею. Після загоряння оборонні споруди на великій площі було знищено, а вцілілі деморалізовані члени австрійського гарнізону швидко здалися в полон (Eysymontt, 2019).

Використання рекомендацій, наведених у працях Вобана, практично зводило нанівець користь від копання мінних галерей під час наступу на фортеці. Ним уперше розроблено термінологію мінної справи, класифіковано міни за кількома категоріями,

перетворено підземно-мінну справу з емпіричного мистецтва в науково обґрунтовану професію.

Вобан у своїй праці вперше описав метод розрахунку величини заряду пороха та його розміщення, обґрунтований інженерними характеристиками підривної міцності та бажаного ефекту.

Названо міни залежно від глибини і величини заряду пороха:

- 1) для глибини до 3 м – «*фугас*» або «*контактна міна*»;
- 2) для глибини понад 3 м – «*міна*»;
- 3) застосування проти ворожої міни – «*camouflet*» (камуфлет);
- 4) застосування для підсилення чи повного знищення (з використанням 2500 кг пороху і більше) – «*pressure balls*» або «*globes de compression*» (сфера тиску або сфера стиснення).

За таблицями Вобана, заряд пороху міг досягати до 12200 кг. Ціль підриву мін полягала не тільки у руйнуванні, але й викиданні каміння і ґрунту таким способом, щоб у сформованій порожнині утворився пролом для входу штурмових підрозділів. Вибухи мін зазвичай були раптовими для оборонців і призводили до паніки серед них.

У XIX ст. зброю з кременними замками витісняють рушниці та пістолі з ударно-капсульним механізмом, у якому постріл здійснювався завдяки хімічній вибуховій речовині на основі гримучої ртуті. Повільне горіння затравного пороху на крем'яному замку спричинювало затримку пострілу. За розв'язання цієї задачі взявся Александр Джон Форсайт, який ще й любив мисливство. Форсайт запатентував ідею використання легкозаймистих від удару сумішей (порохів) як затравних і запропонував кілька схем її використання в артилерії та ручній вогнепальній зброї (Williams, 2009).

Такий механізм був простішим, дешевшим та надійнішим і знайшов своє практичне застосування (рис. 10). Багато хто намагався використати гримучі суміші для затравки до дати патенту, тому потім виникали численні судові процеси. Суддя Еббот в одному із засідань прийняв ключове рішення для всього подальшого патентного права: «Якщо кілька осіб одночасно відкрили одне й те саме, то сторона, яка першою повідомила про це громадськість, стає законним винахідником і отримує право на захист письмовим патентом».

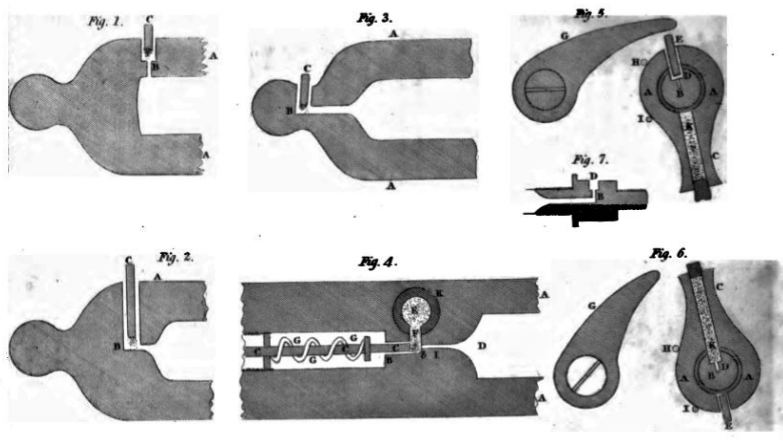


Рис. 10. Ілюстрація з патенту Форсайту № 3032 від 11.04.1807 р.

5 червня 1811 р. Павел Львович Шилінг запропонував випробувати проходження електричного струму по дротах, прокладених у воді. Так з'явилися перші розробки підводних та підземних кабелів зв'язку, в яких використовувалася мідна жила, покрита шовковою ізоляцією, просоченою розчином каучуку в лляній олії.

Результати випробувань ліній зв'язку для телеграфу підштовхнули Шилінга до думки про можливість використання електричного струму для запалювання на відстані великих порохових зарядів – фугасів, що використовуються саперами. Вперше ця ідея сформульована ним 8 квітня 1812 р., і відтоді починається її практична реалізація. До прикладу, американці застосували підрив мін електрикою лише через 18 років, а англійці через 26 років.

Згодом, одержавши досвід у військових діях, Шилінг перестав вбачати у винайденому напередодні електричному запалі тільки засіб для реалізації підводних вибухів. Розуміння, що електричні міни кардинально змінять усю тактику облогових і оборонних дій армії, а також задоволення від промислової цінності підриву попереднього винаходу для гірничої справи мотивувало Шилінга активно займатися цим напрямком. У 1827 р. на полігоні саперного батальйону відбулося успішне випробування електричної міни. Застосування електричного запалу забезпечувало надійніший підрив мін і усувало необхідність виконання значних об'ємів

земляних робіт, заощаджувало час та витрати пороху, підвищувало безпеку саперних робіт. Випробування 1832 р. відкрили блискучі перспективи розвитку мінної техніки на основі гальванічного способу активації пороху, спроможному витіснити всі інші вогнеприводи в найближчому майбутньому.

Успіхи полігонних випробувань саперних електричних мін сприяли реалізації давньої ідеї Шилінга про підводну міну. Начальник інженерів гвардійського корпусу генерал-майор К. А. Шильдер намагався перетворити підводну міну в активну зброю, встановивши її на підводний човен. Хоча в 1832 р. підводного човна ніде у світі не існувало, К. А. Шильдер прийнявся за його безпосереднє створення, і до 1834 р. був готовий прототип.

До носової частини човна, озброєного шістьма електричними ракетними фугасами, було прикріплено бушприт завдовжки до 4 м і завтовшки близько 13 см із кінцем, окутим залізом (рис. 11). На нього вільно надягали металеву муфту, до передньої частини якої прикріплювався загострений залізний наконечник. До муфти кріпилася електрична міна, що містила 16 кг димного пороху, запал якої з'єднувався електричним шнуром із батареєю, що перебувала в підводному човні. Під час атаки підводний човен прямував до ворожого судна, з розгону встромляючи в підводну частину його борту бушприт, потім давав задній хід, залишаючи біля борту ворога встромлену вістря наконечника муфту з підвішеною на ній міною. Розмотуючи запас електричного дроту, підводний човен повинен був відійти на безпечну відстань і, підірвавши міну-торпеду, завдати цьому кораблю поразки. Ідея застосування підводного човна, як і ряд подібних мінних винаходів були новаторськими, значно випередивши світові технічні тренди. Проте відсутність двигунів та недосконалість ряду засобів загальмували широке озброєння підводними мінами флоту.

1840 р. Борис Семенович Якобі створив перший з'єднувальний пристрій, що автоматично замикав ланцюг живлення запалу під час зіткнення міни з корпусом корабля. Гальваноударна міна згодом знайшла широке застосування в армії, дозволивши вперше створити польові мінні загородження на великих площах.

Швейцарський хімік Крістіан Фрідріх Шенбайн у 1846 р. здійснив революцію у світі вибухових речовин. Більше прославившись

своїм відкриттям озону, Шенбейн написав вченим усього світу, що йому вдалося перетворити бавовну на матеріал, руйнівніший за порох. Трохи згодом цей матеріал хіміки назвуть нітроцелюлозою (Sachs, 2024).

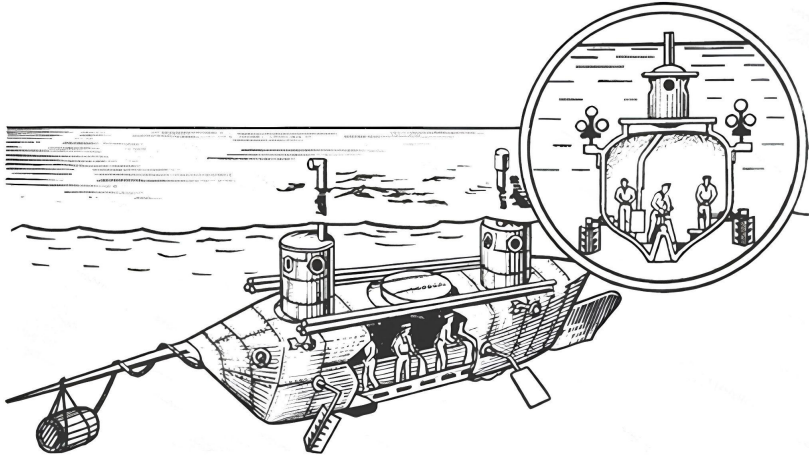


Рис. 11. Підводний човен Шильдера

У 1847 р. італієць Асканіо Собреро проводив дослід з гліце-рином, який додавав до суміші концентрованої азотної та сірчаної кислот. У результаті він відкрив нітрогліцерин, зі значно кращими властивостями, ніж піроксен, який в основному використовувався як паливо для снарядів. Нітрогліцерин знайшов застосування в гірничій справі, але пізніше його використання призупинили через надмірну чутливість. Саме Альфред Нобель продовжив дослідження властивостей нітрогліцерину та його безпечного виробництва. Шляхом експериментів було доведено, що властивості нітрогліцерину, змішаного з діатомітом, абсолютно не змінилися, а його чутливість значно знизилася. У результаті випробувань створено новий, стійкий до використання матеріал, а в 1866 р. – динаміт (Katha, 1999). 7 травня 1867 р. «динаміт, або вибуховий порошок Нобеля» запатентовано в Англії, потім у Швеції, Росії, Німеччині та інших країнах.

Друга половина XIX ст. також принесла значні зміни в розробці вибухових матеріалів для військового використання. У

1885 р. було винайдено пікринову кислоту, а експерименти з вибухом проводилися з тринітротолуолом, що призвело до патентування тротилу на рубежі століть. Використання нових матеріалів як зарядів для вибухових пристроїв зробило революцію у виробництві боєприпасів, їх використовували переважно у великокаліберних артилерійських гранатах. Однак у центрі уваги методики виявлення вибухових пристроїв і надалі був пошук мін, закладених нижче рівня землі (Horváth & Szatai, 2020).

У 1873 р. німецький винахідник Шпренгель придумав спосіб підривання (за допомогою детонатора) вибухової речовини, відкритої ще в 1771 р. як барвник, – пікринової кислоти (або тринітрофенолу). Це чудовий приклад того, як легко можна помилитися при створенні того чи іншого засобу (машини, механізму) лише на тій підставі, що всі вихідні дані здаються відомими.

Але на той час у пікринової кислоти вже з'явився серйозний конкурент, який досить швидко потіснив її позиції у військовій справі. Ним виявився тринітротолуол, уперше одержаний німецьким хіміком Юліусом Вільбрандом ще 1863 р. і застосований як вибухова речовина в німецьких артилерійських снарядах лише в 1902 р. (Smith et al., 2015). Роботи з його освоєння пов'язані з ім'ям німецького інженера хімічної промисловості Генріха Каста. Саме Каст 1905 р. отримав перші 100 тонн нової вибухівки, яку одразу засекретили й випускали під нейтральною назвою «тротил» «Fr. 02» (Fullpulver 02) як замітник пікринової кислоти. Але вже наступного року таємницю тротилу розшифрував російський офіцер-артилерист, капітан В. І. Рдултовський. 1891 р. в Англії розробили бездимний порох марки «*кордіт*», що був сумішшю 58 % нітрогліцерину, 38 % пороху і 4 % мінерального пластифікатора-сповільнювача (Махім, 1898). Він зробив справжню революцію у військовій справі й повсюдно застосовується досі.

Починаючи з 1885 р., французький учений П. А. Фав'є на основі аміачної селітри створив різні вибухові вироби, названі ним амонітами і динамонами.

У період 1890-1900-х рр. пікринову кислоту стали виробляти в різних країнах світу під різними назвами: «*ліддит*» (в Англії), «*мелініт*» (у Франції та росії), «*пертит*» (в Італії), «*шимоза*» (в Японії) та ін.

Вибухова речовина, щоб бути придатною для начинки снарядів, повинна володіти особливими властивостями, які не є необхідними для цивільного використання. По-перше, вона повинна мати велику потужність, тобто давати багато газу і тепла. По-друге, має бути досить нечутливою, щоб витримати сильний удар при пострілі і навіть удар об броню, не детонуючи до спрацювання запобіжника. По-третє, від неї очікується висока швидкість детонації та великий осколковий ефект. Нарешті, вибухівка повинна вибухнути повністю і з упевненістю, коли це потрібно, під дією детонатора, який сам по собі не надто чутливий, щоб витримати шок від пострілу.

Ці умови виключають усі нітрогліцеринові та хлоратні вибухові речовини, які надто чутливі, а також клас нітрату амонію (наприклад, амонал), який надто нечутливий і потребує детонатора з вогнепровідним зарядом. Великі фульмінантні детонатори в снарядах небезпечні й можуть призвести до передчасної детонації, хоча вони і використовувалися (Young, 2016).

Незважаючи на наявність усіх передумов та компонентів для використання мін у збройних конфліктах, їх масове використання було відкладене аж до початку Другої світової війни.

1.4. Особливості використання мін у сучасних військових конфліктах

Сучасні вибухові наземні міни широко розроблялися і масово застосовувалися під час *Громадянської війни в США (1860-1865)*, перші жертви від яких були зафіксовані 4 травня 1862 р. Під час розвідки дорогою до Йорктауна вершник, зачепивши дріт, активував одну з найдавніших протипіхотних мін фугасної дії. Після того, як його війська масштабно зіткнулися із цими пристроями, командувач армією Союзу генерал Вільям Т. Шерман сказав, що використання наземних мін «було не війною, а вбивством». Використання мін було або вимушеним, або випадковим, і до нього вдавалися тоді, коли не знаходили іншого способу зупинити противника. Цікаво, що бригадний генерал, який установив перші міни під час цієї війни, пізніше вважав їх «варварськими» і заборонив їх подальше використання (Rutherford,

Ken Ph.D., 2020). Лише з 1864 р., наземні міни стали по-справжньому надійними (рис. 12) та справляли запланований смертельний ефект. Солдатам Конфедерації, відповідальним за їх удосконалення, Ісааку Брауну та Метью Морі, також приписують установаку першої протипіхотної міни з електричним запуском влітку 1861 р. поблизу Колумбуса, штат Кентуккі (Croll, 1998).



Рис. 12. 32-фунтова міна, армія Конфедерації, громадянська війна в США, музей державного парку Форт-Макалістер (Джорджія), 1864 рік

На стратегічному рівні війни Конфедеративні Штати Америки (КША) вели війну, перебуваючи в не вигідному положенні. Союзні Штати володіли більшою промисловою базою для ведення війни й більшими мобілізаційними ресурсами для поповнення армії. На противагу цьому, армія Конфедерації була чисельно переважаючою та потребувала засобів для збереження сил. Наземні міни були спробою досягти економії сил і зміцнення власної оборони.

Там, де не було великих формувань КША, наземні міни були спробою компенсувати різницю та збалансувати співвідношення сил. Мінні поля КША, такі як у Колумбусі, розроблялися для знищення цілих полків невеликими силами. Військові підрозділи КША почали експериментувати із заготовуванням боєприпасів, потім командувати їх підризом, а згодом і протипіхотних мін.

Перша світова війна мала дуже обмежене застосування наземних мін, за винятком тих, що встановлювалися разом із мінами-пастками на покинутих позиціях в очікуванні наступу.

Ключовою подією в розвитку мінних озброєнь став прорив позицій німців на р. Сомма 15 вересня 1916 р. із використанням 32 британських танків (рис. 13). Лінію фронту на відрізок 5 км вдалося прорвати на глибину до 40 км, що й зрушило позиційну окопну війну. Засоби протистояння новій зброї були відсутні. Кулемети проти броні виявилися безсилими, звичайні польові

гармати ефективно боротися з танками не могли, а розробка спеціальних протитанкових гармат із високою початковою швидкістю снаряду потребувала часу (Greenhalgh, 2000).

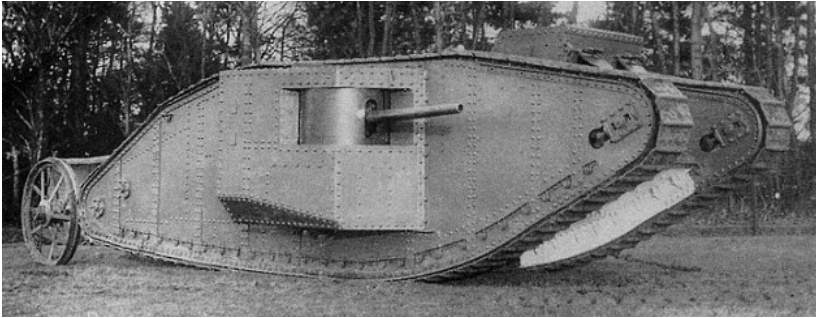


Рис. 13. Британський танк Mark I

Єдиним ефективним засобом знешкодження танків виявилися міни. Спочатку німці просто закопували артилерійські снаряди вертикально, а підривач залишали над поверхнею землі. Вага танку здійснювала натиск, ініціюючи підривник та подальший вибух (рис. 14). Випуск протитанкових мін Німеччиною розпочато практично негайно, в грудні 1916 р. Оціночні післявоєнні втрати танків на мінах суттєві – 15-28 %.

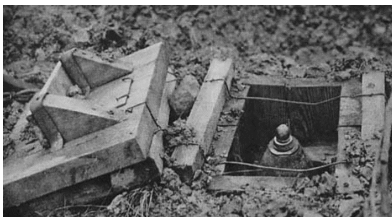


Рис. 14. Перша німецька протитанкова міна

Успіхи німецьких мін спонукали союзні війська шукати засоби подолання мінних загороджень. У 1918 р. на базі танку «Mark V» створено танк-тральщик, який попереду себе штовхав кілька важких катків діаметром 60 см кожен, нанизаних на єдину вісь та прикріплених до корпусу танку.

Союзники розуміли, що поява німецьких танків є лише питанням часу, тому вжили заходів по розробці протитанкових мін.

Було розроблено три дослідних зразки: перший із використанням обрізку труби; другий із артилерійського снаряду, а третій у вигляді ящика розміром $46 \times 36 \times 20$ см та вмістом 6,35 кг піроксиліну. В останньому випадку міна приводиться в дію за рахунок опускання шарнірно закріпленої кришки (рис. 15), яка використовувала натискання важелю, пов'язаного з детонатором.

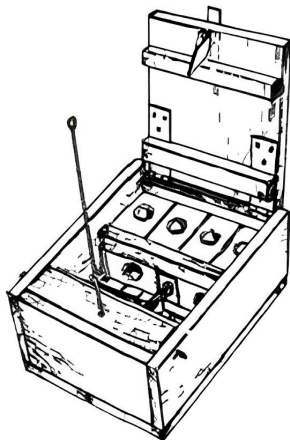


Рис. 15. Британська протитанкова міна. Тонкий стрижень, що стирчить вгору, – це безпечна шпилька, яку витягали з міни після установки

У всіх перших протитанкових мін зусилля потрібне для вибуху, не перевищувало 45-50 кг, що в поодиноких випадках призводило до їх вибуху від наступання ногою. Подібні випадки серед істориків сформували хибну думку, що протипіхотні міни з'явилися для захисту протитанкових.

Британці першими застосували хімічні міни в 1917 р., які були підіривними фугасами сповільненої дії та містили іприт (гірчичний газ), щоб запобігти використанню підземних споруд противником. Після завершення Першої світової війни ініціативи розвитку мінної справи зустрічали скептицизм. Перспективи вбачалися в подальшому розвитку танків, літаків та ін.

У серпні 1929 р. в Німеччині прийнято програму розвитку мінних озброєнь. За нею планувалося створити річкову міну, вогневий фугас, радіопідривач та спеціальний міноукладач. В цьому ж році створено потужний та досконалий зразок протитанкової міни,

прийнятий на озброєння Рейхсвером за назвою «Tellermine 29» (T-Mine 29 або T.Mi.29).

Ці міни містили ряд недоліків, зокрема три підривачі, що сповільнювало час встановлення, а тому їх замінили в 1935 р. більш досконалим варіантом «Tellermine 35» (T.Mi. 35). Одночасно розпочалася розробка протипіхотної осколочної міни кругового ураження «Sprengmine 35» (S-Mine 35 або S.Mi.35). До початку Другої світової війни німецький Вермахт підготувався з одним зразком протитанкової міни в двох модифікаціях та одним зразком протипіхотної (натискної та натяжної дії), і з легкою протитанковою міною le.Pz.Mi для повітряно-десантних військ.

Англійська компанія «Віккерс-Армстронг» самостійно в 1928 р. розробила протитанкову міну АТМ (рис. 16), більш досконалу, ніж зразок 1918 р. Корпус міни зі сталі з вмістом 5,2 кг тротилу і приведенням в дію натисканням кнопки на вершині. Однак кошти на її серійне виробництво не виділили.



Рис. 16. Британська протитанкова міна АТМ (1928)

Тільки 1935 р. на озброєння британської армії прийнято протитанкову міну натискної дії Mark I, що мала заряд вибухівки всього 1,3 кг, та й то її випустили обмеженою партією. Під впливом загрози майбутньої війни 1935 р. проведено перші військові навчання з відбиття атаки танків, але запропонований норматив щодо прикриття лінії оборони дивізії протитанковими мінами в кількості 5-6 тис. шт. зустрів скептичне ставлення.

Під час цих навчань було вироблено три стандарти протитанкових мінних полів:

- 1) 1500 мін на 914 м (тисячу ярдів) з імовірністю ураження 100%;
- 2) 1000 мін на 914 м з імовірністю ураження 80%;
- 3) 700 мін на 914 м з імовірністю ураження 50%.

Навчання того ж року показали, що протитанкові міни були мінімально ефективними проти танкових атак, і знадобиться

величезна кількість протитанкових мін, які будуть розміщені математично визначеним способом, щоб зупинити танкову атаку.

Але ще 1937 р. британська армія не мала навчальних протитанкових мін, а тому особовий склад не проходив навчання мінування й контрмінної боротьби. Це тим більше дивно, враховуючи той факт, що палестинці активно і з великим успіхом використовували міни проти англійців, починаючи з 1932 р., і що в Палестині британці розробили перший індукційний міношукач.

СРСР у період 1922-1928 рр. опинився у важкому економічному положенні, а тому розвиток мінної зброї не виходив за межі дослідних зразків мін та розробки тактики їх застосування. Однією з перших радянських протитанкових мін для випуску в промислових масштабах стала міна Т-4 із запасом вибухівки 2,8 кг. Проте організація її масового виробництва в заводських умовах не вдалася, і незначну кількість зібрали у військових майстернях вручну. У 1935 р. її замінюють протитанковою міною ТМ-35 (рис. 17).

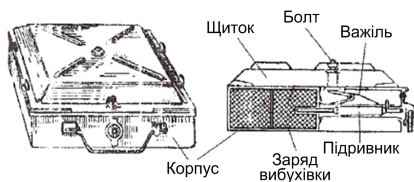


Рис. 17. Протитанкова міна ТМ-35

У довоєнний 1929 р. на озброєння армії СРСР прийнято радіокеровану об'єктну міну Ф-10, підрияд якої відбувався по радіо за допомогою радіосигналу. Дальність спрацювання становила до 600 км, а автономність живлення – 40 діб. Було справлено величезне враження на вище військове керівництво, і їх негайно прийняли на озброєння. Найруйнівнішим стане застосування мін Ф-10 восени 1941 р. у м. Києві.

Окремої уваги заслуговує літаюча кумулятивна міна конструкції генерал-майора Галицького (рис. 18). Її встановлювали поряд із дорогою на відстані до 30 м, а від неї на протилежний бік натягували дріт. Коли танк зачіпав дріт, спрацьовував пороховий ракетний двигун і вона летіла в тонку бортову броню танку. Вибух потужного кумулятивного заряду вражав броню будь-якого танка.

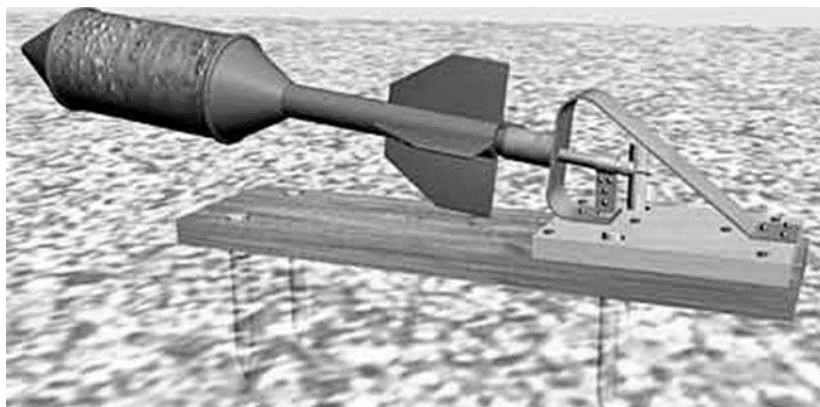


Рис. 18. Протибортова міна ЛМГ

Друга світова війна стала свідком широкомасштабного використання протипіхотних мін у двох районах бойових дій. По-перше, єгипетські та лівійські пустелі були широко заміновані, для чого існувало обмежене маркування. По-друге, Східний фронт в Європі інтенсивно мінувався відступаючими німецькими солдатами, і міни все ще знаходять у Франції, Нідерландах і Словаччині та інших країнах, хоча багато з них протитанкові, а не протипіхотні. За даними американських військових джерел, під час війни було встановлено понад 300 млн протитанкових мін.

До масового виробництва мін британці приступили лише в 1940 р., тобто коли Друга світова війна уже набирала обертів. Не було жодних запасів мін, а війська не навчалися мінування та розмінування, більшість офіцерів мін не бачили, а солдати взагалі нічого про них не знали.

Страх британців перед загрозою вторгнення німців призвів до хаотичного мінування південних берегів Англії, яке тривало до літа 1943 р. Всього було встановлено приблизно 2 тис. мінних полів, із загальною кількістю 350 тис. мін. В основному це були протитанкові міни типів Mk I, Mk II, Mk III, Mk IV, Mk V, а також типу В/С. Міни серії Mk містили слабкий заряд вибухівки (2 кг тротилу) та швидко виходили з ладу через корозію на вологих ґрунтах. Міни типу В/С містили амоніт та були достатньо герметичними з масою заряду 9 кг. Коли хаос імовірного наступу німців вдалося подолати, виникла необхідність зняти частину

мінних полів, а інші перемістити в більш перспективні напрямки. Проте виявилось, що зробити це неможливо, позаяк не існувало методик фіксації мінних полів, а звітна документація не велася. Окрім того, рухомість піску в прибережній смузі призвела до того, що багато мін змістилися з місць закладення.

У схожій з Великобританією ситуації мінна справа перебувала в більшості країн Європи, які покладалися на могутність своїх армій. Французи, створюючи довготривалу лінію укріплень Мажино, повністю знехтували власним мінним досвідом періоду 1914-1918 рр. Французькі солдати навіть не припускали про існування такої зброї, як міни.

Лише після вторгнення німців до Польщі у вересні 1939 р. французькі військові в екстреному порядку організували випуск двох зразків мін (рис. 19), у край недосконалих (Mle 1935, Mle 1936). На момент, коли вони знадобилися, їх запаси стали непридатними до застосування через відсирілу аміачно-селітрову вибухівку.

У США справи з мінною зброєю були подібними. Основний театр бойових дій припадав на протистояння з Японією на Тихоокеанському театрі. У Японії розвиток мінної зброї був дуже слабким, тому США вони там також не знадобилися. Вперше американці серйозно стикаються з мінами в листопаді 1942 р., після висадки північніше м. Касабланки (Марокко) і подальшого наступу на територію Алжиру.

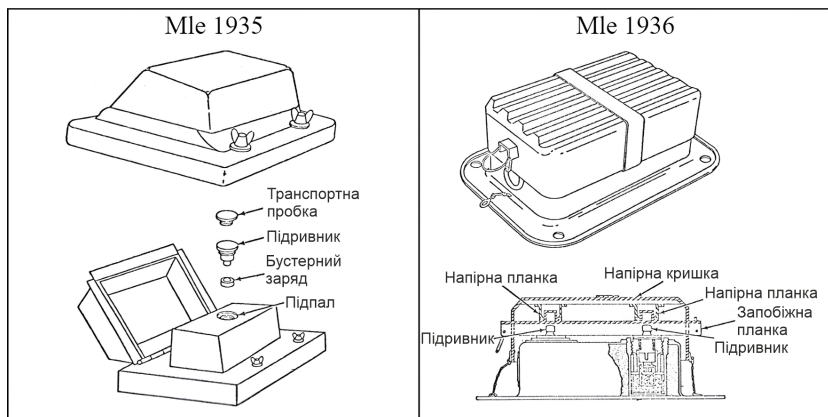


Рис. 19. Французькі міни

У середині 1940-х на озброєння радянської армії потрапила вдала за конструкцією й незадовільна за матеріалом корпусу протипіхотна фугасна міна ПМК-40, корпус якої після війни став пластмасовим, а назва змінилася на ПМН (рис. 20).

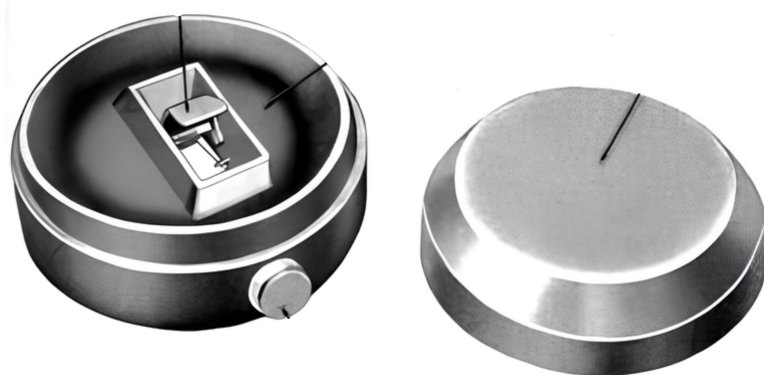


Рис. 20. Протипіхотні фугасні міни ПМК-40 та ПМН

До весни 1941 р. розроблено дерев'яну протипіхотну фугасну міну натискної дії ПМД-6 (рис. 21), однак у військах вона з'явилася пізніше.

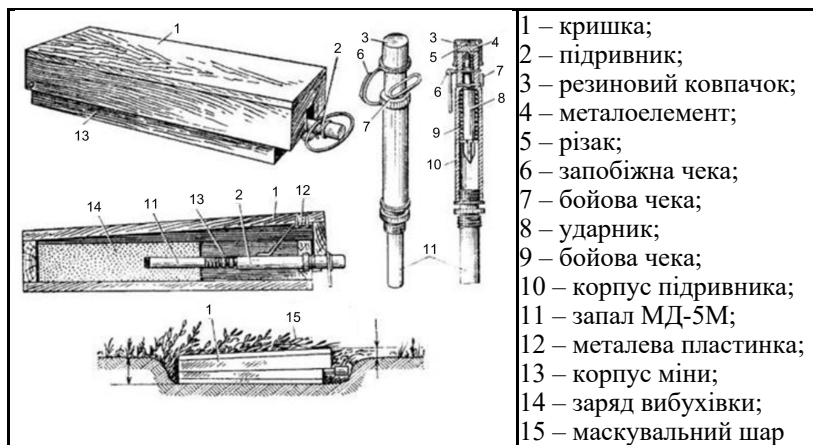


Рис. 21. Будова протипіхотної міни ПМД-6М

Протитанкові міни відіграли вирішальну роль у найбільшій танковій битві (Курській битві), яка стала переломним моментом на Східному фронті Другої світової війни влітку 1943 р. Радянські війська встановили півмільйона протитанкових мін, в середньому 3200 мін на 1 км фронту. Радянська тактика передбачала перезасівання мінних полів, що ускладнювало німецьку атаку. Як тільки мінні поля проривалися, радянські піхотинці закривали пролом новими мінами, спричиняючи численні втрати та ізоляцію окремих груп.

Німці першими в світі створили авіаційну систему дистанційного мінування (рис. 22). Для бомбардувальників Ju-87k розроблено універсальні осколкові мініатюрні бомби «Spreng Dickenwend-2» (SD-2) «Schmetterling». Вони комплектувалися в бомбові касети МК-500 (6 шт.), АВ-23 (23 шт.), АВ-24t (24 шт.), АВ-250 (96 шт.), АВ-250-2 (144 шт.) та мали три варіанти спрацювання: а) при контакті із землею; б) сповільненої дії (5-30 хв); в) при зміні положення на поверхні.

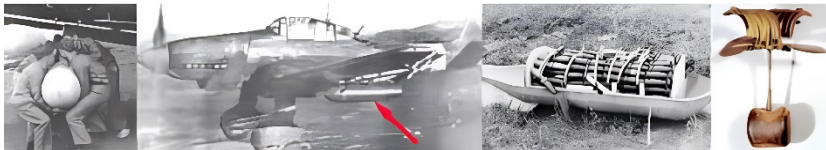


Рис. 22. Процес доставки касетних бомб SD-2

Наприкінці війни промисловість Німеччини відчувала нестачу основних матеріалів та виробничих потужностей, а тому не могла повною мірою задовольняти заявки Вермахту на міни. Тоді було запозичено досвід СРСР, і в німецькій термінології з'явилися допоміжні міни. На відміну від армійських мін, вони були максимально простими та могли виконуватися навіть в дрібних приватних майстернях. З кінця 1944 р. виробництво допоміжних мін почало перевищувати виробництво армійських.

Брак матеріалів призвів практично до припинення виробництва металевих мін на користь різних замінних матеріалів: дерева, скла, кераміки, бетону, пластмас, і навіть відходів інших виробництв, наприклад тирси, змішаної з кам'яновугільною смолою. Проблема нестачі металу згодом повернулася вигодою для німців,

адже їх важко було ідентифікувати звичними методами (рис. 23). Тому як союзники, так і радянські війська почали втрачати на таких мінах більшу кількість особового складу і танків.

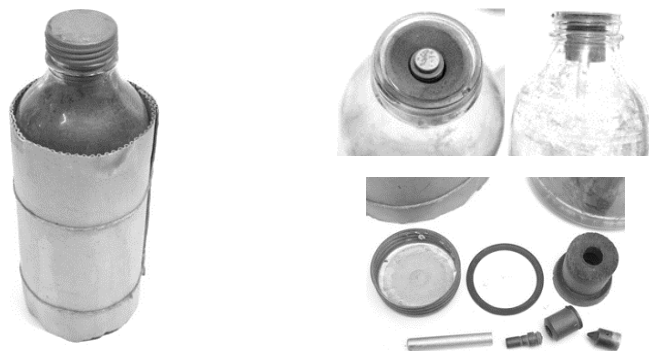


Рис. 23. Німецька ерзац⁴-міна

На початку 1944 р. німецькі конструктори виготовили мінімально металеву протитанкову міну ТМі 4531 (рис. 24). Її корпус складався з пластику, а механічні компоненти – з дерева, скла або бакеліту. Ця міна не була виявлена жодним із союзників до кінця війни.

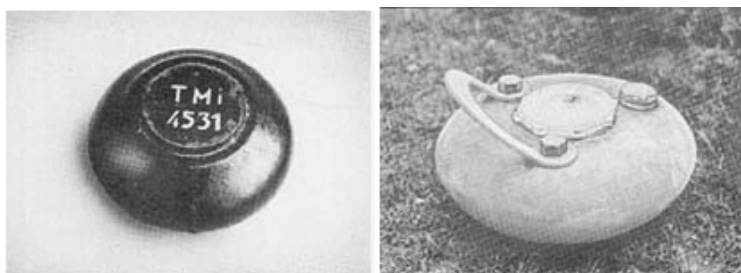


Рис. 24. Міна ТМі 4531

На початку 1960-х рр. США вперше запровадили використання нового та вдосконаленого класу контактних протипіхотних мін, відомих як міни дистанційної доставки або розсіюванні (рис. 25), щоб зупинити потік людей та матеріальних засобів із Північного до Південного В'єтнаму через Лаос і Камбоджу.

⁴ Ерзац (нім. *Ersatz* – замітник) або сурогат – товар-замінник, який зазвичай поступається якістю оригіналу.



a

б

Рис. 25. Системи дистанційної доставки мін:
a – Shielder; *б* – US M139 Volcano

У 1980-х рр. Національний наземний розвідувальний центр США визначив мінімальну металеву міну як таку, що містить 2,46 г металу. Це була кількість металу в детонаторі М606 мінімально металеві міни М-19. Єдиним фрагментом металу була мінімальна частина ударника та алюмінієвого капсуля-детонатора. У деяких мінімально металевих мінах, таких як іспанська Р-4-В, навіть бойок виготовлено із пластику, а єдиним металом є хромована пружина, яка діє як утримуючий пристрій, а капсуль-детонатор із кришкою з фольги для капсуля.

Попри Оттавську конвенцію, протипіхотні міни використовувалися в багатьох війнах, зокрема в таких (Harland, 2008):

- **Корейський конфлікт (1951-1953).** Корейська війна закріпила уроки Другої світової війни щодо наземних мін. На допомогу захисникам прийшли міни. Вони допомагали зривати атаки ворога, сприяли економії сил. Стабільно розміщені на місцевості мінні поля формували поле бою, змушуючи атакуючу силу

вступати в бій там, де цього хотів захисник. Міни все більше і більше ставали частиною наземної війни.

- **Індокитай і В'єтнам (1958-1968).** Міни використовувалися на всіх етапах, але загалом розглядалися як сумнівний засіб. В'єтконгівці мінували маршрути, а потім націлювалися на колони, які опинилися на мінному полі. Звуження місцевості зробили цю тактику дуже ефективною, за допомогою якої набагато менша мобільна сила могла зупинити переважаючу силу. Інженери щодня проводили очищення маршруту на тих самих напрямках, і щодня вони знаходили на ньому наземні міни. Під час цього конфлікту зароджено методи очищення маршрутів, деякі з яких використовуються й сьогодні.

Метод наступального мінування В'єтконгу змінив парадигму використання наземних мін. Американці були змушені витратити ресурси і час: солдатів на розчищення маршрутів і час на розробку контрзаходів. Війна у В'єтнамі показала, що міни можуть бути наступальною зброєю і протистояти найкращим технологіям і живій силі.

- **Індійсько-пакистанські війни (1947-48, 1965, 1971).** Невелика кількість мін використовувалася у війні 1947-48 рр. для захисту об'єктів, тоді як під час тривалої підготовки до війни 1965 р. основні мінні поля було встановлено на рівнинах обома сторонами. Під час війни 1971 р. встановлено малу кількість мін, оскільки місцевість була м'якою прирічковою. Результат цих мінних полів наприкінці конфлікту вважається незначним.

- **Індійсько-китайська війна (1962).** Деякі міни в гірських районах встановлювалися в ході конфлікту. Це спричинило серйозні проблеми, оскільки міни не діяли на снігу і, що ще гірше, вони сповзали зі стрімких схилів, навіть якщо були закріплені. Картографування було складним і неефективним.

- **Південна Африка та сусідні держави (1960-1994).** Міни встановлювалися Силами оборони Південної Африки (SADF) переважно на огорожених і позначених територіях навколо військових таборів і об'єктів. Повстанці встановлювали міни хаотично. Обслуговування мінних полів було складним, оскільки міни зміщувалися під впливом погоди, а тварини часто забрідали на мінні поля, що вимагало видалення трупів із гігієнічних міркувань.

Тому Південна Африка у 1988 р. відмовилася від встановлення 30-кілометрового мінного поля на кордоні з Намібією, оскільки це коштувало б значних ресурсів, а ворог міг обійти перешкоду з флангу за 30 хв.

- **Внутрішні конфлікти на Філіппінах (1945 р. і далі).** Оскільки була потреба мобільності, вважалося, що протитанкові міни не мають великої цінності. Замість цього війська покладалися на точну розвідку, природні особливості місцевості, бар'єри, такі як колючий і спіральний дріт, окопи і траншеї.

- **Арабо-ізраїльські війни (1967 і 1973 рр.).** Обидві сторони встановили багато мін на Синайському півострові. Незважаючи на те, що карти мінних полів були оприлюднені після припинення вогню, обидві сторони зазнали втрат. Масштабне дослідження цих воєн показало, що оборонні мінні поля були ефективними лише тоді, коли за ними наглядали й належно утримували. Так чи інакше, вони були визнані менш корисними для стримування просування ворога, ніж бар'єри, як глибокі, так і високі.

- **Афганістан (з 1979 р.).** Афганістан є однією з найбільш замінованих країн світу, разом із Камбоджею і Анголою. В Афганістані встановлено щонайменше 30 типів мін із шести країн, включно з протипіхотними мінами, скинутими з повітря. Карти були неточними внаслідок «накладання» мін різними сторонами.

- **Ірано-іракська війна (1980-1989).** Обидві сторони вільно використовували міни, особливо сильно постраждала етнічна територія Курдистану. Іноді мінні поля проривалися за допомогою дітей-«мучеників».

- **Боснія і Герцеговина (1992-1995).** Усі сторони встановили мільйони мін, багато з яких були пластиковими. Післявоєнне розмінування виявилось дуже складним завданням. Карти не завжди послідовно відображали актуальний стан справ на місцевості, подекуди через гірський рельєф, що могло спричинити зуви.

- **Ангола (1975-1994).** Як протипіхотні, так і протитанкові міни були встановлені багатьма воюючими сторонами, в тому числі Кубою, Анголою, УНІТА і армією Південної Африки, іноді концентричними колами навколо міст.

- **Камбоджа (1978 –).** Використання мін проти життя і майна цивільного населення було тактикою червоних кхмерів. Території, розміновані пізніше, залишалися замінованими.

- *Ефіопія та Еритрея (1935-1945, 1962-1991, 1998-2000).*

Територія поблизу кордону між Еритреєю та Ефіопією наразі сильно постраждала від мін, встановлених під час війни 1998-2000 рр. Ефіопія тривалий час страждає від проблем, пов'язаних із нерозірваними боєприпасами, а також наземними мінами, і десять з одинадцяти її районів мають ці проблеми (найбільше в Тиграї і Афарі).

Відбулася зміна у військових діях від транскордонних традиційних війн під керівництвом військ (традиційних війн) до війн, зосереджених на місцевих громадах і цивільних (Burkle, 2019). Під час війн Наполеона, як і в інших традиційних війнах, солдати були основною ціллю і становили основну групу втрат. Місцевих цивільних осіб попередили, дозволивши їм покинути свої домівки та сховатися, щоб захистити себе від смертей і поранень (Burkle, 2019). Однак із прогресом у збройній промисловості та змінами у стратегіях та ідеологіях ведення війни протягом останніх десятиліть поля битв перемістилися на задвірки цивільних, роблячи їх більш вразливими та залученими до воєн (Khorram-Manesh, 2016).

Як наслідок, відбулося збільшення кількості загиблих серед цивільного населення з 5% на рубежі XIX століття до 15% під час Першої світової війни, 65% до кінця Другої світової війни і до більш ніж 90% у війнах 1990-х рр., уражаючи більше дітей, ніж солдатів (Burkle, 2019). Протягом цього періоду також відбувалися постійні помилки щодо міжнародного гуманітарного права і Женевської конвенції на користь релігійної та політичної ворожнечі, розвалу державних структур, освоєння дефіциту природних ресурсів, широкої доступності зброї, збільшення кількості терористичних актів і поширення асиметричних конфліктів (Khorram-Manesh et al., 2021).

Конфлікти останніх двадцяти років супроводжувалися постійним поширенням проблем, спричинених боєприпасами, що не вибухнули, і, зокрема, суббоєприпасами касетних бомб, які можуть бути швидко доставлені тисячами, десятками тисяч або навіть мільйонами (рис. 26). Список недавніх конфліктів, у яких використовувалися суббоєприпаси, включає Афганістан, Боснію та Герцеговину, Еритрею та Ефіопію, Фолклендські (Мальвінські) острови, війну в Перській затоці, російську федерацію (Чеченська Республіка) і, зовсім недавно, Косово.



Рис. 26. Принцип роботи кластерної зброї

Сучасні конфлікти включають не тільки поверхнєве (двовимірне) забруднення, але і тривимірне мінування територій. Нещодавні бойові дії в Сирії, Лівії та Ємені відбувалися в основному в міських середовищах, які значно складніші (Lanclos, 2020).

Висновки до розділу 1

Протипіхотні міни спочатку були простими пастками, призначеними для перешкоджання нападнику. Поява порошу суттєво змінила хід війни та його використання в наземних мінах. Ранні пастки адаптували наявні осколкові артилерійські боєприпаси, які можна було підірвати за командою. У такому вигляді міни використовувалися суто для оборони. Під час Громадянської війни в Америці протипіхотні міни забезпечили економію сили для Конфедератів і викликали душевний неспокій для наступаючих армій Союзних Штатів. У Першій світовій війні протипіхотні міни зупиняли союзні танки, мінімізуючи їх ударний ефект. І союзники, і країни ОСІ швидко побачили, що наземні міни можуть принести користь у захисті. У результаті протягом війни використано понад 100 млн мін. Після Другої світової війни міни стали невід'ємною частиною оборони. В'єтнам довів, що протитанкові наземні міни бувають корисними в наступі, на них припадало 70% втрат бронетехніки. Війна Судного дня повторила це, коли спочатку ізраїльські оборонні мінні поля вийшли з ладу, а потім

швидко перетворилися на наступальну зброю. Під час останнього великомасштабного конфлікту, війни в Перській затоці, мінні поля були легко пробиті.

Еволюція наземних мін показує, як і чому наземні міни стали невід'ємною частиною наземної війни та як технологія змінена функціональність наземних мін. Міни формують поле бою, розбиваючи наступаючі формування ворога, і затримують його просування. Однозначно встановлено, що вміле масове застосування мін забезпечує стійкість оборони, а в наступі – надійне прикриття флангів, сприяє зриву контрударів супротивника. Було доведено, що ефективність мін зростає багаторазово, якщо мінні поля поєднуються з вогнем протитанкових засобів. Стало цілком очевидно, що міни варто застосовувати масово, окремі міни (групи мін) неефективні.

Друга світова війна – період розквіту мінної зброї. Апробовано та перевірено можливі варіанти конструкцій мін, підривачів, датчиків цілей, матеріалів корпусів мін, розроблено методики їх масового виробництва. Під час боїв з'явилася тактика мінної війни, яка визначила оперативно-тактичні нормативи мінних полів.

Література

Bom, V., Osman, A. M., & Monem, A. M. A. (2008). A novel scanning land mine detector based on the technique of neutron back scattering imaging. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 55(2), 741–747. <https://doi.org/10.1109/tns.2008.918741>

Burkle, F. M. (2019). Revisiting the Battle of Solferino: The worsening plight of civilian casualties in war and conflict. *Disaster Medicine and Public Health* Preparedness, 13(5–6), 837–841. <https://doi.org/10.1017/dmp.2019.77>

Croll, M. (1998). The history of landmines. Leo Cooper Books.

Desch, C. H. (1933). The origin of bronze. *Transactions – Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology/Transactions of the Newcomen Society*, 14(1), 95–102. <https://doi.org/10.1179/tns.1933.007>

Duffy, C. (2015). The Fortress in the age of Vauban and Frederick the Great 1660-1789. In Routledge eBooks. <https://doi.org/10.4324/9781315684246>

Eysymontt, R. (2019). City Fortresses in Central Europe – Selected Examples, in: *Political Functions of Urban Spaces and Town Types through the Ages*, ed. R. Czaja et al., Böhlau Verlag, Cracow–Toruń–Vienna 2019, pp. 435–461.

Gray, E., Marsh, H., & McLaren, M. (1982). A short history of gunpowder and the role of charcoal in its manufacture. *Journal of Materials Science*, 17(12), 3385–3400. <https://doi.org/10.1007/bf00752183>

Greenhalgh, E. (2000). Technology development in coalition: the case of the First World War tank. *The International History Review / International History Review*, 22(4), 806–836. <https://doi.org/10.1080/07075332.2000.9640917>

Harding, A. F. (2011). The bronze Age. In *Interdisciplinary Contributions to Archaeology/Interdisciplinary contributions to archaeology* (pp. 327–403). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6633-9_10

Harland, C. (2008). Anti-Personnel Landmines: Balancing Military Utility and the Humanitarian Cost. *Centre for Land Warfare Studies Journal*, 236-248.

Haw, S. G. (2013). The Mongol Empire – the first ‘gunpowder empire’? *Journal of the Royal Asiatic Society*, 23(3), 441–469. <https://doi.org/10.1017/s1356186313000369>

Holmes, R. C. L. (2023, October 24). History of Gunpowder: An In-Depth Overview. *The Collector*. www.thecollector.com/history-of-gunpowder/

Horváth, T., & Szatai, J. Z. (2020). A History of Detection of Explosive Devices I. (700-1950). *Revista Academiei Fortelor Terestre*, 25(3), 189–200. <https://doi.org/10.2478/raft-2020-0023>

Jones, S. (2010). *Underground Warfare 1914-1918*.

Katha, S. S. (1999). Alfred Nobel's unusual creativity: an analysis. *Medical Hypotheses*, 53(4), 338–344. <https://doi.org/10.1054/mehy.1998.0777>

Khorram-Manesh, A. (2016). Europe on fire; medical management of terror attacks-new era and new considerations. *Bulletin of Emergency & Trauma*, 4(4), 183

Khorram-Manesh, A., Burkle, F. M., Goniewicz, K., & Robinson, Y. (2021). Estimating the Number of Civilian Casualties in Modern Armed Conflicts—A Systematic Review. *Frontiers in Public Health*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.765261>

Lanclos, R. (2020, March 4). Remnants of War: Smart Maps Help Teams Locate and Remove Land Mines. Official Page ESRI. www.esri.com/about/newsroom/blog/mapping-apps-guide-demining-efforts

Marsden, M. (2024, April 7). Rochester Castle: History & Visiting Guide 2024 – Handmade Kent. www.handmadekent.co.uk/rochester-castle/

Maxim, H. (1898). High explosives and smokeless powders and their applications in warfare. *Journal of the Franklin Institute*, 146(5), 375–386. [https://doi.org/10.1016/s0016-0032\(98\)90051-5](https://doi.org/10.1016/s0016-0032(98)90051-5)

McIntosh, M. (2022, June 4). Julius Caesar versus Vercingetorix at the Battle of Alesia in 52 BCE. *Brewminate: A Bold Blend of News and Ideas*. <https://brewminate.com/julius-caesar-versus-vercingetorix-at-the-battle-of-alesia-in-52-bce/>

Olson, K. R., & Speidel, D. R. (2020). Review and analysis: Successful use of soil tunnels in medieval and modern warfare and smuggling. *Open Journal of Soil Science*, 10(05), 194–215. <https://doi.org/10.4236/ojss.2020.105010>

Palchevska, O. S. (2019). Humanitarian demining in Ukraine: the problem of terminology translation. In *Efficiency level and the necessity of influence of philological sciences on the development of language and literature: collective monograph* (pp. 145–159). Liha-Pres. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-170-4/145-159>

Radetzki, M. (2009). Seven thousand years in the service of humanity – the history of copper, the red metal. *Resources Policy*, 34(4), 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2009.03.003>

Rossi, C., Pagano, S., & Russo, F. (2010). Ancient motors for siege towers. In *History of mechanism and machine science / History of mechanism and machine science* (pp. 149–162). https://doi.org/10.1007/978-90-481-9091-1_10

Rutherford, Ken Ph.D. (2020) "Landmines in America's Backyard," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 24 : Iss. 2 , Article 11. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol24/iss2/11>

Sachs, J. (2024). Between Research and Responsibility: The Invention of Dynamite. *Substantia*. <https://doi.org/10.36253/Substantia-2536>

Schlegel, G. (1902). On the invention and use of Fire-Arms and Gunpowder in China, prior to the arrival of Europeans on JSTOR. www.jstor.org, 3(1), 1–11. www.jstor.org/stable/4525582

Smith, R. W., Vlahos, P., Böhlke, J., Ariyaratna, T., Ballentine, M., Cooper, C., Fallis, S., Groshens, T. J., & Tobias, C. (2015). Tracing the Cycling and Fate of the Explosive 2,4,6-Trinitrotoluene in Coastal Marine Systems with a Stable Isotopic Tracer, 15N-[TNT]. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12223–12231. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02907>

Springer, P. J. (2015). Fighting under the earth: the history of tunneling in warfare. *Foreign Policy Research Institute E-Notes*, 1-5.

Williams, D. (2009). The Maudslay connection, the Reid Bequest and Forsyth's early percussion ignition systems. *Arms & Armour*, 6(2), 105–139. <https://doi.org/10.1179/174962609x417563>

You, Z. (2020). Gunpowder. In: Hua, J., Feng, L. (eds) *Thirty Great Inventions of China*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6525-0_23

Young, J. (2016). Military Explosives of Today. Lecture III on JSTOR. *Journal of the Royal Society of Arts*, 66(3439), 733–742. <https://www.jstor.org/stable/41347790>

Zheng, C. (2021). Gunpowder and firearms in ancient China. In *History of science and technology in China* (pp. 335–378). https://doi.org/10.1007/978-981-15-7844-1_11

РОЗДІЛ 2. ПРОБЛЕМА МІННОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ ТА ГЕОГРАФІЯ ЇЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ

2.1. Негативні наслідки та загрози, які спричиняють міни

Два основні принципи закону щодо використання зброї під час збройного конфлікту полягають у неспричиненні непотрібних страждань комбатантів⁵ і не використанні безрозбірливо щодо комбатантів та цивільного населення. Сучасні витoki цих принципів наведено в Санкт-Петербурзькій декларації 1868 р. Ці положення є елементами звичаєвого міжнародного права.

Схожі положення наведено в Брюссельській декларації 1874 р. (не ратифікованій) і в Оксфордському посібнику, прийнятому Інститутом міжнародного права в 1880 р. Гаазькій конференції 1899 і 1907 рр. також розробили принципи, застосовні до використання зброї. Так, зацікавлені у захисті людства від наслідків війни часто звертаються до клаузули Мартенса, включеної до Конвенцій про сухопутну війну 1899 р. (Конвенція II) та 1907 р. (Конвенція IV). Зокрема, йдеться про те, що *«у випадках, не передбачених прийнятими Положеннями, мешканці та воюючі сторони залишаються під захистом і владою принципів права народів, оскільки вони випливають із звичаїв, що склалися серед цивілізованих народів, із законів людяності та вимог суспільної свідомості»* (Fenrick, 1982).

Статті 22 і 23 Конвенції про сухопутні війни містять норми, які особливо стосуються використання зброї. Ці статті стверджують, що воюючі сторони не мають необмеженого права використовувати засоби ураження противника і що заборонено використовувати отруту або отруєну зброю і застосовувати зброю або снаряди, які завдають непотрібних страждань (Laws and Customs of War on Land (Hague II); July 29, 1899, 2008).

Збройні конфлікти сучасності залишають після себе проблеми вибухонебезпечних боєприпасів. Нерозірвані артилерійські снаряди, бомби, протипіхотні міни, гранати, міни пастки та навіть

⁵ Комбатанти (фр. *combattant*) – у міжнародному праві особи, які входять до складу збройних сил воюючої країни, беруть участь безпосередньо у воєнних діях.

ракети залишаються по завершенні бойових дій для національної влади та місцевого цивільного населення. У багатьох випадках вони зберігаються десятиліттями та спричиняють серйозні втрати (людські, соціальні та економічні).

Навіть сьогодні багато європейських країн продовжують очищати землі від боєприпасів Другої світової війни. Після неї переважна більшість збройних конфліктів відбулася в бідних країнах, які не мали змоги забезпечити знищення боєприпасів, що не вибухнули. У той самий період спостерігається швидке поширення складної зброї та засобів доставки боєприпасів у величезних кількостях і на великі відстані.

У деяких частинах Франції Перша світова війна так і не закінчилася. Це *Zones rouges* – архіпелаг колишніх полів битв, настільки пошкоджених і забруднених наслідками війни, що через понад століття після закінчення військових дій вони залишаються непридатними для проживання і господарської діяльності. До 1919 р. Міністерство звільнених територій Франції розділило постраждалі території на три зони залежно від ступеня руйнування (рис. 27) (Jacobs, 2022).



Рис. 27. Зонування поствоєнних територій Франції («зелені зони» з мінімальними пошкодженнями; «жовті зони», з важкими, але обмеженими пошкодженнями; «червоні зони», зазвичай найближчі до колишніх ліній фронту, які були повністю знищені)

Зелені і жовті зони порівняно швидко повернули в цивільне користування. Червоні зони були різними, і за даними офіційного повоєнного звіту: *«Повністю спустошені. Пошкодження майна – 100%. Шкода сільському господарству – 100%. Очищати неможливо. Людське проживання неможливе»*.

Рівень занепокоєння в Міжнародному комітеті Червоного хреста (МКЧХ) спонукав його Медичний відділ організувати симпозіум міжнародних експертів з різних аспектів мінної війни і наслідків дії мін (Монтре, Швейцарія, квітень 1993). У ньому взяли участь 60 учасників, серед яких були військові, дипломати, лікарі, юристи, фахівці з озброєнь, представники гуманітарних організацій та експерти з розмінування. (Виробники протипіхотних мін були запрошені, але не долучилися). Ця група експертів зробила 5 важливих висновків:

1. Військова вартість ефективності застосування мін, розрахована у порівнянні з людськими та соціальними втратами, є питанням, що потребує нагального розгляду.

2. Ті, хто виробляє протипіхотні міни, і ті, хто їх встановлює, не беруть на себе жодної відповідальності за операції з розмінування і не допомагають у догляді за людьми, які стали інвалідами від цих пристроїв (засобів).

3. У сучасних конфліктах протипіхотні міни можуть встановлюватися не у військових цілях. Вони використовувалися і продовжують використовуватися для тероризування цивільного населення або для руйнування соціальної та економічної структури країн, де вони встановлюються. Однак об'єктивних даних про це бракує.

4. Протипіхотні міни широко використовуються нерегулярними силами, які не вважають себе суб'єктами міжнародних прав, що регулюють використання такої зброї.

5. Страждання і збитки, спричинені протипіхотними мінами, зростають, оскільки вони продовжують встановлюватися тисячами; немає ні ресурсів, ні засобів для їх знешкодження. Загальні витрати на виявлення та ліквідацію мін у розрахунку на одну міну в 100 разів перевищують витрати на їхню закупівлю та встановлення (Coupland and Russbach, 1994).

Протипіхотна міна призначена для того, щоб калічити, а не вбивати (рис. 28). Вважається, що поранення та травматичні ампутації, завдані потерпілим протипіхотними мінами, матимуть більший психологічний вплив на побратимів та моральний стан бойового загону, ніж раптова смерть. Постраждали від протипіхотних мін становлять значний матеріально-технічний тягар для лікування, евакуації поранених та реабілітації (Korver 1994; Coupland 1996).

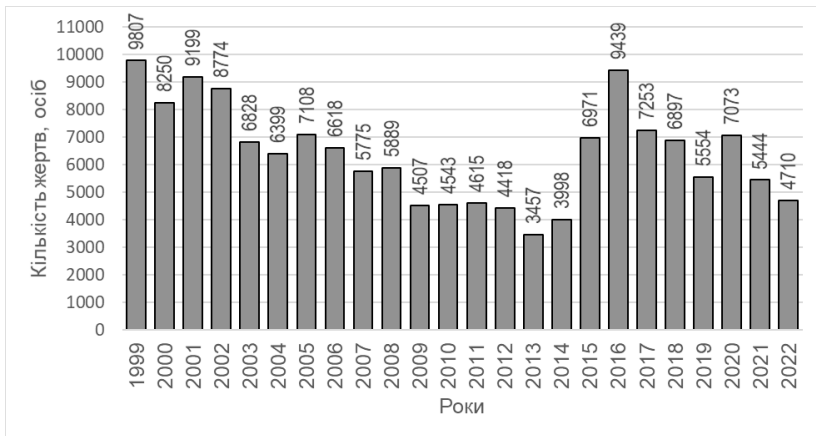


Рис. 28. Щорічна кількість постраждалих від наземних мін та вибухонебезпечних пережитків війни у період з 1999 по 2022 рр.

Протипіхотна міна розроблена для вивільнення великої кількості вибухової енергії на короткій відстані, що часто призводить або до негайної травматичної ампутації, або до відстроченої хірургічної ампутації через ступінь пошкодження м'яких тканин (Korver 1996). У разі травми м'які тканини контралатеральної кінцівки можуть бути серйозно пошкоджені, але травматичної ампутації зазвичай не виникає.

Руйнівний вплив протипіхотних мін класифікують як результат:

- надходження хвиль стресу в кінцівку;
- проникаючих поранень осколками, взуттям і землею;
- динамічних надлишкових навантажень на тканини;
- зміщення, спричиненого потоком продуктів.

Хвилі напруги, що поширюються через кінцівки, поширюються в цих тканинах приблизно зі швидкістю звуку. Ці хвилі втрачають енергію на межах розділу між тканинами з різним акустичним опором (пов'язаним зі щільністю). Це призводить до руйнування клітин, руйнування м'яких тканин і мікророзривів кісток (Hull & Cooper, 1996). Хвилі напруги поширюються через кістки, кровоносні судини та м'які тканини, а при певних типах травм хвилі напруги можна виявити аж до верхньої частини стегна.

У поєднанні компоненти вибуху міни створюють руйнівну, повторювану картину травм. Відбувається повне руйнування тканини в безпосередній близькості від вибухового джерела, що часто супроводжується травматичною ампутацією на різному анатомічному рівні. Проксимальніше рівня ампутації часто відбувається здирання м'яких тканин від підлеглої кістки та відокремлення фасціальних площин, що часто пов'язано з високим ступенем забруднення уламками ґрунту, одягом та мікроорганізмами. Перш ніж розглядати специфічне лікування поранень від протипіхотних мін, необхідно розглянути можливі моделі поранень, а також результати після поранення.

Незважаючи на низьку смертність, захворюваність після мінно-вибухового поранення дуже висока. З 40 постраждалих від протипіхотних мін, про які повідомляв Траверсо та інші (1981), 90% отримали травматичні ампутації, більшість з яких були нижче коліна. Двоє пацієнтів (5%) отримали двосторонні травматичні ампутації, і всі 40 пацієнтів потребували остаточної хірургічної ампутації.

В іншому звіті про 201 пацієнта було здійснено 186 травматичних ампутацій нижніх кінцівок і 5 верхніх кінцівок (Coupland & Korver, 1991). Крім того, більшість пацієнтів отримали травми контралатеральної кінцівки, які зазвичай можна було врятувати, а 13% пацієнтів отримали травми статевих органів. Багато тих, хто вижив, потребували остаточної хірургічної ампутації у зв'язку з травмами, які не підлягали лікуванню. Отже, більшість постраждалих, які зазнали ураження від протипіхотної міни, виживуть, але може знадобитися ампутація кінцівки. Усі пацієнти потребуватимуть хірургічного втручання на кінцівки, метою якого є адекватна обробка рани, щоб зменшити ризик місцевої інфекції.

Скрізь, де містяться наземні міни, вони займають певну територію і блокують доступ до повноцінного використання землі, а також загрожують життю. Тому наземні міни слід видаляти тією мірою, якою очищена земля принесе більше користі, ніж витрат, і повинна бути найвища пріоритетність по відношенню до інших подібних цілей.

Ґрунтовий покрив завжди був заручником військової діяльності (рис. 29). Два основні джерела деградації – застосування систем зброї та військових маневрів, позбавлення противника ресурсів. Перші два є повторюваним патерном протягом усієї історії.

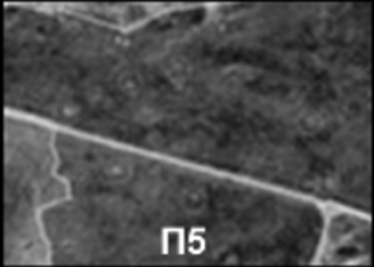
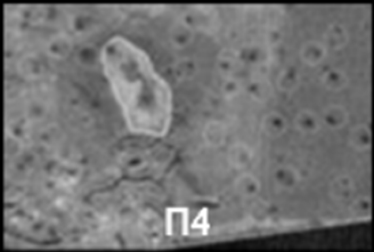
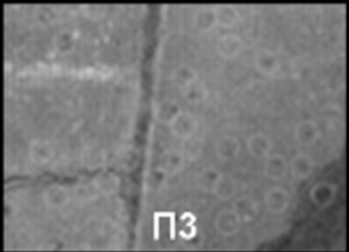
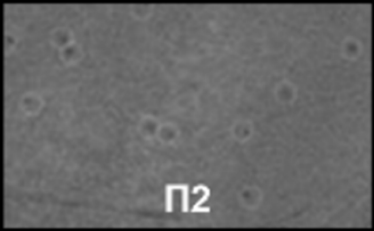
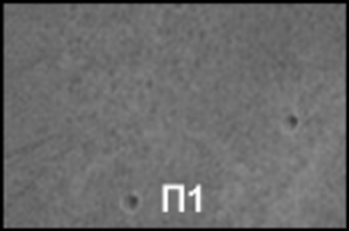
Пошкодження високого рівня	 П5	Категорії придатності земель: П1 – безумовно придатні; П2 – придатні; П3 – малоприсадибні; П4 – умовно присадибні; П5 – непридатні.
Пошкодження середнього рівня	 П4  П3	
Пошкодження низького рівня	 П2  П1	

Рис. 29. Візуальне визначення рівнів пошкодження земель
(використані ілюстративні зображення ортофотопланів
(Splodytel et al., 2023))

Найбільш очевидне пряме знищення ґрунтово-рослинного покриву: цілеспрямоване завдання шкоди для досягнення конкретної військової мети, наприклад, спалювання полів і садів, або дефоліація⁶ джунглів для виявлення укриттів противника. Випадкові прямі руйнування викликані цілеспрямованими діями, які мають будь-яку іншу тактичну мету, наприклад, риття окопів і бомбардування шляхів постачання. Тип наслідків, що часто залишається менш очевидним під час воєнних дій, може мати довгостроковий вплив на ґрунтове середовище. Непрямий вплив (наприклад, втрату буферності ґрунтів, засолення) зазвичай найважче передбачити.

Прямий вплив – усі події, які фізично пов'язані з прямими військовими діями протистояння і які часто виникають у безпосередній або короткостроковій перспективі (бомбардування, прямі збройні зіткнення, військова структура), тоді як непрямий вплив – події, пов'язані з багатьма факторами, не обов'язково військовими, спровокованими збройним конфліктом, і повністю проявляються лише в середньостроковій або довгостроковій перспективі (Jha, 2014; Partow, 2008).

Деякі приклади прямого впливу включають навмисне знищення природних ресурсів, забруднення навколишнього середовища внаслідок бомбардувань промислових об'єктів, а також військове сміття і відходи від знесення військової інфраструктури. З іншого боку, непрямі наслідки включають екологічний слід населення, вимушену вирубку лісів через нові райони освоєння, можливе створення незаконних посівів і незаконний видобуток корисних копалин, колапс у виконанні екологічних норм та інформаційний вакуум, а також брак коштів на охорону довкілля. Ще однією додатковою проблемою є те, що будь-яка війна руйнує будівлі та інфраструктуру, які необхідно відбудовувати, а це вимагає значних ресурсів і розширення територій (Solomon et al., 2018) (рис. 30).

⁶ Дефоліація – процес опадання листя на рослинах, який може відбуватися природним або штучним шляхом.

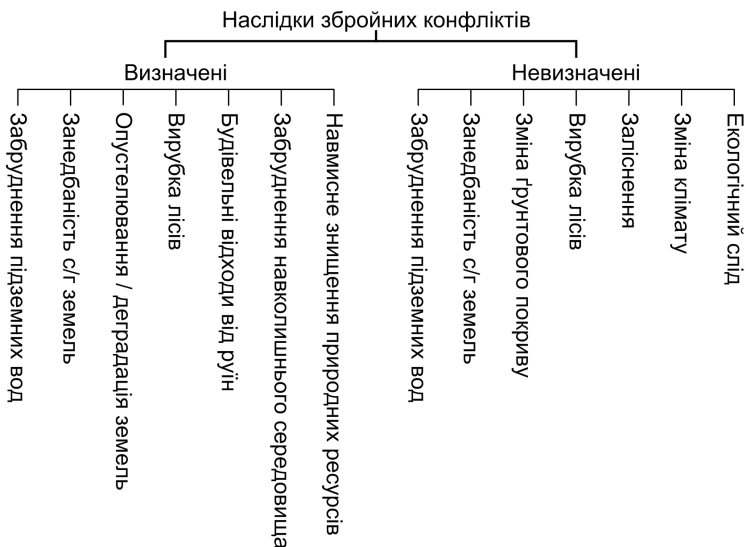


Рис. 30. Вплив збройного конфлікту на навколишнє середовище

Witmer зазначає, що наслідки можна розділити на чотири групи, відсортовані за часом, протягом якого кожен із них зазвичай стає видимим. Наприклад, фізична шкода, спричинена вибухом бомби або пожежею, часто є негайним впливом, який проявляється за лічені хвилини або години. Інші наслідки, такі як шкода навколишньому середовищу (від годин до днів), вимушене і не вимушене переміщення населення (від днів до місяців) і зміна земельного покриття/використання (від місяців до років), потребують більше часу для матеріалізації. Хоча існує певний збіг між прямими і непрямими наслідками конфлікту, ця категоризація створює корисний спосіб підходу до досліджень наслідків (рис. 31).

Навіть по завершенні розмінування земля все ще вважається потенційно небезпечною, особливо якщо вона страждала від постійних обстрілів. Такі землі потребують геохімічного обстеження, адже забруднення не завжди можна побачити неозброєним оком: ґрунти можуть бути забруднені хімікатами, як-от важкими металами, що мають властивості мігрувати з ґрунту до рослини. Продукція, вирощена на таких землях, може бути небезпечною для вживання, тож такі землі потребують відповідних до рівня забруднення заходів: рекультивації або навіть консервації.



Рис. 31. Вплив наслідків бойових дій з плином часу

Землі, що зазнають відповідних порушень ґрунтового покрову, втрачають свою екологічну та економічну цінність і примусово вилучаються із сільськогосподарського обігу на тривалий час. Законодавчо такі землі визначаються як порушені.

У вирвах від розірваних снарядів залишаються важкі метали (свинець, кадмій, цинк, нікель та ін.), сірка у вигляді порошку, і в контакт з опадами перетворюється на сірчану кислоту. Це погано, зокрема, для ґрунтів, бо у цій кислоті згорають мільйони організмів, які формують гумусовий шар ґрунту.

У районах забруднення збіднюється видовий склад тварин і рослин.

Знищення ґрунтового покрову разом з іншими негативними факторами (рис. 32) робить території сільських земель непридатними для використання. Для відновлення земельних ресурсів від забруднення потрібні сотні років.

Оскільки видалення наземних мін є дорогим варіантом, а ресурси постраждалих від мін країн дефіцитні, неможливо знешкодити всі наземні міни за розумний період з обмеженими бюджетами. Тому важливо досліджувати та рекомендувати альтернативні шляхи розв'язання проблем, пов'язаних із наземними мінами. Країні може не знадобитися витратити всі свої обмежені

ресурси на видалення наземних мін, якщо інші альтернативи більш економічно ефективні. Переваги, отримані від очищення землі та інших альтернативних рішень, можна оцінити на основі подвійних цілей зменшення ризиків і збільшення економічного зростання. Тоді можна буде надати рекомендації щодо того, чи очищати конкретні області та як шукати інші варіанти (Kara & Gebrehiwot, 2009).

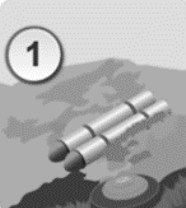
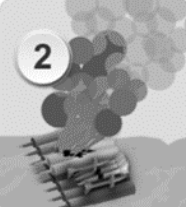
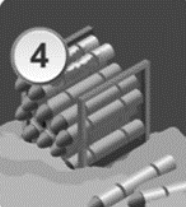
	Розпад енергетичних матеріалів, металів і корпусу в ґрунт – ерозія металів і пластмас, розчинення енергетичних матеріалів шляхом вивітрювання	Можуть бути вторинні впливи на воду, наприклад поверхневе та підземне забруднення вод	Малоймовірний вплив на якість повітря або атмосферу в такому вигляді
	Залишки від відкритого горіння та від частинок, що падають на землю, включають метали, залишки вибухових речовин та попіл, які розчиняються або переносяться в ґрунт під час вивітрювання.	Можуть мати місце вторинні впливи на воду, наприклад, поверхневі та підземні води внаслідок забруднення ґрунту	Викиди парникових і токсичних газів в атмосферу, що спричиняють тимчасові локальні проблеми з якістю повітря та сприяють зміні клімату
	Фізичне пошкодження земель та розповсюдження залишків вибухових речовин і металів у навколишньому середовищі, розчинених або перенесених у ґрунт вивітрюванням	Можуть мати місце вторинні впливи на воду, наприклад, поверхневі та підземні води внаслідок забруднення ґрунту	Викиди низьких рівнів парникових і токсичних газів в атмосферу, що спричиняють зміну клімату
	Метали піддаються корозії, що призводить до вимивання небезпечних речовин у навколишнє середовище. Метали та хімічні речовини можуть накопичуватися в осади	Локальна висока концентрація металів та хімічних речовин, що потенційно може спричинити деоксигенацію води. Швидко розсіюється з віддаленням від вибухового об'єкту	Відсутність впливу на повітря

Рис. 32. Найбільш імовірні шляхи забруднення вибухонебезпечними предметами навколишнього середовища (Gichd, 2021)

Однак, що, можливо, дивно, дослідження економічних наслідків розмінування досить рідкісні і в основному базуються на статистичних звітах. Останнім помітним винятком є Chiovelli et al. (2018), які вивчають причинний ефект зусиль, вжитих після закінчення громадянської війни в 1992 р., щоб позбавити Мозамбик від мінної загрози. Використовуючи муніципальні та річні звіти в проведенні кампаній із розмінування, автори документують великий позитивний вплив нічної освітленості.

Отже, супутникова інформація про нічне освітлення може бути використана як незалежне джерело даних щодо інтенсивності соціо-економічного стану міст. Це дозволяє простежити зміну нічного освітлення територій та визначити рейтинг міст за рівнем розвитку.

Вплив наземних мін може оцінюватися по-різному з точки зору економічного підходу. Наземні міни як приховані вбивці перешкоджають загальному економічному розвитку країн, що розвиваються та прагнуть миру і зростання добробуту. Вони вбивають, калічать, обмежують використання та повернення людського капіталу, сільськогосподарських угідь, перешкоджають виробництву, руйнують довкілля, сповільнюють надії на розвиток (Hutsul, Myronchuk, Tkach, et al., 2023).

Наприклад, якщо розмінування певного поля може врятувати 100 життів за 10 років, а така ж сума грошей може врятувати 200 людей в дорожньо-транспортних пригодах, можна вирішити витратити ці гроші на запобігання дорожньо-транспортним пригодам. Однак важливо пам'ятати, що розмінування зберігає землю для її подальшого повноцінного використання в майбутньому, тоді як запобігання дорожньо-транспортним пригодам може взагалі не досягти своєї цілі.

Визначення вартості розмінування наведено в різних дослідженнях. Відмінності залежать від наявних засобів і досвіду операторів розмінування, характеру умов місцевості, цільового призначення очищеної території та ін.

Забезпечення економічної ефективності досягається на основі достовірної інформації від місцевих жителів та подальшого обґрунтованого планування за пріоритетами, і вибору правильного підходу до розмінування територій.

Наприклад, населення Мозамбіку становило 17,6 млн осіб, з яких 64% вели натуральне сільське господарство та проживали в абсолютній бідності (Merrouche, 2008). Такі обставини змінюють пріоритетність розмінування, адже необхідні з міркувань виживання більшості населення.

Агрономічні території відіграють важливу роль у країнах, які оговтуються після збройного конфлікту, забезпечуючи продовольством решту населення країни та пов'язаними з цим можливостями експорту продукції. У Мозамбіку провінції Замбезія та Нампула були найродючішими та густонаселеними сільськогосподарськими районами країни та вважалися житницею для більшої частини країни. Однак значна частина населення цих провінцій вимушена була виживати завдяки продовольчій допомозі під час війни, оскільки масштаби скорочення виробництва продовольства, пошкодження інфраструктури та, як наслідок, недоступність перетворили провінції з виробництва продуктів харчування на зони дефіциту продовольства (Unruh et al., 2003).

Вибухонебезпечні об'єкти, закладені на угідді, придатному для вирощування сільськогосподарських культур, і наземні міни, встановлені на нафтовому родовищі, дорозі або туристичному об'єкті, не матимуть однакового впливу на економічний розвиток. Вплив перших може бути істотно меншим та повинен узгоджуватися з ситуацією продовольчої безпеки та цілей економічного розвитку. За таких умов, пріоритет для усунення загрози повинен надаватися іншому випадку. Здавалося б, наземна міна, яка загрожує рекреаційній зоні, менш важлива, ніж та, що загрожує сільськогосподарській території, яка годує сотні людей. Проте одержуваний дохід від плати за користування рекреаційною зоною може перевищувати сільськогосподарський в кілька разів.

Тому, програми економічного розвитку регіонів повинні передбачати пріоритетність черговості розмінування, що дозволить максимізувати ефективність розмінування.

Оцінюючи вартісні наслідки наземних мін для сільськогосподарських угідь, слід пам'ятати, що витрати вимірюються з точки зору вартості вирощеної аграрної продукції та вартості самих земельних ділянок. Оглядаючи поширені сільськогосподарські культури та тварин, таких як свині і птиця, яких можна було б

годувати залишками продукції рослинництва втрати з 1 км² в середньому 150 тис. \$, тоді як необхідні витрати розмінування цієї ж території – 900 тис. \$ (Gebrehiwot and Kara, 2009). Очевидно, що вигода менша за витрати, однак коли мова йде про іншу спеціалізацію господарства, зокрема вирощування елітних культур рослин, квітів, спаржі, брюссельської капусти, полуниці, то вартість втраченої продукції непомірно зростає. Крім того, зрощення сільськогосподарських угідь може забезпечувати 2-3 урожаї на рік, що суттєво скорочує окупність витрат. У випадку порушення виробничих циклів або неповного використання ресурсів строк окупності затрат починає зростати.

Наприклад, в Аль Джафінах (Ємен) інвестиції в розмінування в розмірі близько 125 тис. \$ призвели до збільшення ринкової вартості землі на 1 млн 225 тис. \$. Це також створило можливість для подальших інвестицій у розмірі від 1,25 до 1,7 млн. \$ для розробки землі під кат і виноград (рис. 33). Все це призвело до подальшого збільшення ринкової вартості землі на 2,53 млн. \$. Витрати на розчищення та звільнення землі може бути повернуто через 2 роки (GICHD, 2008).

Кожен випадок перевищення вартості розмінування сільськогосподарських угідь повинен розглядатися окремо та залежати від конкретних обставин. Зокрема, невизначеностей з боку витрат і вигод. До прикладу, власник земельної ділянки може знати, які саме частини ділянки потрібно розмінувати, в такий спосіб знижуючи вартість робіт. Крім того, він може мати на увазі певну культуру, яку оптимально вирощувати саме в цих умовах, а отже, збільшити переваги розмінування.

Одним із ключових пріоритетів у постраждалих від війни країні може стати повернення переміщених осіб. Розмінування територій лише із цією метою малокорисне, адже одразу після повернення їм потрібен буде доступ до житла, об'єктів інфраструктури та місць прикладання праці, що слід враховувати планувальникам у програмах розвитку регіонів.

Розмінування міста Акаба – єдиного портового міста Йорданії – розпочалося в основному в 2006 р., і з того часу до 2019 р. чисельність населення зросла з 110500 мешканців до 208000 (Gichd et al., 2021).



Рис. 33. Вирощування винограду в Ємені

У 2006 р. було розміновано 21 км² в районі, близькому до мінних полів Джабер (Йорданія). Ця територія привернула увагу заводів, і стала логістичним вузлом. Інвестиційна вартість проекту становила близько 270 млн йорданських динарів та дозволила створити понад тисячу робочих місць. Вартість земельних ділянок в межах зони потроїлася (Gichd et al., 2021).

Вартість житлової нерухомості може бути виміряна з точки зору вартості житла. Міни, встановлені в житловому районі, спричиняють часті нещасні випадки через їхнє розташування поблизу людей, що посилює потребу розмінування з економічної точки зору. Ризик втрати майна та ризик нещасного випадку цілком очевидно перевищує витрати на розмінування. Цінність житлових районів завжди вища, ніж сільськогосподарських угідь.

Решта будівель та споруд оцінюються з точки зору витрат на догляд за переміщеними особами. Поява додаткових відстаней, необхідних для одержання медичної допомоги чи освіти, можна розглядати як перешкодження їх одержанню.

Організація та координація розмінування повинні відбуватися з єдиним центром управління у взаємодії з регіональними департаментами розвитку територій. Оператори розмінування отримують

пріоритетність робіт від уряду на основі набору стандартів. Якщо плани уряду та плани розвитку територій на місцях розходяться, то вони мають менше шансів на успіх. Наприклад, перш ніж розпочати будівництво або ремонт доріг, необхідно узгодити з організацією, що займається розмінуванням, можливі проблеми, пов'язані з наземними мінами. Якщо будівництво доручається підрядникам і під час будівництва на ділянці виявляються наземні міни, необхідність у розмінуванні буде неминучою. Це призведе до високих витрат і затримок у будівництві.

Виявлення міни на залізничній колії або будь-якому іншому транспортному шляху перешкоджає доступу до використання, торгівлі, підвищує витрати на транспортування товарів та пасажирські перевезення через пошук альтернативних (довших за відстанню та триваліших за часом) маршрутів. Швидке налагодження після-воєнного життя, здійснення гуманітарних місій, своєчасне надання медичної доводять першочерговість і беззаперечну необхідність розмінування дорожньо-транспортної інфраструктури. Оцінка такої вигоди доволі нелегка. Ключова роль доріг дає зрозуміти просту послідовність, що без них не можна одержати і всі подальші вигоди. Сприяння досягненню цілей розвитку, зниження бідності, зростання рівня життя та ін., нелегко оцінити та виміряти матеріально за короткий проміжок часу, але вони з'являються у довгостроковій перспективі. За будь-яких умов розмінування заблокованого транспортного шляху вигідне, і сума витрат на розмінування повернеться в короткостроковій перспективі.

Цінність енергопостачання вимірюють у термінах зменшення виробництва. Під час війни Ефіопії та Еритреї енергопостачання м. Заламбеса (північ Ефіопії) було повністю припинено. Після-воєнне обслуговування ЛЕП унеможливлювалося мінуванням територій. Понад 16 тис. мешканців залишалися без електроенергії. За таких обставин розмінування ЛЕП та відновлення електропостачання є не лише економічно вигідним, але й необхідним через соціальні наслідки. Схожий приклад і на території Мозамбіку, де проблеми з обслуговуванням ЛЕП внаслідок замінування призвели до зростання імпорту електроенергії з 1 млн \$ в 1980 р. до 10 млн \$ в 1988 р.

Гілdestад вказує, що відкриття туристичного об'єкта площею 1 км² на очищеній від мін території принесе ВВП Камбоджі

1,36 млн \$ (Gildestad, 2005). За таких умов розмінування історико-культурного об'єкта (рис. 34), який є туристичною визначною пам'яткою, більш ніж виправдане. Однак один загиблий або поранений турист – це катастрофа, яка може зруйнувати репутацію об'єкта та налякати туристів, у яких відчуття безпеки є однією із запорук вдалого відпочинку. Доход від туристів важливий для відновлення економіки країн, оскільки забезпечує їх валютною виручкою.



Рис. 34. Розмінування головного історичного та релігійного місця Королівства Камбоджа, району Ангкор (1992)

Роботи з розмінування місця Хрещення (Йорданія) та прилеглих територій завершилися у 1997 р. ліквідацією 11 мінних полів і відкриттям для громадськості у 2000 р. Відтоді це релігійне місце стало значним внеском до місцевої економіки завдяки сталому туризму (рис. 35).



Рис. 35. Віфаварá – місцевість на річці Йордан

Крім того, було виділено нові ділянки для будівництва церков, що зміцнило позицію місця Хрещення та перетворило його у християнський паломницький центр. Кількість відвідувачів, зокрема іноземних, постійно зростала, в середньому до 100 тис. туристів на рік, із подальшими планами щодо розширення. Забруднення мінами блокувало доступ до унікального історичного та релігійного місця, перешкоджаючи подальшим інвестиціям у його збереження та розвиток, а також його використанню як джерела доходу (GICHD, 2021).

Дослідження, проведене Камбоджійським центром протимінної діяльності (на території Камбоджі), показує середню вартість суцільного розмінування 0,95 \$ за 1 м² (Harris, 2000). Аналогічні дослідження британської неурядової організації HALO Trust для цієї ж території Камбоджі показують вартість 0,68 \$ за 1 м² (Gildestad, 2005). Дані звіту Landmine Monitor Report за 2003 р. містять вартість 90 \$ за гектар (0,009 \$ за 1 м²) для одного з районів, тоді як в іншому від 100 до 250 \$ за га (Patterson and Vanna, 2004). Такі розрахунки виглядають нереалістичними, і було виявлено, що кошторис складено непрофесійно із залученням фахівців із браком досвіду, що могло призвести до нещасних випадків. Дослідження, проведені Гріффіном і Кілі, наводять вартість ручного очищення наземних мін 1 м² на рівні 1,5 \$, тоді як комбіноване поєднання машин і собак знижує вартість до 0,96 \$ за 1 м² (Gildestad, 2005).

З усіх земель, на яких відбувається ретельне розмінування, лише близько 2,5-10% виявляються дійсно забрудненими – решта практично не потребують зусиль для очищення. Цей факт зумовлює різку зміну вартості від 1 \$/м² до 0,02-0,05 \$/м². Аналіз останніх звітів із розмінування по 15 країнах переконує, що понад 97,5 % очищених земель виявилися не забрудненими (Kruijff et al., 2013b). Тому запорукою здешевлення, пришвидшення темпів та підвищення точності проведення робіт стає складний аналіз великих масивів просторової інформації.

Для території Колумбії в (Prem et al., 2022) виявлено, що кампанії з гуманітарного розмінування, проведені у постконфліктний період, поліпшили соціально-економічні умови. Зокрема, зросла нічна освітленість на 12,4% (рис. 36) і збільшилася щільність

населення на 2,7%. Розрахунок показує, що кожна подія з гуманітарного розмінування збільшує ВВП муніципалітету на 0,8%, а кожен долар, інвестований у гуманітарне розмінування, приносить користь у розмірі 7 \$ лише через рік (Henderson et al., 2011).

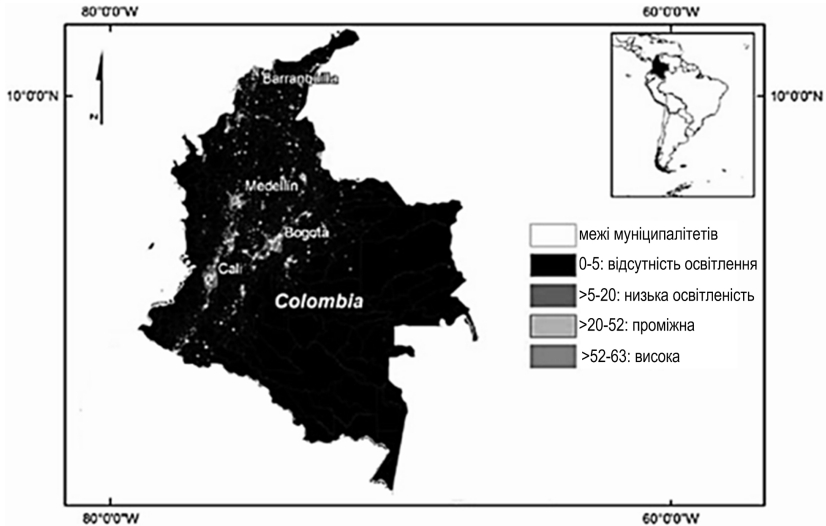


Рис. 36. Класифікація нічного освітлення у 2009 р. на території Колумбії відповідно до чотирьох діапазонів значень: 0-5 відсутність світла; 5-20 низька; 20-52 проміжна і 52-63 сильно освітлені ділянки (за даними Álvarez-Berrios et al. (2012))

2.2. Масштаби мінної проблеми у світі

Проблему післявоєнного розмінування територій без перебільшення вважають світовою. До сьогодні жоден з існуючих методів розмінування не надає 100% гарантії очищення території.

Станом на жовтень 2022 р., за даними щорічного звіту Міжнародної кампанії із заборони наземних мін LandMine Monitor, 67 країн (рис. 37) забруднено мінами (Sherwin, 2022). Сумарна кількість встановлених мін оцінюється орієнтовно в 110 млн шт. і приблизно така ж кількість виготовлена, зберігається на складах та очікує застосування або знищення (Landmine Monitor 2023 [EN/AR] – World, 2023). Щорічно розрахунково встановлюється 1,9 млн нових мін, а видаляється лише близько 100 тис.

(MacDonald & Lockwood, 2003), а тому мінна небезпека стрімко зростає. Площа уражених земель дуже обережно оцінюється в понад 10 млн км² (Mikulic, 2012).

Під постійний ризик ураження мінами та вибухонебезпечними предметами щоденно потрапляє щонайменше 60 млн людей (проживають у місцях, де відбулися або тривають збройні конфлікти), із них понад 29 млн людей живуть у межах 10 км від мін (Tuohy et al., 2023).



Рис. 37. Забруднення протипіхотними мінами (станом на 2022 р.)

Важливо мати на увазі, що на кожні 5 тис. знешкоджених мін припадає один загиблий і двоє травмованих саперів (Horbulin, 2022). Середній рівень продуктивності одного сапера на добу становить 20-25 м² (Gichd, 2023).

На виготовлення та встановлення міни витрачають від 3 до 35 \$, тоді як послуга розмінування коштує від 300 до 1000 \$. Вартість розмінування 1 км² території оцінюється в 3 млн \$. Кожна година, витрачена на встановлення протипіхотних мін, потребує понад 100 год на розмінування. Ні в одному воєнному конфлікті ніхто не знає точної кількості встановлених мін з різних причин (How Many Landmines Are in the Ground Worldwide?, 2022):

- не всі заміновані ділянки виявляються;

- не ведеться належний облік закладених мін збройними силами та іншими учасниками конфліктів, а в деяких випадках їх встановлення хаотичне через скидання з літаків;
- доступні записи часто некоректні та неповні;
- стихійні лиха, повені, землетруси, піщані бурі можуть зміщувати міни та нерозірвані боєприпаси або накривати маркери, що позначають ділянки з мінами.

Район вважається «замінованим», навіть якщо в ньому трапляється лише одна наземна міна або люди вважають, що він може бути замінованим. Фермери не будуть обробляти землю там, де, на їхню думку або через їх побоювання, існує небезпека наявності наземних мін. Дороги не можна використовувати, якщо люди знають або вважають, що їх заміновано. Школи, лікарні та водопостачання можуть бути недоступні через загрозу мін. Дослідження, розмінування та розчищення територій переконують людей у можливості їх безпечного використання. Міжнародні стандарти протимінної діяльності розроблено для забезпечення спільної методології роботи команд саперів.

Наявність наземних мін (табл. 1) сповільнює процеси повернення біженців і переміщених осіб або взагалі унеможлиблює їх. Вони перешкоджають наданню допомоги та послуг, загрожують пораненням та вбивствам гуманітарних працівників. Медична допомога постраждалим від наземних мін, якщо вона доступна – дороговартісна й перевантажує систему охорони здоров'я. Громади змушені залишати землю, від якої залежать: сільськогосподарські угіддя, сади, зрошувальні канали, ліси, джерела води можуть стати недоступними. Міни також перекривають доступ до економічно важливих об'єктів інфраструктури (доріг, опор ЛЕП тощо). Професійна реабілітація та підтримка постраждалих часто недоступна, тому багатьом врятованим після нещасного випадку доводиться з неймовірною важкістю заробляти на проживання. З іншого боку, країна, що постраждала від мін, може отримати міжнародну допомогу для розмінування та допомоги жертвам, як тільки вона стане учасником Договору про заборону мін (Landmine and Cluster Munition Monitor, 2023).

Таблиця 1

**Площі замінованих протипіхотними мінами районів
в уражених країнах (на 1 вересня 2023 р.)**

Великі (>100 км ²)	Значні (>20-100 км ²)	Середні (2-20 км ²)	Помірні (<2 км ²)
Афганістан	Ангола	Чад	Буркіна Фасо
Камбоджа	Боснія і Герцеговина	Колумбія	Камерун
Ірак	Таїланд	Хорватія	Кіпр
Україна	Туреччина	Еритрея	Дем. Респ. Конго
	Ємен	Ефіопія	Екватор
		Мавританія	Гвінея-Бісау
		Палестина	Малі
		Сомалі	Нігер
		Південний Судан	Нігерія
		Шрі-Ланка	Оман
		Судан	Перу
		Таджикистан	Сенегал
		Зімбабве	Сербія

Держави-учасниці повідомили про очищення загалом 219,31 км² забруднених земель у 2022 р., в результаті чого знищенні 169276 протипіхотних мін. Це означає зростання площ розчищення, про яке повідомлялося у 2021 р., коли внаслідок очищення 132,52 км² землі було знешкоджено 117847 мін.

Камбоджа та Хорватія повідомили про найбільший масштаб розмінування у 2022 р., очистивши загалом понад 128,67 км² землі та знищення 14815 протипіхотних мін.

У 2022 р. глобальна підтримка протимінної діяльності склала 913,5 млн \$, що означає збільшення на 52 % (314,5 млн \$) від підтримки, наданої у 2021 р. Із цієї загальної суми 162,3 млн \$ спрямовано на діяльність в Україні.

17 постраждалих країн внесли загальну суму 115,1 млн \$ до власних національних програм протимінної діяльності, що становить 13 % світового фінансування. 35 донорів надали 798,4 млн \$ на міжнародну підтримку протимінної діяльності (рис. 38). Це означає значне збільшення на 47% від загального обсягу міжнародних внесків.

База донорів майже не змінилася порівняно з останніми роками, за винятком того, що Саудівська Аравія увійшла до списку 15 найкращих донорів у 2022 р. Ці донори надали 97% усього міжнародного фінансування протимінної діяльності на загальну суму

774,9 млн \$. США та ЄС – два найбільші донори у 2022 р., значно збільшили свої щорічні внески. Україна очолила список отримувачів у 2022 р. після вторгнення росії.

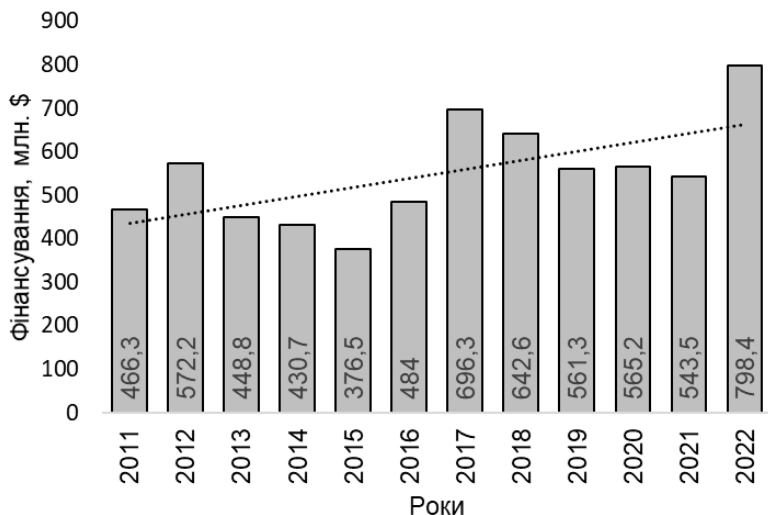


Рис. 38. Щорічне міжнародне фінансування протимінної діяльності (GICHD, 2024)

У 2022 р. було щонайменше 4710 нових жертв від наземних мін і вибухонебезпечних пережитків війни в 51 країні, включаючи 1661 смерть. Сирія третій рік поспіль зафіксувала найбільшу кількість жертв у 2022 р. (834). Україна посіла друге місце за кількістю жертв (608), з яких 85 % усіх зареєстрованих втрат – цивільні особи (з яких половина – діти).

2.2.1. Країни-лідери за існуючими запасами мін

За оцінками Щорічного звіту, аж 30 із 33 держав, які не є учасниками Договору про заборону мін, накопичили запаси протипіхотних наземних мін. У 1999 р., за оцінками Monitor, разом вони накопичили $\approx$ 160 млн протипіхотних мін. Станом на сьогодні загальний запас держав, які не є учасниками Договору про заборону мін, може бути орієнтовно < 50 млн шт. (табл. 2).

Таблиця 2

Найбільші запаси протипіхотних мін	
Держава	Запаси мін, млн шт.
росія	26,5 млн
Пакистан	6 млн
Індія	4-5 млн
Китай	менше ніж 5 млн
США	3 млн
Всього	≈ 45 млн

Незрозуміло, чи всі 30 країни, які не є учасниками, роблять запаси протипіхотних мін. Об'єднані Арабські Емірати (ОАЕ) надали суперечливі дані про володіння запасами, а Бахрейн і Марокко заявили, що володіють лише невеликими запасами, які використовуються виключно для навчання, очищення та дослідження методів виявлення.

Держави, які не є учасниками Договору про заборону мін, регулярно знищують накопичені протипіхотні міни та боєприпаси у складі програм управління й поетапної відмови від застарілих боєприпасів. В останні роки про знищення таких запасів не повідомлялося в Китаї, Ізраїлі, Монголії, Пакистані, росії, Південній Кореї, США та В'єтнамі. Загалом державами-учасницями Договору про заборону мін колективно знищено понад 55 млн накопичених мінних засобів.

Вважається, що приховані запаси протипіхотних мін, які ще належить встановити, більш ніж вдвічі перевищують офіційно заявлені запаси (Prem et al., 2022).

2.2.2. Найпоширеніші типи мін

Внутрішня складність розмінування зростає через велику різноманітність використовуваних мін – відомо понад 700 типів (рис. 39).

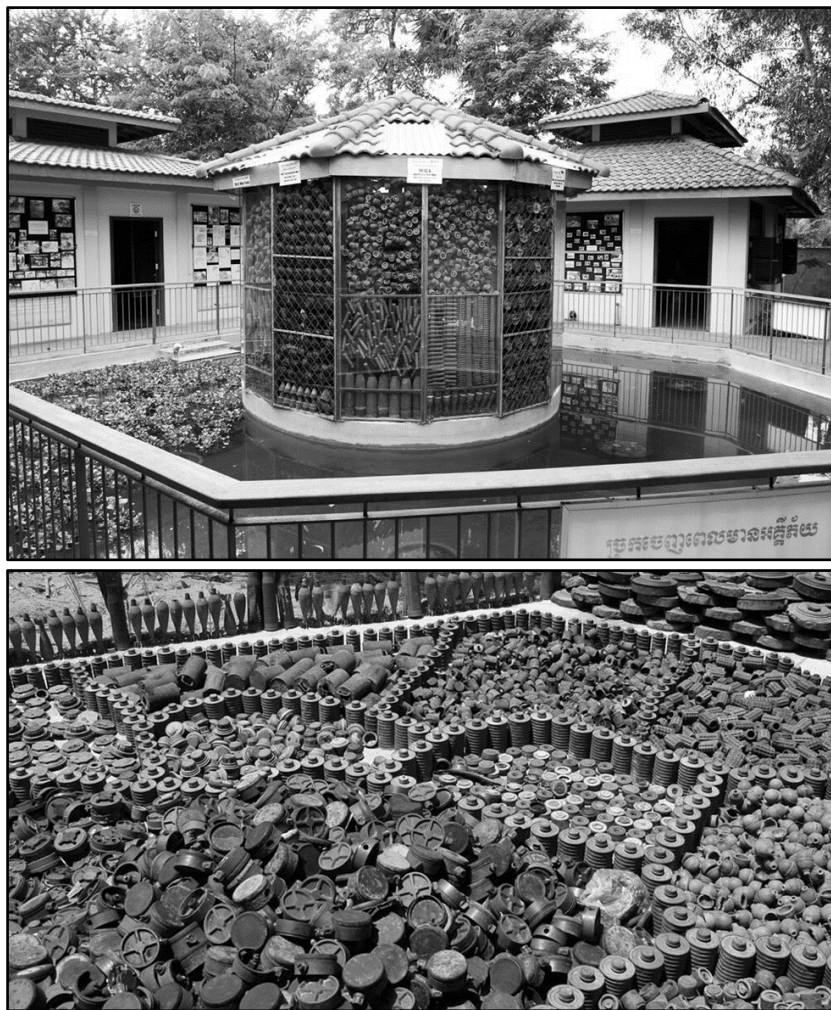


Рис. 39. Фрагменти експозиції музею наземних мін Камбоджі
(The Cambodian Landmine Musuem and School, 2024)

Міни бувають двох основних типів – **протитанкові** і **проти-піхотні**. Протитанкові міни більші за розмірами та потужніші. Однак протипіхотні міни є найпоширенішим типом мін, їх найважче знайти, оскільки вони невеликі і часто виготовлені з плас-

тику. Протитанкові міни зазвичай містять більше металу, ніж протипіхотні, і тому їх легше виявити простими металошукачами. Обидва типи встановлюють якомога ближче до поверхні. Для обох типів мін детонація, як правило, спричиняється тиском, хоча деякі активуються за допомогою дроту або інших механізмів (Enke, 2015).

Протипіхотні міни згруповано по завданню ними шкоди: *вибухом, осколками або кумулятивним зарядом* малої форми.

Вибухові протипіхотні міни часто дуже дешеві і є одними з найпоширеніших у світі (рис. 40). Вони спрацьовують від тиску, спричиненого фізичним контактом із міною, здебільшого при наступанні на неї. Більшість мін цього типу призначені для спричинення серйозних травм, як правило, ампутації однієї або обох кінцівок, а не смерті. Фугасні протипіхотні міни, здебільшого мають циліндричну форму і варіюють в розмірах від 7 до 16 см в діаметрі і від 5 до 10 см у висоту. Однак деякі фугасні міни прямокутної форми та розміром від 10 × 18 см до 15 × 30 см. Більшість таких мін мають відносно невеликий вибуховий заряд, часто менше 100 г. Хоча деякі фугасні міни все ще виготовляються з металу або дерева, більшість – пластикові. Це робить їх водостійкими або водонепроникними і небезпечними навіть під водою. Після сильних дощів деякі міни нерідко вимиваються з мінних полів на раніше вільні від мін території або у водні шляхи, де їх може знести на кілометри вниз за течією, перш ніж вони опиняться на березі. Фугасні протипіхотні міни зазвичай коричневого, оливкового, зеленого, чорного, коричневого, сірого або комбінованого кольору. Окрім закопаних фугасних протипіхотних мін, поширеним типом мін є міни типу «пелюстки» (або подібні варіанти), які розкидаються над землею за допомогою авіації або артилерійського вогню. Якщо ці міни були встановлені нещодавно, їх зазвичай можна знайти у великій кількості. Міни-пелюстки мають поєднання дивних форм і часто яскравих кольорів, що робить їх унікальними й привабливими для допитливих дітей та дорослих.



Рис. 40. Найпоширеніші вибухові (фугасні) протипіхотні міни

Осколкові протипіхотні міни, як правило, призначені для спричинення смерті, часто великої кількості людей, від осколків, що розлітаються від вибухового заряду міни. Більшість таких мін із металевим корпусом або містять шарикопідшипники чи металеві осколки, які під час детонації міни перетворюються на смертоносні елементи (рис. 41). Існують три основні типи осколкових протипіхотних мін: кілкові міни, міни спрямованої дії та обмежувальні осколкові міни. Найпоширеніші кілкові міни встановлюються на дерев'яні або металеві кілки, забиті в землю так, щоб міна знаходилася на висоті близько 20 см над поверхнею. Їх також закріплюють на деревах. Більшість з них мають вигляд невеликої булав: дерев'яний кілок, увінчаний невеликим металевим циліндром і детонатором, що виступає з верхівки. Іржава металева поверхня дозволяє не помітити міни, особливо на ділянках зі старою рослинністю. Кілкові міни оснащені однією або кількома розтяжками, які спрацьовують, коли їх висмикують або перерізають. Розтяжки дуже важко помітити, вони можуть бути натягнуті впоперек доріжок або дверних прорізів і прикріплені до твердого об'єкта, наприклад, дерева або до іншої міни. Після підризу металеві осколки розлітаються в радіусі 360°, завдаючи смертельних поранень будь-кому в радіусі 4 м і спричиняючи смерть та серйозні поранення людей на значно більших відстанях. Одна з найпоширеніших мін – російська міна ПОМЗ-2М – вибухає і розлітається на осколки, які, ймовірно, смертельні в радіусі 10 м. Крім того, нерівномірний розмір і розподіл осколків робить ефект непередбачуваним; великі осколки можуть поранити або вбити в радіусі 100 м і більше. З часом кілкові міни можуть впасти, або ж кілок, на якому вони встановлені, може зруйнуватися. Це не робить їх менш небезпечними, а в деяких випадках, коли розтяжка менш помітна, тільки посилює рівень небезпеки.

ОЗМ-72



МОН-50



Рис. 41. Найпоширеніші осколкові протипіхотні міни

Осколкові протипіхотні міни спрямованої дії призначені для проектування щільного шару осколків у заданому напрямку. Більшість з них виглядають як вигнута прямокутна або кругла коробка товщиною приблизно з книжку в м'якій обкладинці. Ця коробка розміщується на двох ніжках або підставці, і зазвичай забарвлена в оливковий, чорний або коричневий колір. Осколкові протипіхотні міни спрямованої дії зазвичай підриваються за командою, але вони можуть бути ініційовані розтяжкою або натисковою пластиною. Після підриву більшість мін цього типу розкидають свої осколки в межах 60° горизонтальної дуги на висоту близько 2 м. Більшість із них розраховані на «ефективну дальність ураження», що спричиняє серйозні поранення або смерть на відстані понад 50 м. Інші варіанти цього типу мін великої круглої форми і розлітаються осколками у вигляді вузького конуса, як постріл із дробовика.

Міни з *кумулятивним зарядом*, як правило, закопуються. Вони циліндричної форми з конічним наконечником для легшого заглиблення в ґрунт і круглою пластиною для міцного позиціонування в ґрунті. Діаметром близько 5 см і висотою близько 12 см, пофарбовані в різні кольори, переважно в маскувальні. Якщо наступити на означену міну, то спрацює запал. Загалом цей тип протипіхотних мін не призначений для вбивства жертви. Невелика кількість вибухівки вистрілює кумулятивним зарядом через підшву стопи і щиколотку до коліна, спричиняючи пошкодження гомілки. Результатом може бути ампутація ноги вище коліна та тривале лікування.

Протитранспортні міни, які часто називають **протитанковими мінами**, призначені для виведення з ладу або знищення транспортних засобів (рис. 42). Як і протипіхотні міни, протитранспортні міни можуть бути підірвані тиском, хоча зазвичай потрібна набагато більша вага, дистанційним управлінням, магнітним впливом або порушенням нахилу стрижня. Вони можуть бути встановлені на відстані від 2 до 40 м по обидва боки дороги, змонтовані на невеликій тринозі або прикріплені до дерева. Оскільки ці міни призначені для знищення транспортних засобів, їх зазвичай встановлюють на стежках, доріжках, дорогах та узбіччях. Навіть дороги, якими вже тривало їздять, можуть містити протитанкові міни. Вони, як правило, круглої або квадратної форми і мають розміри від 40 см в діаметрі та 16 см у висоту до 23 см в діаметрі та 10 см у висоту. Можуть виготовлятися з дерева, пластику або металу і бувають різних кольорів. Заряд протитанкової міни становить близько 6 кг у тротиловому еквіваленті, але вона також може містити кумулятивний заряд.



Рис. 42. Найпоширеніші протитанкові міни

Оскільки протитанкові міни часто призначені для виведення з ладу великих військових транспортних засобів, таких як танки, їхній вплив на менші цивільні транспортні засоби зазвичай катастрофічний і призводить до знищення транспортного засобу, загибелі або серйозних поранень пасажирів.

2.2.3. Країни-лідери за виробництвом мін

За даними (Landmine Monitor 2023 [EN/AR] – World, 2023), понад 50 держав колись виробляли протипіхотні міни, з них близько 40 припинили виробництво (включаючи 3 країни, які не є учасниками заборони мін: Єгипет, Ізраїль, Непал).

Загалом до списку виробників мін потрапляє 12 країн: Вірменія, Китай, Куба, Індія, Іран, М'янма, Північна Корея, Пакистан, росія, Сінгапур, Південна Корея та В'єтнам. Хоча більшість зазначених країн не надто активно виробляють, але й не взяли зобов'язань ніколи не робити цього в майбутньому.

Виробництво протипіхотних мін відбувається в Індії з 2016 р. У грудні 2021 р. перші з 700 тис. протипіхотних мін «Ніпун» доставлено військовим на заміну протипіхотної міни М-14. Розробляються принаймні два інших типи мін, у тому числі протипіхотні осколкові «Ulka» і «Parth».

Інформація, зібрана збройним проєктом Human Rights Watch повідомляє, що 75 виробників у 44 країнах виготовили щонайменше 307 протипіхотних типів мінної продукції за останні десятиліття. Вони включають щонайменше 7 країн і більше 100 наземних типів мін, раніше не ідентифікованих в опублікованих звітах.

Наявні дані свідчать, що Італія, Китай і колишній СРСР були, ймовірно, найбільшими виробниками і найбільшими експортерами мін індивідуального розгортання (вимірюється в кількості одиниць протягом останніх років).

Оціночні дані звіту повідомляють, що виробники, ймовірно, виготовляли в середньому від 5 до 10 млн протипіхотних мін на рік, що приблизно в 10 разів перевищує обсяг виробництва, про який раніше зазначалося в спеціалізованій пресі. Комбіноване глобальне виробництво протипіхотних мін ймовірно, коштує від 50 до 200 млн \$ щорічно.

Коли міни, виготовлені в одних країнах, знаходяться в інших місцях, це не обов'язково означає, що країни-виробники – прямі експортери. Зброя могла бути легко придбана на чорному ринку зброї, захоплена у ворога або просто викрадена зі складів. Політичні потрясіння останніх років у Східній Європі призвели до поширення дуже великих запасів зброї, включаючи величезну кількість протипіхотних мін. Що стосується цін, то великомасштабне напівавтоматизоване виробництво суттєво знизило виробничими витратами та собівартістю кінцевої продукції.

2.2.4. Тенденції виробництва мін

Майбутні чинники, які формуватимуть мінну війну, пов'язані з уже помітними розробками у військових діях. В (Heuman, 1995) передбачено такий розвиток технології наземних мін:

- 1) включення пристроїв самознищення для виконання можливих майбутніх міжнародних правових зобов'язань;
- 2) інтеграція з інтелектуальним полем бою;
- 3) зменшення ролі танка в порівнянні з вертольотом;
- 4) зменшення чисельності армій, що підвищить роль мінних полів для місцевого захисту.

Розглянемо детальніше кожен із чинників. Убудований пристрій для самознищення, ймовірно, знадобиться в майбутньому для відповідності вимогам Женевської конвенції. Технологію саморуйнівних пристроїв можна застосувати, наприклад за допомогою звичайного заряду батареї, яка стане простим способом контролю терміну служби міни. Однак проблема витрат залишається відкритою і може бути серйозною перешкодою для поширення цього нового стандарту. Однак є й інші варіанти контролю тривалості служби встановлених мін. Одним із альтернативних рішень є так звані міни «програмованого закладеного ресурсу». Це означає, що вони повинні містити якусь складну електроніку, за допомогою якої можна визначити термін служби закладеної міни. Ці міни (рис. 43) можуть підлягати відновленню по завершенні запрограмованого терміну служби та використовуватися повторно, але цей варіант доволі дорогий. В даний час випускаються деякі програмовані закладені міни, зокрема, неметалева модель італійської компанії Valsella.



Рис. 43. Протипіхотна неметалева міна VS-50 з можливістю запобігання підриву

Інший електронний засіб, який може бути запроваджений у міни, – це так звані опції «увімкнути / вимкнути». Це означає, що ці міни можуть бути вимкнені за необхідності, що дозволить прохід дружніх військ. Однак існують серйозні труднощі для реалізації та впровадження цього нововведення: висока вартість виробництва; ризик пошкодження тих самих мін, коли мінне поле вимкнено та використовується дружніми військами; наявність електронного ключа дистанційного керування, який може стати доступним противнику. Все це робить функцію «увімкнути / вимкнути» небезпечною з військової точки зору.

Майбутні мінні поля повинні бути розроблені як розумні сутності, а наземні міни, оснащені датчиками, можуть використовуватися для розширення територіального контролю.

Прикладом інтелектуальної міни є інтелектуальна горизонтальна міна компанії Naschem, підрозділу Denel Group of Companies (Pty) Ltd, з Південної Африки. Це осколкова протиброньова міна поза маршрутом, оснащена акустичними датчиками, які можуть розрізняти колісні та гусеничні транспортні засоби, малі або великі. Акустичні датчики активують інфрачервону систему виявлення, яка вказує напрямом наближення транспорту в діапазоні до 100 м та за словами розробників здатна знищити і танк.

Зменшення актуальності танків на майбутніх бойових діях призведе до відносного зниження ролі протитанкових мін; і навпаки, зростання ролі протигвинтокрильних мін (рис. 44). Їх присутність змусить гвинтокрили літати на більших висотах, у такий спосіб стаючи доступними для інших засобів протиповітряної оборони. Прикладом такої зброї є розкидана протигвинтокрильна міна Textron Defense System із США. Вона здатна виявляти низьколітаючий гвинтокрил, а також відрізняти дружні гвинтокрили від ворожих. Модель цієї міни сумісна з дистанційним керуванням для встановлення та зняття бойової частини залпового фугасного снаряду. Протигвинтокрильну міну встановлюють вручну, а також розгортають за допомогою повітряної або наземної системи доставки кількох мін M139 Volcano. Додатковими системами доставки, які можуть бути інтегровані з протигвинтокрильною міною, є 227-мм реактивна система залпового вогню M270 і армійська тактична ракетна система MGM-140.

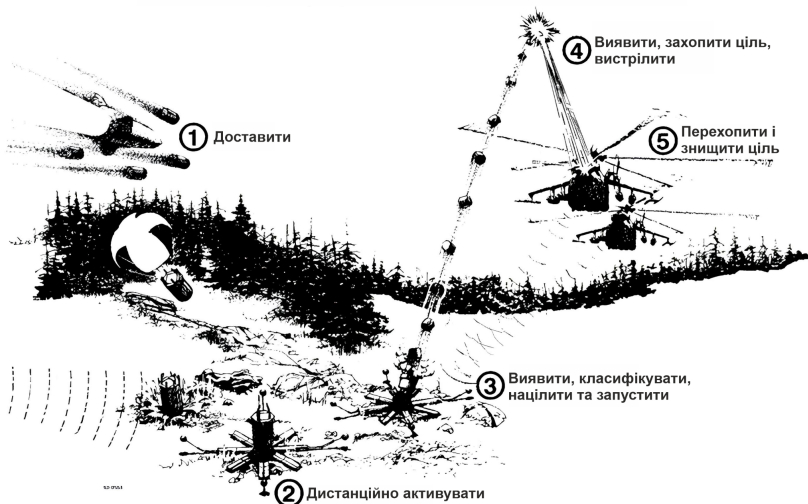


Рис. 44. Концепт протигвинтокрильної міни («Anti-Helicopter Mine», 1997)

Наслідком закінчення Холодної війни⁷ є зменшення чисельності армій найбільших країн. Це робить новий акцент на протипіхотні міни для захисту незахищених територій. Отже, незважаючи на їхню зростаючу непопулярність, ці міни далеко не застарілі. Цілком імовірно, що їх важливість і ефективність поширюватимуться також на майбутні бойові дії, наприклад, для захисту вразливих місць, а також високоцінних систем захисту, зокрема, протитанкових і протигвинтокрильних мін. Можливо, що деякі інновації в електроніці будуть включені, щоб подолати юридичні обмеження, як ми бачили раніше, але це малоймовірно. Насправді їх головною перевагою є низькі витрати на виробництво, які б з часом були витіснені більш складними та багатофункціональними пристроями.

⁷ Холодна війна (5 березня 1946 – 25 грудня 1991) – стан конфлікту між комуністичними та капіталістичними країнами, який не передбачав прямих військових дій, а здійснювався в основному шляхом економічних і політичних дій, пропаганди, шпигунства чи посередницьких війн.

2.3. Мінна небезпека на території України

Україна підписала Договір про заборону мін 24 лютого 1999 р. і ратифікувала його 27 грудня 2005 р., ставши державою-учасником з 1 червня 2006 р. Досвід показує, що жодна країна, яка стикається з необхідністю розмінування територій після військових дій не може розв'язати цю проблему власними силами за рахунок бюджетних коштів, а тому звертається по допомогу до міжнародних та вітчизняних постачальників послуг гуманітарного розмінування (Vorovych, 2020).

Під жорстким контролем Радянського Союзу під час Другої світової війни територія сучасної України була всяяна мінними полями та складами боєприпасів. Заходи щодо їх знищення детально розглядаються в пункті 3.6.

Україна потерпає від забруднення мінами та вибухонебезпечними об'єктами, що залишилися з часів Першої, Другої світових воєн, а також у результаті продовження конфлікту на Сході країни (АТО/ООС) з 2014 р., який переріс у повномасштабну війну. На початок 2023 р. пресслужба ДСНС проінформувала про замінування $\approx 40\%$ території (понад 250 тис. км²). За площею замінованих земель ООН відносить Україну до найзамінованіших. Масштаби мінування перевершують країни, де військові конфлікти тривали десятиліттями.

З початку бойових дій у 2014 р. значні території Донецької та Луганської областей на сході України були забруднені наземними мінами та боєприпасами, що не розірвалися. 21 березня 2014 р. 57 держав-учасниць Організації з безпеки та співробітництва в Європі (ОБСЄ) прийняли консенсусне рішення про розгортання Спеціальної моніторингової місії (СММ), і з того часу її мандат продовжувався щороку. СММ встановлювала факти та звітувала щодо безпекової ситуації в Україні, відстежувала та підтримувала дотримання прав людини та основних свобод, а також сприяла діалогу.

Під час підписання Мінського меморандуму у вересні 2014 р. сторони домовилися видалити всі міни, не встановлювати та не закладати міни в зоні безпеки⁸ (буферної зони).

⁸ Протягом доби з моменту прийняття даного меморандуму відведення засобів ураження калібром понад 100 мм від лінії зіткнення на відстані не менше 15 км

Земля всередині буферної зони та на лінії зіткнення сильно забруднена наземними мінами й боєприпасами, що не вибухнули. Під час бойових дій великі території регулярно переходили з рук в руки. Це призвело до широкомасштабного забруднення мінами та нерозірваними боєприпасами.

Однією з ключових проблем з точки зору протимінної діяльності була відсутність комплексних нетехнічних обстежень у Донецькій і Луганській областях через відсутність доступу до великих ділянок лінії зіткнення, оскільки конфлікт залишався активним.

Тип мінування в Україні в зоні АТО/ООС варіював між професійно закладеними оборонними смугами, розташованими в чіткому єдиному візерунку (наприклад, лінія рівномірно розташованих протитанкових мін по полю), і спорадичними мінуваннями. Останні пов'язані або з тактичними міркуваннями низького рівня, які диктують логіку розташування невеликої кількості мін, або через недбале мінне встановлення, здійснене непрофесійними солдатами чи комбатантами. Поширеність цього спорадичного мінування часто серйозно обмежує корисність технічного обстеження. Важко усвідомити шаблон, коли шаблону не було або коли логіка мінування зводилася до тактичних, а не географічних міркувань, актуальних на той час (Robinson et al., 2019).

Багато нетехнічних обстежень проводилося, однак лише на підконтрольних Україні територіях. Міжнародні та урядові організації не мали змоги працювати в зоні лінії зіткнення з очевидних причин, і жодної форми нетехнічного обстеження там не було здійснено. Незвичайною особливістю мінного забруднення, яке спостерігала СММ ОБСЄ, порівняно з аналогічними мінними полями в інших сучасних конфліктах, є переважання наземних мінних протитанкових полів. Вони варіюють від невеликих мінних полів на асфальтованих дорогах, які містять лише кілька мін, до відкритих мінних полів на великих відкритих полях. СММ зафіксувала тисячі одиниць нерозірваних боєприпасів з обох боків лінії зіткнення та повідомила про них. Вони варіюють

з кожної сторони, в тому числі з населених пунктів, що дає можливість створити зону припинення застосування зброї шириною не менше 30 км – зону безпеки.

від боєприпасів до стрілецької зброї аж до нерозірваних 300-мм реактивних систем залпового вогню (РСЗВ) (Crowther & OSCE, 2019).

Повномасштабне вторгнення росії в Україну, яке розпочалося в лютому 2022 р., стало «першою війною з відкритим вихідним кодом», де майже кожен аспект конфлікту на місцях має онлайн-відповідник – від логістики та систем наведення до доставки гуманітарної допомоги та картографування конфлікту.

В режимі реального часу дослідники складають карту конфлікту та його руйнівних наслідків для України, включно з вибухонебезпечними предметами, що залишилися на територіях, де бойові дії вщухли (рис. 45).



Рис. 45. Інтерактивна мапа територій⁹, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами

На початкових етапах війни у лютому та березні 2022 р. російські війська швидко просувалися північною, східною та південною Україною, оточивши такі міста, як Харків, Київ та Маріуполь. До квітня російські війська відступили або були витіснені з більшості нещодавно окупованих територій, за винятком південного узбережжя України, де вони досягли Херсона на заході та значної частини Луганської, Донецької, Харківської та Запорізької областей,

⁹ Відображено місця, на яких вже виявлено або ймовірно знаходяться вибухонебезпечні предмети, та ступінь загрози від них згідно з наявною у ДСНС інформацією (похибка локалізації становить до 30 м).

створивши фронт довжиною близько 2 000 км (Mathewson & The HALO Trust, 2022).

Армія росії в період інтенсивних бойових дій практично щоденно вистрілювала по Україні понад 40-60 тис. артилерійських боєприпасів. Частина з них не вибухнула. За різними оцінками, не спрацьовують до 20% випущених боєприпасів (Мірошниченко, 2023). Крім того, на складах росії найбільші у світі запаси протипіхотних мін – 26,5 млн шт., і навіть орієнтовне їх застосування на території України залишається невідомим.

Збройний конфлікт в Україні підтверджує, що захист позицій все ще має місце в сучасному конфлікті. Райони оборони та опорні пункти будуються на всій ширині району бойових дій. Оборона підтримується шляхом масованого створення вибухових і невибухових загороджень, переважно мінних полів (Rolenec & Kopulety, 2017; Sedláček et al., 2022). Згідно з доктринальною моделлю російських збройних сил, мінне поле розташоване на передньому краю оборони, в проміжках між опорними пунктами та на флангах на всій глибині району оборони (W. Grau & K. Bartles, 2018). Відповідно до відкритих джерел, російські війська використовують міни для посилення оборони своїх позицій. На окремих ділянках оборони щільність мін у десятки разів перевищує розрахункові норми російської армії. Мінні поля прикриваються плановими артилерійськими обстрілами і становлять величезну проблему для військ України.

Керуючись Законом України «Про протимінну діяльність в Україні», положеннями статуту «Міжрегіонального центру гуманітарного розмінування», означено важливість реалізації комплексу заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та (або) знищення вибухонебезпечних предметів. Сьогодні, зважаючи на воєнний стан та складну економічну ситуацію, Україна відчуває брак засобів, необхідних для проведення таких заходів. На загальнодержавному рівні велика площа замінованих територій обмежує можливості пересування по них та використання в активному господарському обробітку або як просторового базису. Переважна частина замінованих територій – ареали

поширення родючих чорноземних ґрунтів. За оцінкою Українського клубу аграрного бізнесу, у звільнених областях заміновано ≈ 2 млн га полів. Кожен рік простою цих земель коштуватиме економіці країни до 800 млн \$. У тимчасовій окупації перебувають 6 млн га, які після звільнення теж потребуватимуть перевірки. Розмінування не гарантує фермерам повернення до роботи на цих землях. Поверхню ще потрібно вирівняти та рекультивувати, тобто відновити родючість ґрунту (Мірошниченко, 2023). Це суттєво послаблює стан продовольчої безпеки всередині країни та частку виробництва і продажу її агропродукції на світових ринках. Особливу небезпеку становлять протипіхотні міни, на яких у мирний час підриваються тисячі мирних законослухняних громадян, серед яких багато дітей.

Побічні наслідки збройного конфлікту є джерелом небезпеки виникнення та поширення надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожежі, ймовірності вибуху) виявлених вибухонебезпечних предметів (застарілих боєприпасів), наявності у навколишньому середовищі шкідливих (забруднюючих) і радіоактивних речовин понад гранично допустиму концентрацію.

Висновки до розділу 2

Протипіхотні міни спричиняють тривалий комплекс негативних соціальних, екологічних та економічних наслідків. Здоров'я та безпека людини – ключові цінності цивілізованого суспільства. Основа підступності мін – невибірковий вплив, який переважно призводить до каліцтв та страждань жертв. Непоправна шкода завдається і довкіллю – страждає і скорочується видове різноманіття, спричинюються руйнівні пожежі, забруднюється ґрунтовий покрив. Біженці не можуть повертатися до своїх домівок, розриваються цілі виробничі цикли, під загрозою опиняється продовольча безпека.

Мінна проблема є однією із глобальних проблем людства, яка безпосередньо стосується 67 країн світу. Кількість нових мін в десятки разів перевищує темпи розмінування. Десятки мільйонів людей щодня піддаються ризику каліцтва або смерті. Мінна загроза стає важким економічним тягарем, і не дає шансів країнам третього світу на розвиток. Жодна з постраждалих країн не

змогла подолати цю проблему без залучення донорських коштів міжнародних установ.

Попри те, що практично всі цивілізовані країни докладають максимум зусиль для знищення мін, існують країни, які не хочуть прощатися із цією жахливою зброєю. Буквально 5 країн мають близько 50 млн шт. різних типів мін, які потенційно можуть бути застосовані у будь-який час.

На сьогоднішній день 12 країн причетні до виробництва мінної зброї. Сучасні міни стають технологічно складнішими в плані виявлення, й більш вибірковими в плані ураження. Тенденції розробки мін відзначаються появою пристроїв їх ліквідації, але через зростання вартості такі міни не набувають поширення.

Повномасштабне вторгнення в Україну вивело її в лідери за рівнем мінного забруднення територій. Десятки мільйонів людей щоденно піддаються ризику ураження, скорочення площ оброблюваних земель викликало загострення світової продовольчої кризи.

Література

Álvarez-Berrios, N. L., Parés-Ramos, I. K., & Aide, T. M. (2012). Contrasting patterns of urban expansion in Colombia, Ecuador, Peru, and Bolivia between 1992 and 2009. *Ambio*, 42(1), 29–40. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0344-8>

Anti-Helicopter mine. (1997). *Ordnance & Munitions Forecast*, 12, 1–5. www.forecastinternational.com/archive/dispatch_old_pdf.cfm?ARC_ID=1443

Chiovelli, G., Michalopoulos, S., & Papaioannou, E. (2018). Landmines and spatial development. <https://doi.org/10.3386/w24758>

Coupland, R. M. (1996). The effects of weapons: surgical challenge and medical dilemma. *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh*, 41(2), 65–71.

Coupland, R. M., & Korver, A. (1991). Injuries from antipersonnel mines: the experience of the International Committee of the Red Cross. *BMJ. British Medical Journal*, 303(6816), 1509–1512. <https://doi.org/10.1136/bmj.303.6816.1509>

Coupland, R. M., & Russbach, R. (1994). Victims of Antipersonnel Mines: What is Being Done?

Crowther, E. & OSCE. (2019). Contamination in Eastern Ukraine: Observations by OSCE. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 23(1), 24–26. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss1/9/>

Enke, T. (Ed.). (2015). Landmines, explosive Remnants of War and IED safety Handbook (3rd edition). United Nations Mine Action Service (UNMAS). https://www.unmas.org/sites/default/files/handbook_english.pdf

Fenrick, W. J. (1982). New developments in the law concerning the use of conventional weapons in armed conflict. *Canadian Yearbook of International Law/the Canadian Yearbook of International Law*, 19, 229–256. <https://doi.org/10.1017/s0069005800001752>

Gebrehiwot E., Kara H. Economics of Landmines and Demining: MBA Professional Report. In Naval Postgraduate School, 2009.

Gichd, Iborra, A. H., & Juergensen, O. (2021). The sustainable Development outcomes of mine Action in Jordan. *JMU Scholarly Commons*. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcawd/1533>

Gichd. (2021, December 15). Guide to Explosive Ordnance Pollution of the Environment. GICHD. Retrieved from: www.gichd.org/publications-resources/publications/guide-to-explosive-ordnance-pollution-of-the-environment-1/

Gichd. (2023, November 7). Operational efficiency in mine action. GICHD. Retrieved from: www.gichd.org/publications-resources/publications/operational-efficiency-in-mine-action/

GICHD. (2024, April 29). Innovative Finance for Mine Action: Needs and Potential solutions. Retrieved from: www.gichd.org/publications-resources/publications/innovative-finance-for-mine-action-needs-and-potential-solutions/

GICHD. Linking Mine Action and Development | Humanitarian and Development NGOs. 2008. 121 p. Global CWD Repository. 1539. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/1539>

Gildestad, B. (2005). Cost-Benefit Analysis of mine clearance operations in Cambodia. JMU Scholarly Commons. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/1155/>

Harris, G. (2000). «The economics of landmine clearance: case study of Cambodia». Journal of International Development. №12 (2). pp. 219-225.

Henderson, V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2011). A bright idea for measuring economic growth. the American Economic Review, 101(3), 194–199. <https://doi.org/10.1257/aer.101.3.194>

Heyman, C. Trends in Land Mine Warfare, A Jane's Special Report, August 1995.

Horbulin, V. (2022). World global demining problem: Ukrainian vector. ViSniK NaciOnal'noi Akademii Nauk UkraïNi/Visnik Nacional'noi Akademii Nauk Ukraïni, 2, 3–13. <https://doi.org/10.15407/visn2022.02.003>

How many landmines are in the ground worldwide? (2022). Dag Hammarskjöld Library. <https://ask.un.org/faq/14494>

Hull, J. B., & Cooper, G. J. (1996). Pattern and mechanism of traumatic amputation by explosive blast. The Journal of trauma, 40(3 Suppl), pp. 198–205. <https://doi.org/10.1097/00005373-199603001-00044>

Hutsul, T., Myronchuk, K., Tkach, V., & Khobzei, M. (2023). Economic efficiency and priority of demining: international experience. Ukraïns'kij Žurnal Prikladnoi Ekonomiki, 8(2), 308–313. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-2-44>

Jacobs, F. (2022, April 19). In France's Red Zones, World War I never ended. Big Think. <https://bigthink.com/strange-maps/zones-rouges/>

Jha, U., 2014. Armed Conflict and Environmental Damage. Vij Books India. Joksimovich, V., 2000. 140–160.

Kara, H., & Gebrehiwot, E. (2009, June 1). Economics of landmines and demining. <http://hdl.handle.net/10945/10440>

Korver A. J. (1994). Medische gevolgen van landmijnen: ervaringen van het Rode Kruis [Medical consequences of land mines: Red Cross experiences]. Nederlands tijdschrift voor geneeskunde, 138(13), 659–661.

Korver A. J. (1996). Injuries of the lower limbs caused by antipersonnel mines: the experience of the International Committee of the Red Cross. Injury, 27(7), 477–479. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(96\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0020-1383(96)00066-6)

Kruijff, M., Eriksson, D., Bouvet, T., Griffiths, A., Craig, M., Sahli, H., González-Rosón, F. V., Willekens, P., & Ginati, A. (2013). Space assets for demining assistance. *Acta Astronautica*, 83, 239–259. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.08.016>

Landmine and Cluster Munition Monitor. (2023). International Campaign to Ban Landmines. Retrieved from: <https://www.icbl.org/en-gb/problem/arguments-for-the-ban.aspx>

Landmine Monitor 2023 [EN/AR] - World. (2023, November 14). ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/world/landmine-monitor-2023-enar>

Laws and Customs of War on Land (Hague II); July 29, 1899. (2008). The Avalon Project Documents in Law, History and Diplomacy. https://avalon.law.yale.edu/19th_century/hague02.asp

MacDonald J., & R. Lockwood J. (2003). Alternatives for Landmine Detection. RAND.

Mathewson, A. & The HALO Trust. (2022). Open-Source research and mapping of explosive ordnance contamination in Ukraine. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 26(1), 3. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/3/>

Merrouche, O. (2008). Landmines and Poverty: IV Evidence from Mozambique. *Peace Economics, Peace Science and Public Policy / Peace Economics, Peace Science, and Public Policy*, 14(1). <https://doi.org/10.2202/1554-8597.1108>

Mikulic, D. (2012). Humanitarian demining techniques. In Springer eBooks (pp. 1–27). https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4504-2_1

Miroshnychenko, B. (2023, March 7). Desiatky rokiv ta miliardy dolariv. Koly rozminuiut ukrainski polia ta mista? [Tens of years and billions of dollars. When are Ukrainian fields and cities demined?]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*. Retrieved from: www.epravda.com.ua/publications/2023/03/7/697737

Partow, H. (2008). Environmental Impact of Wars and Conflicts. *Arab Environment: Future Challenges*. 159.

Prem, M., E. Purroy, M., & F. Vargas, J. (2022). Landmines: The local Effects of demining (Monograph (Working Paper), Vol. 1305). Université Toulouse 1 Capitole. <https://publications.ut-capitole.fr/id/eprint/44388>

Robinson, T., O’Keeffe, R., & The HALO Trust. (2019). The challenges of humanitarian mine clearance in Ukraine. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 23(1), 8. Retrieved from: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss1/8/>

Rolenec, O., & Kopulety, M. (2017). Engineer devices for obstacle breaching in offensive operations and possible application of engineer robots.

In IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2017.7988756>

Sedláček, M., Dohnal, F., & Rolenec, O. (2022). Proposal of an algorithm for evaluation of wet gap crossing using geoprocessing tool. In Lecture notes in intelligent transportation and infrastructure (pp. 542–551).
https://doi.org/10.1007/978-3-030-94774-3_53

Sherwin, M. (2022). Landmine Monitor 2022. In LandMine & Cluster Munition Monitor (No.978-2-9701476-2–6). Monitoring and Research Committee. Retrieved from: www.themonitor.org/media/3352351/2022_Landmine_Monitor_web.pdf.

Solomon, N., Birhane, E., Gordon, C., Haile, M., Taheri, F., Azadi, H., & Scheffran, J. (2018). Environmental impacts and causes of conflict in the Horn of Africa: A review. *Earth-science Reviews*, 177, 284–290.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.016>

Spodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). Land contamination as a result of Russia's aggression against Ukraine. *Ecoaction*. Retrieved from: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf>

The Cambodian Landmine Museum and school. (2024, June 28). The Cambodia Landmine Museum. www.cambodialandminemuseum.org/

Traverso, L. W., Fleming, A., Johnson, D. E., & Wongrukmitr, B. (1981). Combat casualties in Northern Thailand: emphasis on land mine injuries and levels of amputation. *Military Medicine*, 146(10), 682–685.
<https://doi.org/10.1093/milmed/146.10.682>

Unruh, J. D., Heynen, N. C., & Hossler, P. (2003). The political ecology of recovery from armed conflict: the case of landmines in Mozambique. *Political Geography*, 22(8), 841–861.
<https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2003.08.001>

Vorovych, B. (2020). Ways to solve the problem of demining the territory of Ukraine [Ways to solve the problematic issues of demining the territory of Ukraine]. *Zbirnyk Naukovikh Prats Tsentru Voenno-Stratehichnykh Doslidzhen Natsionalnoho Universitetu Oborony Ukrainy – Collection of scientific works of the Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky*, 2(69), 143–149. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2020-2-69/143-149>.

W. Grau, L., & K. Bartles, C. (2018). *The Russian Way of War: Force structure, tactics, and modernization of the Russian Ground Forces*. Mentor Enterprises, Incorporated.

РОЗДІЛ 3. СВІТОВИЙ ДОСВІД БОРОТЬБИ З МІННОЮ ЗАГРОЗОЮ

3.1. Законодавчі ініціативи й заходи на державному та світовому рівнях

Протимінна діяльність, у тому числі зобов'язання держави, регулюється всеосяжною системою міжнародних нормативних угод та міжнародним гуманітарним правом. Кілька міжнародних конвенцій регулюють або забороняють використання наземних мін і вибухонебезпечних пережитків війни. Інші регулюють невибіркове використання вибухових пристроїв. Усі вони спрямовані на усунення гуманітарного впливу на цивільне населення та захист прав осіб, які постраждали від цих вибухових небезпек.

В основі дебатів про протипіхотні міни лежать дві основні думки. З гуманітарної точки зору існує потреба заборонити наземні міни, щоб зупинити загибель і поранення цивільних осіб і звільнити землю від завданої шкоди. З військової точки зору існує бажання зберегти здатність використовувати наземні міни, які були включені в офіційну доктрину або загальну практику протягом десятиліть. Ці два напрямки думки суперечать один одному тому, що один розглядає єдине рішення як повну заборону протипіхотних мін, а інший прагне обійтися мінімальним регулюванням, якщо таке можливо.

Незважаючи на широке використання протипіхотних мін під час Другої світової війни, Женевські конвенції 1949 р. стосувалися лише питань розмінування, прямо забороняючи примусове використання військовополонених для таких цілей. У середині 1970-х рр. серія з трьох зустрічей, скликаних МКЧХ для обговорення різноманіття звичайних видів зброї, визначила наземні міни (загалом) як засоби ведення війни, які заслуговують на спеціальне правове регулювання.

Було сподівання, що використання деяких звичайних видів зброї буде спеціально обмежено Додатковими протоколами до Женевських конвенцій 1977 р., але остаточної згоди так і не вдалося досягти, як наслідок, була скликана окрема конференція під егідою ООН для переговорів як окремий правовий інструмент.

Результатом стало прийняття в 1980 р. Конвенції про заборону або обмеження використання певних видів звичайної зброї, які можуть вважатися такими, що завдають надмірних ушкоджень або мають невибіркову дію, зі змінами від 21 грудня 2001 р. (Конвенція про певні види звичайної зброї), один із протоколів якого (Протокол II) регулював «міни, міни-пастки та інші пристрої».

У 1993 р., коли міжнародне занепокоєння з приводу впливу протипіхотних мін на цивільне населення багатьох постраждалих від конфлікту територій загострилося, Франція закликала провести конференцію з перегляду Конвенції. Після трьох років важких переговорів під егідою ООН держави-учасниці Конвенції про певні види звичайної зброї прийняли доповнений Протокол II, який посилив контроль за використанням і передачею протипіхотних мін. Проте доповнений Протокол II 1996 р. не відповідає повній забороні, яку відстоювали громадянське суспільство, Генеральний секретар ООН, МКЧХ і дедалі більше урядів. На засіданні, на якому було прийнято змінений протокол, Канада оголосила, що скличе нараду для обговорення того, як досягти міжнародної заборони протипіхотних мін.

Для глобальної заборони протипіхотних мін в столиці Канади з 3 по 5 жовтня 1996 р. відбулася Оттавська конференція. На заключній сесії Конференції тодішній міністр закордонних справ Ллойд Екворті закликав до переговорів і підписання договору про заборону протипіхотних мін до кінця 1997 р.

До 1996 р. Генеральна Асамблея ООН уже прийняла низку резолюцій щодо протипіхотних мін. Заклик до мораторію на експорт протипіхотних мін міститься в першому абзаці резолюції 48/75K, прийнятої без голосування 16 грудня 1993 р. 10 грудня 1996 р. резолюція 51/45S, яка залучила 115 учасників, була прийнята 155 голосами, ніхто не голосував проти, 10 утрималося. Перший пункт постановляючої частини резолюції закликав держави «рішуче прагнути до ефективної, юридично обов'язкової міжнародної угоди про заборону використання, накопичення, виробництво та передачу протипіхотних наземних мін з метою якнайшвидшого завершення переговорів».

Конвенція про заборону протипіхотних мін (також відома як Оттавська конвенція, 1997) і Конвенція про касетні боеприпаси

(також відома як Конвенція Осло, 2008) встановлюють повну заборону на використання, накопичення, виробництво та передачу протипіхотних мін та касетних боєприпасів. Вони також встановлюють термінові зобов'язання щодо знищення запасів та очищення забруднених територій. Подальші зобов'язання стосуються навчання ризиків, допомоги жертвам і міжнародного співробітництва та взаємодії.

Цікава спільна ініціатива Міжнародного руху за заборону протипіхотних мін та Коаліції з касетних боєприпасів, які проводять щорічні моніторингові дослідження фактичного стану гуманітарного розвитку та використання наземних мін, касетних боєприпасів і вибухонебезпечних пережитків війни. Це Звіти, стосовно всіх аспектів зазначеної проблематики, які ґрунтуються на фаховій думці міжнародної мережі експертів у розрізі країн. Моніторинг заслужив повагу своєю прозорістю та незалежністю. Його основною аудиторією є не лише уряди, міжнародні та гуманітарні організації, а й ЗМІ, науковці та громадськість.

Оттавський договір є частиною міжнародної відповіді на гуманітарну кризу, спричинену глобальним розповсюдженням протипіхотних мін. Мільйони одиниць цієї смертоносної зброї вже заразили понад 70 країн, створюючи одну з найсерйозніших техногенних проблем нашого часу. Їхній довгостроковий вплив на окремих людей, громади та цілі суспільства вражає. Ця угода є видатним досягненням, оскільки це перший випадок, коли країни через міжнародне гуманітарне право погодилися повністю заборонити зброю, яка вже широко використовується. Встановлюючи чіткі міжнародні стандарти боротьби з протипіхотними мінами, Оттавський договір є першим вирішальним кроком у довгостроковій меті подолання лиха протипіхотних мін і очищення світу від цієї жахливої зброї (Banning Anti-Personnel Mines: The Ottawa Treaty – World, 1998).

Доповнений Протокол II до Конвенції про певні види звичайної зброї встановлює заборону й обмеження на використання мін, мін-пасток та інших пристроїв, включаючи саморобні вибухові пристрої, з додатковими положеннями щодо запису та обміну інформацією, а також очищення / видалення / знищення всіх систем для забезпечення захисту цивільного населення.

У Протоколі V ССW встановлюються зобов'язання щодо розмінування / видалення / знищення вибухонебезпечних пережитків війни – покинутих боєприпасів, що не вибухнули – у постконфліктних ситуаціях, з додатковими положеннями щодо запобіжних заходів для захисту цивільних осіб та запису інформації й обміну.

Міжнародні стандарти для програм гуманітарного розмінування вперше запропоновані робочими групами на міжнародній технічній конференції в Данії в липні 1996 р. Установлено критерії для всіх аспектів розмінування, рекомендовані стандарти та узгоджено нове універсальне визначення «розмінування».

Сферу застосування цих початкових стандартів відтоді розширено, щоб включити інші компоненти протимінної діяльності та відобразити зміни в оперативних процедурах, практиках і нормах. Стандарти були перероблені та перейменовані на Міжнародні стандарти протимінної діяльності (IMAS), а перше видання оприлюднено в жовтні 2001 р.

Щоб полегшити пошук потрібного стандарту, IMAS розбиті на низку «серій», кожна з яких присвячена різним аспектам протимінної діяльності. Наприклад, Серія 9 присвячена розмінуванню мін і боєприпасів, що не вибухнули, а Серія 11 – знищенню запасів боєприпасів. Нижче наведено опис різних серій (A Guide to the International Mine Action Standards - World, 2006).

- 01 – Посібник із застосування МСПМД (IMAS).
- 02 – Створення програм протимінної діяльності.
- 03 – Закупівля обладнання для протимінної діяльності.
- 04 – Глосарій термінів та визначень.
- 05 – Інформаційні системи.
- 07 – Управління, акредитація та моніторинг.
- 08 – Оцінка ризиків та обстеження.
- 09 – Очищення від мін та нерозірваних боєприпасів.
- 10 – Безпека та гігієна праці під час протимінної діяльності.
- 11 – Знищення запасів мін.
- 12 – Інформування про мінну небезпеку.
- 14 – Оцінка програм протимінної діяльності.

У вересні 2013 р. Указом Президента України створено Національний орган з питань протимінної діяльності (НОПМД). Департамент екологічної безпеки та протимінної діяльності

Міністерства оборони отримав завдання координувати програму протимінної діяльності в країні, виконуючи функції секретаріату НОПМД. На той час основна увага зосереджувалася на знищенні запасів і залишків вибухонебезпечних об'єктів часів Першої і Другої світових воєн.

Після початку конфлікту в 2014 р. масштаби проблеми значно зросли, і до розмінування долучилося багато інших суб'єктів, зокрема різні державні органи, міжнародні організації, неурядові організації та приватний сектор. Хоча Міністерство оборони залишалося де-факто координуючим органом з гуманітарного розмінування, воно не мало необхідних повноважень над іншими міністерствами та державними установами, які взаємодіяли з протимінною діяльністю. Наприклад, координацію заходів з інформування про мінну небезпеку здебільшого здійснював підкласстер протимінної діяльності Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй (ПРООН), але не без недоліків.

За відсутності національних стандартів Україна прийняла Міжнародні стандарти протимінної діяльності у вересні 2016 р. як тимчасовий захід до затвердження Національних стандартів протимінної діяльності (НСПМД). За підтримки міжнародних суб'єктів, починаючи з 2016 р., Міністерство оборони України розробляло різні НСПМД. Однак навіть попри те, що більшість операторів протимінної діяльності погодилися дотримуватися цих стандартів, вони не були обов'язковими до виконання без національного законодавства, яке б забезпечувало їх дотримання. Міністерство оборони завершило роботу над НСПМД наприкінці 2018 р. і, після схвалення нещодавно прийнятого національного законодавства у сфері протимінної діяльності, очікує, що вони будуть повністю впроваджені до кінця 2019 р. (Garbino & Swiss Foundation, 2019).

До січня 2019 р. не існувало міцної правової бази для організації цих зусиль. Ця стаття описує поточну правову базу протимінної діяльності в Україні, аналізує законодавчий процес і бюрократичні перешкоди, а також коротко обговорює різні перспективи нещодавно ухваленого закону про протимінну діяльність.

Представники зацікавлених сторін у сфері протимінної діяльності в Україні погоджуються, що перешкоди на шляху прий-

няття національного законодавства не були технічними. Протягом багатьох років спільнота, що займається протимінною діяльністю, узагальнювала отриманий досвід і напрацьовувала найкращі практики для розробки національного законодавства у сфері протимінної діяльності.

Міжнародні організації надали безпосередню підтримку українському уряду, допомагаючи подолати будь-які технічні перешкоди. Проте спеціальне законодавство щодо протимінної діяльності було схвалено українським урядом лише нещодавно. 6 листопада 2018 р. Верховна Рада України провела перше читання законопроекту № 9080-1.11. Однак його повернули на доопрацювання, а міжнародні організації попросили представити свої думки та пропозиції. Друге читання законопроекту відбулося рівно через місяць, і 6 грудня 2018 р. законодавство було схвалено.

Закон схвалено Кабінетом Міністрів України 25 січня 2019 р. Нове законодавство про протимінну діяльність неминуче приведе до реформ, які вплинуть на ролі, обов'язки та бюджет серед органів влади. Приватні інтереси, які просувають комерційні компанії, спричинили значні розбіжності щодо рамок майбутнього законодавства щодо протимінної діяльності в процесі переговорів. Незважаючи на тривалі дискусії, колишню бездіяльність та інші затримки у прийнятті закону про протимінну діяльність, державні органи повільно дійшли згоди щодо своїх спільних ролей і обов'язків.

Новий закон «Про протимінну діяльність в Україні» закладає правові та організаційні засади здійснення протимінної діяльності в Україні, а також висвітлює особливості здійснення державного регулювання у цій сфері. Закон визначає «правові підстави, цілі та принципи, національні інтереси України у сфері протимінної діяльності, перелік об'єктів та суб'єктів протимінної діяльності, порядок їх створення та організаційно-процедурні засади діяльності; вимоги до фахівців з протимінної діяльності та розмінування та їх відповідальність; джерела фінансування протимінної діяльності; порядок реєстрації суб'єктів протимінної діяльності, надання допомоги постраждалим від вибухів, визначення статусу територій, призначених для протимінної діяльності та ін». Важ-

ливо, що закон закликає до створення Центру протимінної діяльності під керівництвом цивільних осіб, щоб «забезпечити нормативно-правове регулювання демократичного цивільного контролю у сфері протимінної діяльності, національних інтересів України у сфері протимінної діяльності, принципів міжнародного співробітництва та здійснення господарської діяльності у сфері протимінної діяльності, в тому числі страхування відповідальності під час розмінування та державних закупівель у сфері протимінної діяльності». Закон також встановлює підстави для укладання контрактів на послуги з протимінної діяльності та передбачає відповідальність за порушення законодавства у сфері протимінної діяльності.

Наразі, основною метою внесення змін до чинного Закону України «Про протимінну діяльність в Україні» було забезпечення сприятливих умов для побудови ефективної системи протимінної діяльності зі спрощеною вертикаллю управління й координації у цій сфері без необхідності витрачання додаткових коштів із держбюджету.

3.2. Поняття гуманітарного розмінування територій

Існують три види розмінування: *оперативне, військове та гуманітарне*. Оперативне розмінування виконується в разі невідкладної необхідності працівниками ДСНС, саперами поліції та фахівцями Держспецслужби транспорту.

У Міжнародних стандартах протимінної діяльності (IMAS) протимінна діяльність описується як «діяльність, спрямована на зменшення соціального, економічного й екологічного впливу вибухонебезпечних боєприпасів». Стандарти IMAS окреслюють, що протимінна діяльність не обмежується лише заходами з розмінування, а також поширюється на людей і суспільство в контексті впливу на них вибухонебезпечних предметів. Очевидна мета протимінної діяльності полягає у «зниженні ризику від вибухонебезпечних боєприпасів до рівня, коли люди можуть жити безпечно; в якому економічний, соціальний розвиток і розвиток охорони здоров'я можуть відбуватися без обмежень, накладених забрудненням вибухонебезпечними об'єктами, і в якому різні потреби жертв можуть бути задоволені».

З моменту свого заснування наприкінці 1980-х рр. протимінна діяльність перетворилася на глобальну діяльність, навколо якої розвинулася ціла галузь. Гуманітарна протимінна діяльність виникла в 1988 р. в Афганістані, а на початку 1990-х рр. її почали здійснювати в Камбоджі, Іраку, Мозамбіку і Анголі. Зростання та темпи змін у сфері протимінної діяльності майже не мають собі рівних серед міжнародної допомоги, і розширення відбувалося одночасно за кількома напрямками. В десятках різних країн з'явилися програми протимінної діяльності, а їх обсяг та складність перевищили найсміливіші очікування.

Вважається, що протимінна діяльність складається з п'яти взаємодоповнюючих груп заходів:

- розмінування;
- інформування про мінну небезпеку;
- допомога жертвам;
- інформаційно-пропагандистська діяльність;
- знищення запасів вибухонебезпечних об'єктів.

На підтримку цього розширення розвинулась мережа заходів, починаючи від надання спеціального обладнання й інформаційних технологій до систем регулювання та глобального управління. Зростання активності привернуло велику увагу засобів масової інформації, підвищивши репутацію протимінної діяльності та стимулюючи широкий інтерес і підтримку. У свою чергу, підвищена обізнаність допомогла залучити значні обсяги фінансування, необхідні для підтримки операцій такого масштабу.

В результаті свого прискореного розвитку організації з протимінної діяльності досягли відчутних результатів у країнах по всьому світу; вони також розробили шаблон для забезпечення швидкої та ефективної протимінної діяльності в нових програмах або постконфліктних ситуаціях. Частина підходу передбачає вибір перевіреного обладнання та методів для виконання завдань із розмінування, а також знання та досвід для їх ефективного використання.

Розмінування – це очищення землі відповідно до міжнародно узгоджених стандартів. Мета розмінування полягає в тому, щоб очистити певні ділянки землі від усіх вибухових пристроїв – мін,

боєприпасів, що не розірвалися, та будь-яких інших вибухо-небезпечних пережитків війни. Термін «набір інструментів для розмінування» часто використовується для опису діапазону параметрів, доступних керівнику програми протимінної діяльності. Елементи набору інструментів, які були адаптовані (з військового застосування), винайдені, розроблені та вдосконалені протягом останніх 15 років або близько того, тепер пропонують дієві рішення для більшості питань з розмінування.

Однак, незважаючи на численні досягнення протимінної діяльності, прогрес не завжди був миттєвий, і успіх був досягнутий значною ціною. Еволюція протимінної діяльності була перервана важко засвоєними уроками, особистими трагедіями та, іноді, відвертими невдачами.

3.3. Поняття військового розмінування територій

Військове розмінування – це процес, який виконують солдати для розчищення шляху, щоб військові могли просуватися під час конфлікту. У цьому випадку міни знешкоджуються лише в тому випадку, якщо вони блокують стратегічні шляхи, необхідні для просування або відступу солдатів на війні.

Основна мета військового розмінування – зробити швидкий безпечний шлях для військ, і їм може бути достатньо 80% розмінування. З іншого боку, метою гуманітарного розмінування є 100% очищення, щоб забезпечити використання земель людьми, які не беруть участі в конфліктах, для їх повсякденної діяльності, включаючи сільське господарство.

Коли збройні сили навчаються для підготовки до перетину замінованої території під час конфлікту, зазвичай передбачається кілька умов.

По-перше, військове розмінування повинно проводитися швидко, щоб зберегти будь-який елемент несподіванки або швидко дістатися до постраждалого (відновлення пораненого персоналу зазвичай охоплює військову підготовку).

По-друге, військове розмінування часто повинно бути прихованим і може проводитися в тиші або під покривом темряви.

По-третє, переправа повинна здійснюватися в такий спосіб, щоб звести до мінімуму жертви для солдатів: безпека цивільних осіб, які пізніше можуть скористатися переправою, зазвичай не є серйозною проблемою.

Прохід або проходи через небезпечну зону можна створити за допомогою ручних засобів або машин.

При використанні ручних засобів інженери з відповідними інструментами прокладають свій шлях через небезпечну зону. У деяких випадках це робиться в положенні лежачи за допомогою металодетекторів та/або пробників. У деяких арміях це можна робити стоячи, використовуючи довгі щупи або граблі. У більшості випадків прохід через заміновану територію має мінімальну ширину, необхідну для переміщення військових засобів, і сапери тісно співпрацюють, щоб якомога швидше завершити роботу.

Відмінності між військовими навчаннями та навчаннями з гуманітарного розмінування виникають через те, що цілі неоднакові. Метою гуманітарного розмінування є не просто зробити відносно безпечний прохід, а видалити всі вибухонебезпечні предмети в певній зоні на задану глибину. Кінцевим користувачам може знадобитися не тільки ходити по землі, їм може знадобитися копати її, будувати на ній або дозволяти своїм дітям грати на ній. Мета гуманітарного розмінування полягає не тільки в тому, щоб дозволити іншим використовувати шлях у відносній безпеці, вони повинні мати можливість робити це в повній безпеці.

Оперативне подолання мінних загороджень під час військових дій можливе двома шляхами: 1) об'їзд; 2) використання засобів розмінування.

Принцип дії засобів полягає в бомбардуванні ділянки зарядами, які детонуючи від вибуху утворюють ударну хвилю та спричиняють спрацювання механічних детонаторів закладених ворогом мін (рис. 46).



Рис. 46. Військове розмінування ділянки Запорізького фронту реактивною установкою УР-77 «Метеорит» (вересень 2023)

У списках військової допомоги США Україні з вересня 2022 р. стали з'являтися комплекси розмінування M58 Mine Clearing Line Charge (MICLIC). Це такий причепний варіант на базі БТР М113 (рис. 47).



Рис. 47. Причепна установка M58 Mine Clearing Line Charge

Система створює проходи в мінних полях та загородженнях завбільшки 8×100 м. Час перезарядження складає 30 хв.

Шведський комплекс Minröjningsorm – це спеціальний протимінний пристрій для прокладання проходів через мінні поля (рис. 48). Вибух Minröjningsorm створює «коридор» шириною від 2,5 до 5 м та довжиною 100-200 м.



Рис. 48. Переносна система Minröjningsorm

Розмінування відбувається після підриву заряду – ударна хвиля від його вибуху спричиняє спрацювання механічних детонаторів мін.

3.4. Особливості досвіду окремих країн

З моменту прийняття Конвенції про заборону протипіхотних мін у 1997 р. очищення від мін було завершено 33 державами (табл. 3), 32 з яких є учасниками Конвенції (Landmine Monitor 2023 [EN/AR] – World, 2023).

Таблиця 3

**Держави, які завершили очищення території від мін з 1997 р.
(станом на 1 вересня 2023 р.)**

Албанія	Гамбія	Йорданія	Палау	Уганда
Алжир	Гватемала	Коста-Ріка	Північна Македонія	Угорщина
Болгарія	Гондурас	Малаві	Республіка Конго	Франція
Бурунді	Греція	Мозамбік	Руанда	Чилі
Бутан	Данія	Непал	Свазіленд	Чорногорія
Велика Британія	Джибуті	Нікарагуа	Суринам	
Венесуела	Замбія	Німеччина	Туніс	

У 2020 р. Велика Британія повідомила про виконання зобов'язань щодо розмінування після завершення операції на Фолклендських островах. Аргентина, однак, не прийняла цю декларацію, заявивши, що їй заборонено доступ на територію та вона не може перевірити результати робіт.

Мавританію та Нігерію виключено зі списку держав, які завершили розмінування протипіхотних мін у 2020 р., а Гвінею-Бісау вилучено у 2021 р., оскільки кожна з них повідомила про нові заміновані території під їхньою відповідною юрисдикцією або контролем.

Після подання у 2021 р. нового запиту Мавританія тепер має новий кінцевий термін виконання 31 грудня 2026 р. У листопаді 2020 р. джихадисти почали активно використовувати саморобні вибухові пристрої в північних штатах.

У 2021 р. на XIX нараді держав-учасниць Нігерії надано подальше продовження терміну розмінування до кінця 2025 р.

12 держав, які завершили очищення території, відносять до Африки; 9 до Європи; 7 з Америки; і 5 з Азії (включаючи Тихий океан і Близький Схід). Непал є єдиною державою-неучасницею, яка завершила розмінування на своїй території.

Албанія. 1 грудня 2009 р. на Картахенському саміті Албанія офіційно оголосила, що вона досягла статусу вільної від мін країни. Усі три партнери, які впроваджують вимоги щодо розмінування в Албанії, а саме Міжнародний трастовий фонд з розмінування та допомоги жертвам мін, Албанська виконавча служба протимінної діяльності та DanChurchAid, організували спільний захід «Розмінування Албанії 2000-2009» для звітування за 10 років роботи. За цей час зібрано 25,6 млн \$, з них безпосередньо на роботи з розмінування в Албанії – 19,6 млн \$, а решту – на освіту щодо мінної небезпеки, допомогу постраждалим, обладнання, споруди та підтримку операцій. Загальна площа землі, звільненої для місцевого використання в результаті цих дій, становила 16,6 км² (Sancanin & International Trust Fund for Demining and Mine Victims Assistance, 2010).

Під час конфлікту в Косово 1999 р. на албанській території закладено міни та випущено суббоєприпаси. Касетні удари завдано по військових позиціях уздовж північно-східного прикордонного

регіону Албанії, що посилювало зараження країни. Забруднені території простягнулися вздовж кордону від Чорногорії на півночі до Македонії на півдні. У той час приблизно 25 500 жителів населяли 39 сіл на північному сході Албанії, включаючи міста Кукес, Хас і Тропоє. З 1999 р. сталося 210 аварій на мінах і боєприпасах, що не розірвалися, в результаті яких 238 осіб отримали поранення і 34 людини загинули.

Після припинення конфлікту в Косово уряд Албанії впорався з проблемою забруднення мінами та нерозірваними боєприпасами залучивши збройні сили Албанії до швидкого очищення поверхні. Однак, оскільки очищення не було виконано відповідно до Міжнародних стандартів протимінної діяльності, згодом території довелося розчистити знову після того, як Албанія прийняла IMAS у 1999 р. Спочатку визначили 15 250 000 м² у 102 забруднених місцях уздовж 120-кілометрового відрізка кордону та до 20 км усередині Албанії. Наприкінці 1999 р. уряд Албанії прийняв IMAS і заснував Албанський комітет із протимінної діяльності.

29 лютого 2000 р. урядом Албанії ратифіковано Оттавську конвенцію із зобов'язанням знищення всіх запасів протипіхотних мін до 2004 р. і розмінування всієї території країни до 2010 р.

У червні 2002 р. створено та узгоджено з усіма учасниками План протимінної діяльності. Навчено та споряджено Групу з контролю якості для проведення всіх заходів з розмінування. Згодом, застосовуючи всі відповідні процедури та стандарти, сертифіковано очищену землю в регіоні Кукес як вільну від мін і передано постраждалій громаді. За підтримки Женевського міжнародного центру гуманітарного розмінування впроваджено Систему управління інформацією щодо протимінної діяльності у 2003 р. для реєстрації залишкових загроз та прогресу заходів.

Останній рік операцій з розмінування в Албанії був найважчим. План розмінування територій до кінця сезону 2009 р. не дозволяв жодних зволікань. Віддалені високогірні райони виявилися важкодоступними. Обладнання для розмінування доводилося перевозити кіньми по крутих, суворих, віддалених місцевостях. Загалом уряд Албанії повернув у користування 16 608 055 м² на 207 ділянках проєкту за допомогою різних методів вивільнення, включаючи

розмінування, розмінування зони бойових дій, звільнення нетехнічними засобами (такими як скорочення шляхом скасування та корекція даних IMSMA) і технічні засоби (такі як технічний огляд і очищення). За остаточними результатами Албанський комітету з протимінної діяльності, за рахунок донорських коштів знешкоджено 17 569 вибухових пристроїв (12 452 протипіхотні міни, 152 протитанкові міни та 4 965 одиниць нерозірваних боеприпасів).

Результати опитувань місцевих мешканців показують, що вони з високим рівнем довіри поставилися до результатів розчищення передусім тому, що вивільнена земля використовується для повсякденних цілей. Проведення оцінки та обстеження території після заходів розмінування триває приблизно ще приблизно 9-18 місяців. У цей період забезпечується зворотний зв'язок із місцевою громадою. Така інформація дає змогу місцевим і національним органам влади враховувати зосереджені та детальні рішення щодо майбутніх планів розвитку інфраструктури або поліпшень у регіонах, які раніше постраждали від мін.

Велика Британія. Колись у Сполученому Королівстві було 1997 мінних полів, які містили від 338 500 до 350 000 наземних мін. Імовірно, прогулянка сучасними пляжами південного чи східного узбережжя – це швидше за все місця мінних полів 1940-х рр. Багато уроків цього періоду залишаються актуальними і сьогодні, оскільки країни прагнуть застосовувати принципи звільнення землі для зменшення ризиків вибухонебезпечного забруднення до допустимого рівня (Evans & GICHD, 2017).

У червні 1940 р. уряд Сполученого Королівства вважав, що стоїть перед неминучою загрозою вторгнення. Влада негайно почала укріплювати порти та потенційні пляжі, придатні до висадки десанту на берег.

Укріплення та перешкоди розглядалися як засіб вирівнювання балансу ймовірної стратегії бліцкригу Німеччини. Журнал Королівського інженерного корпусу стверджує, що *«встановлення мінних полів було першим широкомасштабним практичним досвідом британської армії в цій галузі війни. Брак досвіду та*

поспішна операція призвели до багатьох помилок, які згодом завдали великих проблем підрозділам і членам Корпусу».

Розмінування мінних полів Сполученого Королівства почалося всерйоз наприкінці 1943 р., коли загроза німецького вторгнення мінімізувалася. Сертифікати розмінування були ретельно сформульовані та чітко вказували, що міни видалялися лише з визначених територій. Часто висновки до розмінування завершувалися формулюванням «неможливо гарантувати, що територія може вважатися безпечною».

За даними історії Королівського інженерного корпусу, загальні втрати під час усіх обов'язків зі знешкодження бомб (включно з розмінуванням) у Сполученому Королівстві під час Другої світової війни становили 55 офіцерів та 339 інших рядових убитих, а 37 офіцерів та 172 інших рядових отримали поранення. За деякими оцінками, загальна кількість смертей, які сталися на мінних полях Британії, становить приблизно 500 цивільних осіб і військово-службовців.

Багато військовополонених були залучені до небезпечних операцій з очищення. У 1946 р. близько 1200 українських військовополонених працювали саперами у Великій Британії. Хоча до 1948 р. всі мали право на репатріацію, деякі вирішили залишитися цивільними працівниками Королівських інженерів. Було розроблено інноваційні методи очищення, які включали використання бульдозерів і водометів для переміщення піску і навіть гальки. Струмені води викривали міни і часто їх детонували. Зрештою, зони, охоплені цим процесом, будуть згодом обстежені електронним детектором.

Усі міни, які використовувалися на берегах Британії, мали високий вміст металу, і їх було відносно легко знайти, якщо вони перебували в межах периметру мінного поля. З кінця 1943 до кінця 1948 рр. загалом розміновано 1986 мінних полів, які склалися з 338 500 мін. До 1972 р. розміновано ще одинадцять інших складніших мінних полів. Останній замінований пляж у Тріммінгемі в Норфолку було нарешті завершено в 1972 р. У 2004 р. неподалік від Мандеслі відкрито меморіал на честь 26 королівських інженерів, які загинули під час розчищення пляжів лише в цьому районі (рис. 49).



Рис. 49. Меморіал королівським інженерам (Норфолк, Великобританія)

Розміновані поля не просто повернули пляжі в громадське користування. До 1960-х рр. деякі об'єкти стали атомними електростанціями (поля поблизу Дандженесс). Періодично в зв'язку з міграцією мін, спричинених природними процесами припливів, деякі пляжі узбережжя перевіряються повторно.

Джибуті підписала Договір про заборону мін 3 грудня 1997 р., ратифікувала його 18 травня 1998 р. та стала державою-учасницею 1 березня 1999 р.

Проблема мін у Джибуті є результатом десятилітньої громадянської війни. Хаотичність ведення бойових дій не дозволяє оцінити масштаб проблеми наземних мін у Джибуті. Неодноразові інциденти з мінуванням за участю як військового, так і цивільного персоналу, особливо в родючих північних регіонах країни, призвели до серйозного сповільнення економічної діяльності. Міни та нерозірвані боєприпаси знаходяться на території, де проживає 45% населення Джибуті. У той час як французькі сили, дислоковані в країні, забезпечили елементарну військову підготовку невеликого джибутійського військового контингенту, Джибуті не мав ані технічних, ні організаційних можливостей для

розв'язання проблеми протипіхотних мін. Тому наприкінці 1999 р. Джибуті звернувся до уряду США з проханням про допомогу.

Після схвалення урядом США надання допомоги Посольство США в Джибуті, уряд Джибуті та USCENTCOM розробили однорічний план гуманітарного розмінування країни та виділили 2 386 тис. \$.

План зосереджувався на створенні цивільного керівного комітету Джибуті та організації центру протимінної діяльності, навчанні та оснащенні військового підрозділу розмінування, розвитку можливостей інформування про мінну проблему та управління інформацією, а також активізації спільноти донорів у замінованих регіонах для підтримки Програми. Це унікальне об'єднання сил не лише досягло успіху, але й завершило виконання протягом 12 місяців (Childress & Zajac, 2002).

Підрозділ із розмінування створений у 2001 р., щоб гарантувати, що Джибуті може бути вільним від мін після багатьох років громадянської війни. Ця ціль була досягнута в 2003 р. Через вісімнадцять років міни залишаються загрозою для навколишнього регіону.

Наразі Джибуті спрямовує зусилля з розмінування на підтримку Місії Африканського Союзу в Сомалі, активної регіональної миротворчої місії, якою керує Африканський Союз за схваленням ООН.

Мозамбік підписав Конвенцію 3 грудня 1997 р., ратифікував її 25 серпня 1998 р. (набула чинності – 1 березня 1999 р.).

Мозамбік зобов'язався знищити або забезпечити знищення всіх протипіхотних мін у країні якомога швидше, але не пізніше 1 березня 2009 р. Згодом відбулася подача запиту на продовження терміну до 1 березня 2014 р. Нове відтермінування було встановлено 31 грудня 2014 р. І лише, 17 вересня 2015 р. Мозамбіку вдалося оголосити про завершення знищення всіх протипіхотних мін у замінованих районах, що засвідчило можливість існування світу без мін (Gutiérrez et al., 2022).

«Те, що могло вважатися нездоланим завданням лише 20 років тому, було зроблено в Мозамбіку завдяки політичній волі та використанню відповідної методології», – сказала Меган Берк, директор Міжнародної кампанії із заборони наземних мін. «Це

вражаюче досягнення. Це також показує, що якщо відповідні ресурси використовувати належним чином, більшість забруднених держав можуть завершити розмінування протягом наступних десяти років».

П'ятнадцятирічна громадянська війна в Мозамбіку забрала мільйон життів. Близько 5 млн людей залишили свої домівки, а територія стала однією з найзамінованіших країн світу. Невідома кількість постраждалих від наземних мін, але орієнтовно 10 900 осіб по всій країні були вбиті або поранені від цієї зброї.

Протягом двадцяти двох років у HALO Trust працювало понад 1600 чоловіків і жінок з усіх провінцій Мозамбіку. Використовуючи як ручне, так і механічне розмінування, було знешкоджено понад 171 тис. мін – близько 80% від загальної кількості знищених мін (рис. 50).



Рис. 50. У деяких районах Мозамбіку використовували щурів

Руанда. 1 жовтня 1990 р. Руандійський патріотичний фронт (РПФ) вторгся в Руанду з території сусідньої Уганди, почавши громадянську війну. Згідно зі звітом Human Rights Watch за січень 1994 р., уряд Руанди і РПФ використовували наземні міни, особливо в північній частині країни вздовж кордону з Угандою (Smyth, 1994). Протягом короткого періоду між підписанням Арушських угод і смертю президента Габ'ярімана, що спричинила початок геноциду 1994 р. проти тутсі, біженці і внутрішньо переміщені особи повернулися в ці забруднені райони, де ризик наземних мін усе ще був загрозою для життя і травм кінцівок. Сполучені Штати Америки, Франція, практично всі іноземці були евакуйовані з країни в квітні 1994 р. із початком Геноциду проти тутсі, тому операції з розмінування було припинено. Після закінчення геноциду знову розпочалися серйозні зусилля з розмінування територій.

Новий національний офіс із розмінування, створений відповідно до двосторонньої домовленості між США та Руандою, оцінив необхідність знешкодження 250 тис. мін, головно у північно-західній, північно-східній та центральній областях (столичний округ Кігалі) (Rwanda – Landmines Country Report – Rwanda, 1996).

У травні 1995 р. команда Міністерства оборони США відвідала Кігалі в рамках двосторонньої угоди щодо проведення робіт із розмінування. З бюджетом в 105 млн \$ США підготовлено 85 активних військовослужбовців армії Руанди (рис. 51) та надано 18 собак-шукачів. Американська компанія з розмінування надала 250 металодетекторів для проєкту.

Міни та інші боєприпаси, що не вибухнули, були видалені підготовленими військовими. Солдати входили до складу Національного офісу з розмінування. Їх навчили та включили до груп огляду та груп розмінування. У деяких постконфліктних ситуаціях протилежні сторони конфлікту працюють спільно над розмінуванням. У Руанді більшість солдатів Армії звільнення Руанди (FAR) були у вигнанні після поразки, а розмінуванням займалися солдати РПФ, хоча, за словами одного колишнього члена Національного офісу з розмінування, деякі колишні солдати FAR, які повернулися та визнали свої злочини, змогли приєднатися до РПФ та сил розмінування.



Рис. 51. Руандійські солдати пройшли спеціальну підготовку для програми розмінування

Солдати Національного офісу з розмінування співпрацювали з місцевою владою, щоб інформувати громади про ризики мін. Члени громади інформували військових про розташування мін у обстежуваних районах. Поки проходило розмінування, людей, які проживали в небезпечних районах, тимчасово відселяли задля їхньої безпеки. Крім того, військові розповідали громадам про ризики наземних мін і про те, що робити, якщо хтось натрапить на міну. Після розмінування території військові повідомляли місцеву владу, щоб громадяни знали, що міни знешкоджено. За словами респондентів, коли взаємодія між військовими, які займаються розмінуванням, і цивільним населенням у громаді справді мала місце, вона була позитивною (Hinklin, 2021).

Руанда змогла виконати вимогу щодо очищення від всіх протипіхотних мін і знищення їх запасів раніше встановленого графіку в 10 років після підписання Договору про заборону мін.

4 грудня 2009 р. ЮНІСЕФ на Картахенському саміті «Світ, вільний від мін» привітав уряд Руанди з тим, що вона стала першою країною у світі, яка була оголошена вільною від наземних мін.

Чорногорія. Різноманітність ризиків вибухонебезпечних об'єктів – прямий наслідок довгої, багатої та насиченої подіями історії. Сьогодні на території Чорногорії можна знайти майже всі типи боєприпасів останніх 100 років: підводні нерозірвані боєприпаси часів Першої та Другої світових війн в Адріатичному морі, озерах і річках; нерозірвані боєприпаси на землі; розкидані боєприпаси, а також касетні суббоєприпаси та авіаційні бомби від нальотів 1999 р. Чорногорія приєдналася до Конвенції 23 жовтня 2006 р., і Конвенція набула чинності для Чорногорії 1 квітня 2007 р. Чорногорія підтримує та бере участь у всіх регіональних ініціативах із розмінування (Development and Training, Centre for Testing, 2020).

Донедавна попереджувальні знаки «Обережно, міни» ще інформували та привертали увагу пасажирів, що вони знаходяться в безпосередній близькості від мінно підозрілих зон, поблизу прикордонного переходу Хум – Шчепан Поле, що сполучає Боснію та Герцеговину з Чорногорією (рис. 52).



Рис. 52. Кордон Чорногорії з Боснією та Герцеговиною (2021)

Від самого початку уряд Чорногорії за підтримки Державного департаменту США створив Регіональний водолазний центр підводного розмінування та підготовки водолазів (2002). У 2014 р. уряд Чорногорії оприлюднив інформацію про те, що всі постраждалі від наземних мін і касетних бомб райони, були обстежені й у такий спосіб, вирішив перекласти роль постійної діяльності із залишкового забруднення Департаменту нерозірваних боєприпасів Чорногорський центр протимінної діяльності на Управління з надзвичайних ситуацій.

Незабаром після цієї реорганізації Департамент нерозірваних боєприпасів отримав нову інформацію про касетні боєприпаси та почав пошук організацій-партнерів. Норвезька народна допомога розпочала проєкт знищення касетних боєприпасів у 2018 р. Цей проєкт допоміг Чорногорії досягти статусу «Вільної країни» того ж року. На сьогоднішній день благополучно очищено 1613146 м² землі й виявлено 82 суббоєприпаси (BLU-97, Mk-118 і Mk-4).

Починаючи з 2016 р. Міжнародний трастовий фонд з розмінування та допомоги жертвам мін (ITF) та Чорногорський центр протимінної діяльності провели кілька зустрічей та виїздів, через які було визначено, що Чорногорія все ще бореться з різними проблемами мінних і кластерних нерозірваних боєприпасів як на суші, так і під водою. В даний час ITF за підтримки Управління зброї Держдепартаменту США відновлює свою діяльність в Чорногорії, зокрема у сфері фізичної безпеки, управління запасами та знищення звичайних озброєнь у співпраці з відповідними національними органами.

У березні 2018 р. Управління з питань надзвичайних ситуацій повідомило, що воно підготувало збірник правил щодо знищення нерозірваних боєприпасів і наразі працює над розробкою національного законодавства про протимінну діяльність. У лютому 2019 р. повідомлено, що законодавство про протимінну діяльність наявне, проте у Чорногорії не існує національних стандартів для обстеження та розмінування. Всі операції проводилися відповідно до Міжнародних стандартів протимінної діяльності (IMAS) та національних стандартів, розроблених для нетехнічного обстеження, технічного обстеження, очищення та використання собак для виявлення вибухових речовин.

Чорногорія виконала свої зобов'язання згідно Конвенції про касетні боєприпаси, завершивши утилізацію залишків касетних боєприпасів 20 липня 2020 р., і оголосила про виконання своїх зобов'язань станом на 21 липня. Чорногорія подала свою Декларацію про відповідність 13 жовтня 2020 р. Завершенню сприяло створення «Коаліції країни», в якій Норвегія, як головна держава/донор підтримки, співпрацювала з Чорногорією, а Норвезька народна допомога – як виконавець партнер. Ця коаліція забезпечила ефективне планування та завершення очищення території до кінцевого терміну.

3.5. Порівняння динаміки встановлення та знешкодження мін

За оцінками ООН, у 1993 р. було встановлено близько 2 млн нових мін. За той самий період було піднято лише 100 тис. наземних мін (Roberts & Williams, 1995).

Станом на 2023 р. у Договорі про заборону мін є 164 держави. З них 132 підписали та ратифікували договір, а 32 приєдналися. 33 держави досі не є учасниками Договору про заборону мін (30 із 33 держав не-учасників накопичили протипіхотні міни).

Поява нових територій уражених мінами як правило приурочена до активних збройних конфліктів та війн.

Російське вторгнення в Україну. Безпрецедентна ситуація, коли країна, яка не є учасником Договору про заборону мін (росія), використовує таку зброю проти території держави-учасниці (України) за можливої допомоги сусідньої держави-учасниці, Білорусі.

Російський літак розкидав міни ПФМ у Сумській області в березні 2022 р. У квітні 2022 р. з'явилися подібні повідомлення про територію поблизу міста Попасна та решті території Донбасу. У вересні-грудні 2022 р. українські сапери в Харківській області, зокрема в Ізюмі, та в деяких районах Херсонської області після відступу російських військ ідентифікували численні типи протипіхотних мін.

Замінування задокументовано в 11 областях України: Чернігівській, Дніпропетровській, Донецькій, Харківській, Херсонській, Київській, Луганській, Миколаївській, Одеській, Сумській та Запорізькій.

Громадянська війна у М'янмі. Збройні сили М'янми захопили владу в результаті військового перевороту, що обумовило зростання кількості нових мін після 1 лютого 2021 р. Це включало мінування об'єктів інфраструктури, таких як вежі мобільного зв'язку, видобувні підприємства та енергетичні трубопроводи. У серпні 2023 р. протипіхотні міни, виготовлені армією М'янми, були захоплені на північному заході та південному заході країни, що свідчить про широке використання мін військовими. Конкретні звіти та твердження про нове застосування протипіхотних мін Збройними силами М'янми протягом звітного періоду зафіксовано в штатах Чин, Кайя, Качин, Ракхайн і Шан, а також у регіонах Баго і Танінтарі.

У жовтні 2020 р. М'янма спростувала повідомлення про міни на кордоні з Бангладешом. Проте Бангладеш заявив, що «на жаль, єдиною відповіддю з боку М'янми залишається пряме заперечення такого звіту, заснованого на фактах».

Громадянська війна у Колумбії. У Колумбії Національна визвольна армія, дисидентські групи Револьюційних збройних сил Колумбії – Народна армія та інші недержавні збройні формування – продовжують виробляти та використовувати протипіхотні міни. У 2022 р на 30% (відносно 2021 р.) зросли інциденти з використанням протипіхотних мін. Зокрема, зафіксовано 105 інцидентів із застосуванням наземних мін, приписуваних ELN, 224 інциденти, приписуваних дисидентам FARC, і 26 інцидентів, приписуваних GAO Clan del Golfo. Департаменти Чоко, Болівар, Наріньо та Путумайо серйозно постраждали від протипіхотних

мін у 2023 р. У департаментах Антіокія, Араука, Болівар, Каука, Чоко, Уіла, Мета, Наріньо, Норте-де-Сантандер, Путумайо та Вальє-дель-Каука раніше тривав збройний конфлікт між Національною армією Колумбії та недержавними збройними формуваннями, і роботи по їх розмінуванню досі не завершилися.

Індія. У 2022 та 2023 рр. повідомлялося про інциденти, пов'язані з використанням протипіхотних мін із натискними пластинами Комуністичною партією Індії-Маоїстами (CPI-M) або її Народно-визвольною партизанською армією (PLGA).

Таїланд. Повстанські групи Паттані на півдні Таїланду спорадично використовували саморобні протипіхотні міни у 2022 та 2023 рр. (районі Сунгай Паді, провінція Наратхіват).

Туніс. Повідомлено про використання саморобних вибухових пристроїв, що активуються жертвою, ісламістськими групами, що базуються в горах. губернаторства Qsrein Wilaya/Kasserine протягом більше десяти років.

Сахельський регіон (Алжир, Беніні, Буркіна-Фасо, ДРК, Малі, Нігер, Нігерія та Того). Повідомлялося, що Джамаат Нусрат аль-Іслам валь-Муслімін (JNIM) відповідає за використання мін у Буркіна-Фасо, Малі та Того. Ісламська держава (ISWAP), або Боко Харам, відповідала за використання в Нігері та Нігерії. В Алжирі приписано Аль-Каїді. Ісламістські групи також відповідають за інциденти в єгипетському Синайському регіоні.

3.6. Очищення території України від мін за період 1991-2022 рр.

Під жорстким контролем Радянського Союзу під час Другої світової війни територія сучасної України була всіяна мінними полями та складами боєприпасів. Коли в серпні 1991 р. СРСР розпався на незалежні держави, новонароджена Україна успадкувала тягар радянських боєприпасів і мін, і отримала четверті у світі за кількістю запаси протипіхотні мін на складах (7,17 млн. шт.). Запас включав 6 млн мін типу ПФМ, 400 тис. мін типу ПМН та 700 тис. інших різноманітних мін (McCoull, 2007).

Україна стала 148 країною, яка приєдналася до Конвенції в червні 2006 р.

Під час Другої світової війни радянські військові сили не здійснювали організований облік закладення мін на території УРСР. Проте після 1945 р. вилучено понад 3 млн протипіхотних мін і боєприпасів, що не розірвалися, але багато досі залишаються невиявленими або просто не знешкодженими (Ukraine, 2000).

До сьогодні влада шукала під землею близько 1000 бойових місць по всій Україні із понад мільйоном мін і вибухонебезпечних пережитків війни. З 2000 по 2005 рр. випадкові підриви в таких небезпечних мінних зонах спричиняли в середньому 19 жертв серед цивільного населення на рік.

Морські міни також були знайдені в Чорному морі. Води біля узбережжя Кримського півострова містять затонулі боєприпаси, які, як вважають органи влади, є хімічними боєприпасами. Хоча ці наземні та водні міни становлять постійну загрозу для українців, найбільша кількість вибухонебезпечних об'єктів була накопичена на складах по всій країні.

У 1998 р. Україна утилізувала 100 тис. мін ПФМ-1 та всі накопичені міни типу ПМН протягом 2002 та 2003 рр. (Dansereau, 2003).

Протягом 2001 та 2002 рр. групи саперів знищили 348 тис. вибухонебезпечних пережитків війни на українській землі. З серпня 2005 р. до січня 2006 р. сапери зібрали 1,1 млн додаткових залишків. У 2005 р. знищено понад 39 тис. боєприпасів (McCoull, 2007).

Підтримка зусиль України по утилізації мінних запасів, боєприпасів, легкої та стрілецької зброї здійснювалася в рамках двох проєктів Трастового фонду Партнерства заради миру. Перший проєкт очікував знешкодження впродовж 2002-2003 рр. 400 тис. протипіхотних мін на хімічному виробництві в Донецьку. Це був лише перший крок на шляху до знищення запасів майже 7 млн протипіхотних мін, що зберігалися на території України.

Другий проєкт, започаткований у 2005 р., передбачав знешкодження 133 тис. тонн звичайних боєприпасів, 1,5 млн од. легкого озброєння й 1000 переносних ракетно-зенітних комплексів, із запланованою вартістю, що сягала приблизно 25 млн € (євро). Очікувана тривалість проєкту розраховувалася на період в 12 років і стала найбільшим за своїми обсягами окремим подібним проєктом із демілітаризації у світі.

Відповідно до термінів, визначених Оттавською конвенцією, Україна повинна була повністю знищити свої запаси мін до червня 2010 р. та очистити свої мінні поля до червня 2016 р.

Показники щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Щорічні темпи очищення території України від вибухонебезпечних предметів (за даними Fedorenko et al. (2022))

Період	Кількість залучень піротехнічних підрозділів	Кількість знешкоджених вибухонебезпечних предметів, од.	Площа очищено території, км ²
2014	7090	151100	30,30
2015	8081	50152	106,67
2016	10327	80011	81,53
2017	13167	112728	688,36
2018	10917	168812	867,20
2019	11891	67415	69,49
2020	14166	73375	49,39
2021	12909	89614	45,52

Станом на 2023 р. Україна знищила 3 438 948 протипіхотних мін, що становить більше половини її загальних запасів. У звіті про прозорість згідно зі статтею 7 Договору про заборону мін за 2022 р. Україна оголосила про наявність 3 364 433 протипіхотних мін, у тому числі 3 363 828 мін серії ПФМ і 605 мін ОЗМ-4.

У квітні 2023 р. Україна повідомила, що її запаси протипіхотних мін зберігаються на військових складах (рис. 53) Збройних Сил України та *«будуть знищені відповідно до зобов'язань, взятих після припинення бойових дій та відновлення територіальної цілісності України в її міжнародно визнаних кордонах»*. Водночас Україна також зазначила, що *«якщо склади та арсенали, де зберігаються протипіхотні міни, розташовані на окупованих росією територіях або зазнали авіаційних та ракетних ударів збройних сил російської федерації, то інформацію про такі міни можна отримати лише після того, як територія буде звільнена, очищена та проведено відповідні інспекції»*.



Рис. 53. Типовий склад боєприпасів

У червні 2023 р. Україна повідомила державам-учасникам на міжсесійних зустрічах Договору про заборону мін у Женеві, що їй потрібен час для аудиту та проведення перевірки запасів.

3.7. Прогнозні оцінки тривалості післявоєнного розмінування території України

Враховуючи безпрецедентні масштаби російсько-української війни діяльність фахівців із розмінування буде критично необхідною протягом тривалого періоду часу.

Проблему черговості гуманітарного розмінування для території України сформовано в (Беспалько et al., 2023). Загальну етапність розмінування звільнених територій наведено в (Проворний, 2022).

Заступниця міністра внутрішніх справ Мері Акопян у інтерв'ю українському інформаційному агентству «РБК-Україна» зазначила «один день активних бойових дій дорівнює до 30 днів розмінування» (Кучерявець, 2022). На той момент оптимістичність прогнозу в 5-7 років видавалася реальною, оскільки військові дії тривали лише кілька місяців.

Проект Military Feodal, який агрегує інформацію для проведення гуманітарного розмінування, влітку 2022 р. давав більш стриману оцінку – близько 5 млрд \$.

У серпні 2023 р. Мінекономіки, працюючи над «Національною стратегією протимінної діяльності», висловлювало сподівання протягом 10 років розмінувати й повернути у використання 80% земельних угідь (МінЕкономіки, 2024).

Асоціація саперів припустила, що повне розмінування України може тривати десятки років (Мірошниченко, 2023). Розмінування квадратного метра землі може коштувати 3-4 \$. ЗМІ вказують на загальну вартість в 400-900 млрд \$. Проте такий обсяг можливий лише за умови, якщо всі 139 тис. км² вважаються потенційно небезпечними. Насправді, провівши технічне обстеження, результат виявиться значно меншим, позаяк не всі українські поля виявляються густо всіяними мінами.

За оцінкою Світового банку, для повного розмінування й очищення територій потрібно 37 млрд \$. За світовим досвідом, близько 8-15% території, найімовірніше, не розмінують у найближчі десятиліття, а можливо, й ніколи. Для України ця цифра може становити до 20% або приблизно 35 тис. км² (Набожняк, 2023).

Один із викликів пов'язаний із складністю процедур, які регламентують розмінування за міжнародними стандартами. *«Є думка, що за цими стандартами на розмінування доведеться витратити 70 років. У нас такого часу немає. На щастя, це розуміють і в міжнародних інституціях, де ці стандарти розроблено. Фактично Україна очолить процес оновлення підходів і процедур для пришвидшення розмінування не тільки в нас, а й по всьому світу»* (Набожняк, 2023).

Спираючись на приклад «реальних» норм розмінування і схожі норми, розроблені в рамках дослідження «Глобальні оперативні потреби», можна побачити класифікацію 12 окремих умов місцевості та моделювання очікуваної швидкості очищення таких територій (табл. 5).

Таблиця 5

**Розрахункові темпи очищення різної місцевості
(«A Study of Manual Mine Clearance», 2005)**

Умови місцевості	Очистка м ² / добу	Умови місцевості	Очистка м ² / добу
Пасовища	10,0	Село	3,5
Ліс	9,6	Гірська місцевість	12,6
Схили пагорбів	9,5	Пустеля	104,2
Шляхи	7,3	Рисові поля	16,9
Інфраструктура	4,4	Напівпосушлива саванна	8,0
Місто	3,7	Чагарник	7,1

Окрім умов місцевості, на рівень продуктивності саперів, зокрема, впливатиме: рівень фрагментації та забруднення; тип ґрунтового покриву; рельєф місцевості; погода та клімат; використання механічних методів підготовки ґрунту (механічно підготовлена ділянка підвищує продуктивність робіт); рослинний покрив; кількість вирв від вибухів; характеристики металодетектора; засоби індивідуального захисту; управління смугами руху; досвід сапера.

Зважаючи на кінцеве значення площі ураженої території по завершенні війни та решту показників, зокрема кількості та досвідченності операторів розмінування, можна припустити ймовірні терміни тривалості гуманітарного розмінування України.

Висновки до розділу 3

Зростаюче усвідомлення гуманітарних наслідків дедалі більшого використання протипіхотних мін призвело до створення широкомасштабної транснаціональної коаліції Міжнародної кампанії із заборони протипіхотних мін, яка виступала за повну заборону виробництва, експорту та використання такої зброї. Зусилля кампанії, об'єднані зусиллями МКЧХ і зацікавлених установ ООН, таких як Департамент ООН з гуманітарних питань і Дитячий фонд ООН (ЮНІСЕФ), до яких зрештою приєдналася зростаюча коаліція співчуваючих, сприяли укладенню Угоди про протипіхотні міни в 1997 р.

Існують три види розмінування: оперативне, військове та гуманітарне. Оперативне розмінування було пов'язане в основному з випадковим віднайденням вибухонебезпечних пережитків Першої, Другої світових війн, наслідків бойових дій у зоні АТО/ООС. Гуманітарне розмінування є комплексом взаємопов'язаних заходів, в яких безпосереднє розмінування – лише один із п'яти компонентів (розмінування, інформування про мінну небезпеку; допомога жертвам; інформаційно-пропагандистська діяльність; знищення запасів вибухонебезпечних об'єктів). Результати гуманітарного розмінування дозволяють людям повертатися до звичного життя на раніше уражених територіях. Військове розмінування в основному пов'язане з потребою подолати мінні загородження, які використовують як оборонний рубіж. Вимоги до військового розмінування порівняно з гуманітарним менші.

Десятки країн успішно подолали ураження території мінами та офіційно оголосили про це. Досвід кожної із зазначених країн унікальний і безумовно корисний для України.

До січня 2019 р. Україна не мала національного законодавства щодо протимінної діяльності. Проте відсутність спеціального законодавства не була непереборною проблемою для гуманітарного розмінування та пов'язаної з ним діяльності.

Кілька років повномасштабного вторгнення відкинули всі оптимістичні прогнози щодо розмінування території України. Актуальними стає пошук та застосування кардинально нових методів гуманітарного розмінування територій.

Література

A guide to the International Mine Action Standards – World. (2006, April 1). ReliefWeb. Retrieved from: https://reliefweb.int/report/world/guide-international-mine-action-standards?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwv7O0BhDwARIsAC0sjWO DzuHlfeDprJrRhP5wZnydCZeBBcYv93B8SWRGvRAEes5OTbCbQS8aAoDREALw_wcB

A study of manual mine clearance: 2. The management of manual mine clearance programmes. (2005). In The Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD). GICHD. Retrieved from: www.gichd.org/fileadmin/uploads/gichd/Media/GICHD-resources/info-documents/Manual-mine-clearance-Aug2005/Manual_Mine_Clearance_Book2.pdf

Banning Anti-Personnel Mines: The Ottawa Treaty - World. (1998, December 1). ReliefWeb. Retrieved from: https://reliefweb.int/report/world/banning-anti-personnel-mines-ottawa-treaty?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwv7O0BhDwARIsAC0sjWPr0Qa2V2PpAF_9prFObd6rbJ-Gl2MjGxFGkhX2z5tTqnx7Dc70-3YaAuFKEALw_wcB

Childress, A., & Zajac, M. (2002). Tailoring Partnerships for Success: Experiences from the Djiboutian Humanitarian Demining Program. JMU Scholarly Commons, 6(2), 4. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol6/iss2/4/>

Dansereau, Kevin (2003) "NATO-Sponsored Project Reduces Massive Mine Stockpile Across Eastern Ukraine," Journal of Mine Action : Vol. 7 : Iss. 2 , Article 27. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol7/iss2/27>

Development and Training, Centre for Testing. (2020). Mine Action 2020: Book of Papers. In JMU Scholarly Commons. HRC-CTRO. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwg/1495>

Evans, R. & GICHD. (2017). World War II Coastal minefields in the United Kingdom World War II coastal minefields in the United Kingdom. Journal of Conventional Weapons Destruction, 21(1), 9. <https://core.ac.uk/download/pdf/153202375.pdf>

Fedorenko, G., Fesenko, H., & Kharchenko, V. (2022). Analysis of methods and development of the concept of guaranteed detection and recognition of explosive objects. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, 4 (22), 20–31. <https://doi.org/10.30837/itssi.2022.22.020>

Garbino, H. & Swiss Foundation. (2019). UKRAINE's newly adopted Mine Action Law: What does this mean for MA programs? *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 23(1), 13–16.
<https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss1/1>

Gutiérrez, P., Fenn, C., Smith, D., Torpey, P., & Levett, C. (2022, October 19). How Mozambique was cleared of landmines – a visual guide. *The Guardian*. Retrieved from: www.theguardian.com/world/ng-interactive/2015/sep/17/how-mozambique-was-cleared-of-landmines-a-visual-guide

Hinklin, R. (2021). Landmine Removal in PostConflict Rwanda: The connection between demining, reconstruction, and reconciliation. SIT Graduate Institute. https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/3401

Landmine Monitor 2023 [EN/AR] - World. (2023, November 14). ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/world/landmine-monitor-2023-enar>

McCoull, C. (2007, season-02). Ukraine. *Journal of Mine Action*.
<https://commons.lib.jmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1801&context=cisr-journal>

Profile, Country (2000) "Ukraine," *Journal of Mine Action* : Vol. 4 : Iss. 1, Article 34. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol4/iss1/34>

Roberts, S., & Williams, J. (1995). *After the guns fall silent: The Enduring Legacy of Landmines*. Oxfam.

Rwanda – Landmines Country Report – Rwanda. (1996, May 29). ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/rwanda/rwanda-landmines-country-report>

Sancanin, G. & International Trust Fund for Demining and Mine Victims Assistance. (2010). *Demining Albania 2000–2009: Successes and lessons learned*. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 14(2), 5.
<https://core.ac.uk/download/pdf/153197635.pdf>

Smyth, F. (1994). *Arming Rwanda: The Arms Trade and Human Rights Abuses in the Rwandan War*. Human Rights Watch Arms Project

Tuohy, M., Greenspan, E., Fasullo, S., Baur, J., Steinberg, G., Zheng, L., Nikulin, A., Clayton, G. M., & De Smet Timothy, A. (2023, February 1). Inspiring the next generation of humanitarian mine action researchers. <https://par.nsf.gov/biblio/10443528>

Беспалько, Р., Гуцул, Т., Казімір, І., & Мирончук, К. (2023). Сучасні підходи до оцінювання черговості гуманітарного розмінування територій. *Технічні науки та технології*, 1(31), 146–157.
[https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1\(31\)-146-157](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1(31)-146-157)

Кучерявец, М. (2022, May 21). "Оптимістичний прогноз". В МВС оцінили, скільки Україні треба років для повного розмінування. РБК-Україна. www.rbc.ua/ukr/news/optimisticheskij-prognoz-mvd-otsenili-skolko-1653116326.html

МінЕкономіки розпочало роботу над операційним планом протимінної діяльності. (2024, March 11). Міністерство Економіки України. <https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=a879b0d6-f7eb-4dd8-a14d-c1897823985b&title=RobotaNadOperatsiiniPlanomPMD>

Мірошніченко, Б. (2023, March 7). Десятки років та мільярди доларів. коли розмінують українські поля та міста? Економічна Правда. <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/03/7/697737/>

Набожняк, О. (2023, June 20). Розмінуй, якщо зможеш. Довго, забюрократизовано і дорого, “чорні” сапери працюють швидше, але без гарантії. <https://texty.org.ua/articles/109880/ne-vidkryvaty-rozminuj-yaksho-zmozhesh-choho-ne-vystachaye-dlya-humanitarnoho-rozminuvannya/>

Проворний, Є. (2022, December 22). Як здійснюється розмінування територій: 6 етапів. <https://armyinform.com.ua/2022/12/22/yak-zdijsnyuyetsya-rozminuvannya-terytorij-6-etapiv/>

РОЗДІЛ 4. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ

4.1. Загальні відомості

До теперішнього часу основними пристроями для виявлення вибухонебезпечних предметів усе ще залишаються електромагнітні (ЕМ) металошукачі, перші прототипи яких використовувалися ще під час Другої світової війни (рис. 54). Металошукачі даного типу мають ряд недоліків. Через те, що ЕМ-сигнал, відбитий від протипіхотної міни, набагато слабший, сапер повинен підвищувати чутливість детектора. Більш висока чутливість виявляє більше надлишкових металевих об'єктів, таких як цвяхи та уламки корпусів, що створюють перешкоди для детектора. Попри додавання електронних фільтрів для зменшення «земного шуму», проблем із цією технологією ще багато. Сапер виконує дуже делікатне вилучення із загостреною паличкою для класифікації джерела відбитого сигналу: наземна міна, фальсифікація або просто іржавий цвях. У цьому сенсі пошук мін достатньо легкий, однак відокремлення їх від інших предметів важке і надзвичайно небезпечне. Іншим суттєвим недоліком ЕМ металошукачів є неможливість виявлення вибухонебезпечних предметів у неметалевих контейнерах (міни, ручні поклажі, пластикові контейнери та інше).



Рис. 54. Радянські сапери з міношукачами ВІМ-203, суміщеними із гвинтівками (Сталінград, 1942)

Видалення наземних мін супроводжується кількома перешкодами, такими як втрата або відсутність картографічних матеріалів або інформації про типи використовуваних наземних мін або райони, де вони були спочатку встановлені, постійно відбувається зміна місць розташування наземних мін через кліматичні і фізичні фактори, велика різноманітність типів протитанкових і протипіхотних наземних мін, а також висока вартість пошуку і видалення наземних мін. Чутливість наземних мін до вибуху з часом або під впливом атмосферних чинників посилює небезпеку для людей (Kasban et al., 2010).

Існує чимало методів виявлення вибухівки та наземних мін (табл. 6). Більшість із них обмежені чутливістю та/або складнощами експлуатації через умови місцевості, клімату та перешкод у ґрунті, таких як рештки та осколки блукаючого металу, що створюють численні помилкові сигнали й уповільнюють рівень виявлення до неприйнятного. Більшість нових методів – перспективні, але лише деякі мають відповідну чутливість, розмір, вагу, технологічність і ціновий діапазон, необхідні для гуманітарного розмінування.

Класифікація методів виявлення за фізичним принципом взаємодії з демаскувальними ознаками та окремо від інформаційно-вимірювальних засобів і платформ, на яких ці засоби розташовано, пропонована в (Fedorenko et al., 2022), і включає: 1) механічний; 2) електромагнітний; 3) хімічний; 4) магнітний; 5) акустичний.

Жоден із наразі розроблених методів виявлення наземних мін і вибухонебезпечних пристроїв із використанням спеціалізованих технічних засобів за такими важливими параметрами, як дистанційність, чутливість, вибірковість і швидкодія, не задовольняє ні вимоги чинних стандартів ООН з питань гуманітарного розмінування, ані загальну потребу в глобальному й оперативному розмінуванні планети (Horbulin & Mosov, 2021).

Навіть якщо досить складно отримати детальні оцінки вартості (оскільки більшість систем є прототипами), такий рівень цін ускладнює конкуренцію для технологій з двома або, як правило, декількома датчиками, і навіть найрозвиненіші системи значно дорожчі, хоча після серійного виробництва можна очікувати, що ціна знизиться (рис. 55) (Lombardi, 2019).

Таблиця 6

**Сучасні методи виявлення наземних мін
(за Hutsul et al., 2024)**

Методи виявлення наземних мін	Різновиди методів виявлення наземних мін	Методи дистанційного зондування Землі
Біологічні	• тварини: <i>собаки, свині, гризуни та ін.</i> • комахи: <i>мурахи, бджоли та ін.</i> • рослини: <i>цукровий буряк, салат та ін.</i> • бактерії	
Електромагнітні	• металодетектори • георадари • мікрохвильова радіометрія • радіометрія міліметрових хвиль • електроімпедансна томографія • інфрачервоне випромінювання (ІЧ)	☒ ☒ ☒ ☒ ☒
Оптичні	• видиме випромінювання • лідар	☒ ☒
Хімічні	• мас-спектрометрія • ІЧ абсорбційна спектроскопія • оптоакустична спектроскопія • комбінаційне розсіювання • імунохімічні сенсори • електронні носи	☒ ☒ ☒
Ядерні	• ядерний квадрупольний резонанс (ЯКР) • на основі нейтронів	
Акустичні	• звук та ультразвук • перехід акустичних даних до сейсмічних	
Механічні	• інструментальні прохідники • очисні машини	
Штучний інтелект	• машинне навчання • експертні системи • обчислювальний інтелект • розподілений штучний інтелект • розумні інтерфейси	
Геоінформаційні методи	• картометричні операції • операції вибору • рекласифікація • картографічна алгебра • статистичний аналіз • просторовий аналіз • оверлейний аналіз • мережний аналіз • геостатистичне моделювання • просторова інтерполяція	

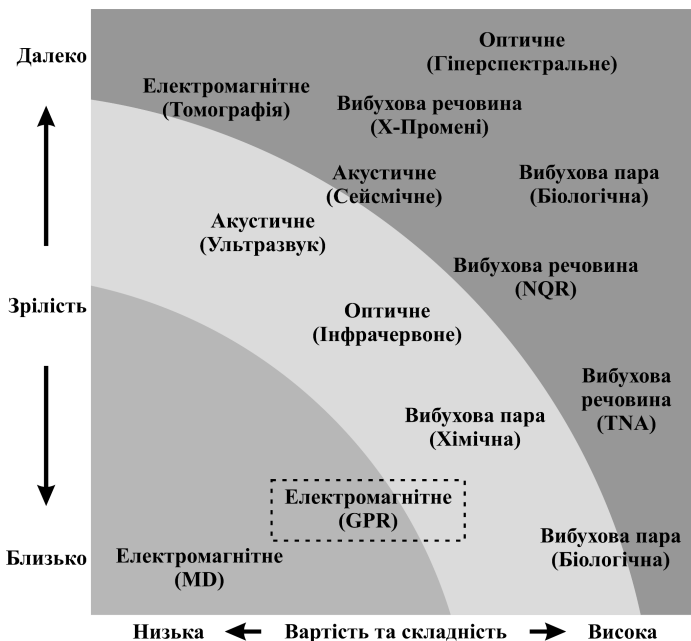


Рис. 55. Висновки про зрілість технологій виявлення мін (Newnham & Daniels, 2001)

Ключовою проблемою будь-якого датчика для виявлення мін є ймовірність виявлення (амплітуда сигналу, що перевищує поріг, коли ціль присутня) і частота хибних спрацьовувань (помилкове рішення, спричинене шумом або іншими перешкодами, що перевищують поріг виявлення).

Ці дві величини суворо взаємопов'язані, оскільки зниження порогу виявлення може забезпечити повне виявлення, але також призвести до виявлення менших хибних знахідок, що спричинить високий рівень хибних тривог і уповільнить проведення операцій. Два різних підходи до очищення від наземних мін – військові і гуманітарні операції – можна легко пояснити, беручи до уваги ці два фактори: в першому дотримуються ідеї не ідентифікувати ціль як міну, якщо немає абсолютної впевненості в тому, що це міна, тоді як у другому випадку наземна міна маркується, навіть якщо існує низька ймовірність її наявності.

4.2. Біологічні

Біологічні датчики або біосенсиори, такі як собаки, деякі гризуни, медоносні бджоли, деякі види рослин і деякі види бактерій, залежать від можливості прямого зондування вибухових сполук (Habit, 2007). Тварини, що використовуються, повинні бути здоровими, мати фіксований робочий цикл, і потрібно докладати певних зусиль, щоб вони не відволікалися. Біологічні методи виявлення пояснюються нижче.

Визнано, що всі наземні міни з часом виділяють невелику кількість вибухової речовини, яку можна виявити в навколишньому ґрунті та рослинному світі. Таким чином, сліди вибухових речовин стають надійним первинним індикатором наземних мін і нерозірваних боєприпасів.

Відповідно, розробка ефективних методів та інструментів для виявлення залишків вибухових речовин на замінованих територіях може дати привабливі та багатообіцяючі результати.

Біологічні сенсорні технології визначено як потенційне розв'язання проблеми виявлення пікограмових¹⁰ кількостей парів або частинок вибухових речовин. Варто зауважити, що міни не виділяють значної кількості парів тринітротолуолу (ТНТ) або інших вибухових матеріалів після більш ніж 18 місяців від замінування. Виділяють чотири категорії напрямків досліджень, пов'язаних із біологічними і біоінспірованими підходами для виявлення наземних мін, вибухових речовин та інших хімічних залишків. Основні напрямки досліджень класифікують так:

1. *Біогібридні системи.* Ця категорія фокусується на можливості інтеграції відповідної технології з біосистемою для посилення її природних здібностей.

2. *Біосистеми.* Дослідження в рамках цієї категорії спрямовані на розуміння та висновки щодо того, як існуючі біосистеми можуть бути навчені та ефективно використані як інструменти для виявлення підстав.

3. *Генно-інженерні біосистеми.* Це можуть бути тварини, комахи, бактерії та рослини.

¹⁰ Піко – префікс Міжнародної системи одиниць (SI), що означає множник 10^{-12} .

4. *Біоміметичні системи.* Вивчення технологій, які використовують природні здібності біосистем і біологічних організмів, щоб отримати нове розуміння і натхнення, які ведуть до створення нових систем і обладнання. Дослідники вивчають широкий спектр біосистем і намагаються імітувати (не обов'язково копіюючи на 100%) певні природні можливості, особливо там, де продуктивність біосистем перевищує наявні штучні системи і технології.

Собаки. Один із найефективніших сенсорів для виявлення наземних мін – собаки. Їх може бути натреновано і чітко навчено знаходити запах будь-якого вибухового наповнювача, матеріалу корпусу або контейнера, закопаних у землю на глибину до 60 см. Надздібності собак до розпізнавання запахів значно перевищують можливості лабораторного обладнання, яке використовується для дослідження цих навичок, а отже, обмежують можливості дослідників у вивченні здібностей собак до виявлення мін. Наразі не існує технології, здатної виявляти такий широкий спектр вибухових пристроїв, як це робить собака. Собаки вважаються поки що найкращими детекторами вибухових речовин. За оцінками, їхня чутливість до речовин, пов'язаних із мінами, в 10 000 разів вища, ніж у штучних детекторів (Sieber, 1995). Задокументовані межі нюхового порогу виявлення для собак коливаються від десятків частин на мільярд (ppb) до 500 частин на трильйон (ppt), і тренери/оператори повинні розуміти, що собаки виявляють речовини за концентрацією парів, а не за вагою, оскільки собаки повинні бути навчені реагувати на широкий діапазон концентрацій, особливо на низькі концентрації (Johnston, 1999).

На жаль, ефективність роботи собак сильно варіює залежно від того, який собака використовується, як часто і коли його тренували, а також від професійних здібностей кінолога. Крім того, якщо собака навчений виявляти високі рівні вибухових речовин, він не може автоматично виявляти значно нижчі рівні, і для цього може знадобитися спеціальна підготовка.

Відбір собак, придатних для виявлення мін (рис. 56), починається протягом перших кількох тижнів після народження, щоб оцінити їхній потенціал, і собака буде тісно співпрацювати зі

своїм кінологом щодня, щоб поліпшити свої здібності. Партнерство між відібраними собаками та їхніми кінологами дуже важливе для успішної роботи. Період навчання триватиме від 18 до 24 місяців.



Рис. 56. Джек-рассел-тер'єр «Патрон» – найпопулярніша собака України, яка проходить службу в підрозділах ДСНС

В даний час собаки здатні навчитися розрізняти до 10 різних запахів без ознак зниження ефективності розрізнення запахів після того, як вони навчилися ідентифікувати цю кількість запахів. Дослідники вивчали період, протягом якого собаки можуть зберігати навички розрізнення без повторного навчання. Навчені собаки не реагують на метал, ґрунт або невибухові об'єкти, вони усувають значну частину часу, необхідного для розслідування помилкових спрацьовувань, пов'язаних із ручним розмінуванням.

Підготовлені собаки найкраще працюють на відкритій місцевості з рослинністю не вище, ніж висота від литки до коліна. Їх легко транспортувати, вони дуже надійні і можуть очищати місцевість до п'яти разів швидше, ніж ручні сапери. Крім того, більшість тренерів відзначають, що стосунки між кінологом і собакою дуже важливі для успішного виявлення мін. Собаки втомлюються та відволікаються, а тому їх можна ефективно використовувати лише по кілька годин на день. Пришвидшують втому собак ділянки із щільним мінним забрудненням.

Гризуні. Дресировані африканські гігантські сумчасті шури мають певні переваги над собаками у виявленні наземних мін (Verhagen et al., 2003). Їх нюх ще кращий, утримання, транспортування та обслуговування дешевше, вони стійкі до посушливого клімату та тропічних хвороб. Щурів навчали за допомогою харчової винагороди сигналізувати про наявність вибухівки, дряпаючи лапками земну поверхню (Acheroy & Bosch, 2002).

Перше випробування щурів-саперів (рис. 57) проведено ЖМЦГР у 2004 р. Тривалість навчання була коротшою, ніж у собак, і дешевшою в 10 разів. Шури схильні виконувати одноманітні завдання та загалом працюють довше, ніж собаки. Основним обмеженням для використання гризунів є те, що шури можуть працювати лише в певних екологічних і погодних умовах, і їм важко спускатися на роботу вранці. Африканські гігантські сумчасті шури мають відносно довгу тривалість життя, вони виростають до розмірів снота і важать до 4 кг. Шури відносно невеликі за розміром (40 см), і тому рідко підривають міни, переступаючи через них. Бельгійська компанія (АРОРО) почала навчати цих щурів знаходити закопані бомби і міни завдяки їхньому гарному нюху і здібностям до виявлення мін.



Рис. 57. Африканський щур під час навчання

Щур і його господар можуть обстежити 150 м² приблизно за півгодини. Для заощадження часу обстеження певної ділянки можна використовувати кілька щурів, які спочатку обстежують

призначену ділянку, а потім команда саперів підриває/видаляє виявлений вибухонебезпечний об'єкт.

Побудова багаторівневих карт ризиків, заснованих на вказівках тварин, вбачається корисним інструментом, оскільки 95% мін було знайдено в зоні найвищого ризику, а решта мін – у зоні другого за величиною ризику. Використовуючи цей метод, понад 80% загальної площі, оціненої щурами, можна оголосити вільною від мін (Verhagen та ін., 2006).

Медоносні бджоли. Люди та бджоли мають тривалу і взаємовигідну історію. Один з видів медоносних бджіл, *Apis mellifera*, що походить з території сучасного Афганістану, наразі розповсюджений по всьому світу, за винятком Антарктики та далеких арктичних регіонів. У кожній громаді та країні бджіл розводять задля меду, воску та запилення сільськогосподарських культур.

Дослідження Університету Монтани показали, що медоносні бджоли за мінімальної підготовки можуть бути використані для виявлення наземних мін. Наземні міни з часом виділяють хімічний потік, а медоносні бджоли можуть збирати в радіусі 2-4 км від вулика залишки хімічних, біологічних частинок, у тому числі забруднювачів, бойових біологічних агентів і вибухових речовин (у вигляді частинок або пари) на волосках свого тіла. Вони також вдихають велику кількість повітря і приносять назад воду для охолодження вулика випаровуванням. Таким чином, бджоли відбирають зразки з усіх середовищ (повітря, ґрунту, води і рослинності) і всіх хімічних форм (газоподібних, рідких і твердих частинок). При правильному розміщенні колоній і відборі проб можна скласти градієнтні карти розподілу хімічних або біологічних матеріалів (Bromenshenk et al., 2003).

Ця здатність була використана за допомогою пасивного методу, що дозволяє медоносним бджолам вільно харчуватися на замінованій території, де сліди вибухових речовин, наявних у навколишньому середовищі, прилипають до тіла бджоли, які згодом переносяться на адсорбуючий матеріал для аналізу за допомогою флуоресцентного полімерного датчика.

Бджіл тренують, годуючи їх на точках, де ґрунт безпосередньо просочений вибухонебезпечними хімікатами, такими як тротил. Бджоли зберігають нюх і мають здатність зв'язувати запах вибухівки

з їжею. Навчання бджіл займає всього 3-4 дні. Бджіл забирають із колонії та перевіряють їхню реакцію на виявлення вибухівки, як показано на рис. 58.

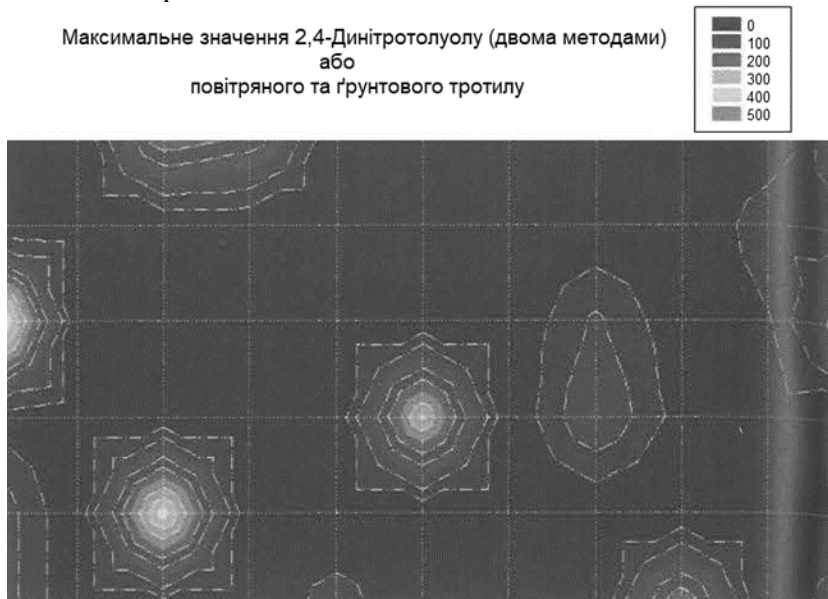


Рис. 58. Хімічна карта мінного поля створена за значеннями бджіл

Медоносні бджоли використовуються як екологічні вартові для виявлення різних забруднювачів, оскільки їхні електростатичні волоски на тілі можуть притягувати молекули в процесі пошуку корму. Концепція збору вибухових речовин була доведена в роботі (Gillanders et al., 2019), де різниця в реакції гасіння між зразками, зібраними медоносними бджолами з чистої ділянки, і зразками із забрудненої ділянки, була очевидною, хоча і зі значним потенціалом для вдосконалення.

Агентство перспективних оборонних досліджень (DARPA) та Національна лабораторія Сандія і Дослідницька лабораторія ВПС США співпрацювали в розробці методів і обладнання, необхідних для підготовки бджіл до проходження суворих сліпих польових випробувань. Серія повторних випробувань у 2001-2002 рр. виявила, що бджоли поведуться як дуже точно налаштований детектор при рівнях парів 2,4-динітротолуолу, змішаного з піском, що

перевищують 10 ppтр. У 2001 р. розраховано ймовірність виявлення 97-99% при концентраціях парів на мільярд (ppb) і частин на трильйон (pptr), з 1,0-2,5% ймовірністю хибнопозитивного спрацювання і менше 1% ймовірності хибнонегативного спрацювання. Спрогнозовано, що при достатній кількості бджіл поріг виявлення може бути ще нижчим (Bromenshenk et al., 2003).

Медоносні бджоли можуть забезпечувати вищу точність і набагато вищу швидкість очищення, ніж собаки чи щури, при цьому обшукуючи відносно велику територію значно швидше. Недоліком використання бджіл є їх здатність працювати лише в обмежених умовах навколишнього середовища та погоди.

Рослини. Гірчиця арабидопсис таліана (*Arabidopsis thaliana*) – одна з найбільш вивчених рослин у світі. Ця рослина зазвичай червоніє в суворих умовах, як показано на рис. 59. Дослідники Інституту молекулярної біології Копенгагенського університету поєднали природні мутації і генетичні маніпуляції, створивши штам, який змінює колір лише у відповідь на стресові умови (наприклад, закис азоту, що витікає з наземних мін та іншої вибухівки) (Berhe, 2006). Перевага цього методу полягає в тому, що рослини можна висівати з літака, покриваючи велику площу за короткий час. Недоліком є висока частота хибних спрацювань.



Рис. 59. Квіти для виявлення протипіхотних мін

Свині. Вважається, що у свиней кращий нюх, ніж у собак, і їх використання для пошуку трюфелів добре відоме. У відкритій літературі не було знайдено жодного опису тестів або випробувань з використання свиней для пошуку наземних мін. Якщо порівнювати собак зі свинями, то собаки збудливі, але не настільки зосереджені, як свині. Свині завжди зосереджені на їжі та сні. Вони прагнуть знайти міну, тому що будуть винагороджені їжею,

і досягнуть своєї мети. Експериментальні випробування доводять, що для цієї роботи підходять тільки самки свиней, оскільки самці дуже агресивні й жорстокі.

На першому етапі навчання, кожного разу, коли свиня виявляє запах візуально виявленої вибухівки (рис. 60), вона отримує винагороду у вигляді їжі. На другому етапі навчання свиня повинна знайти вибухівку, не бачачи її. На третьому етапі свиня тренується шукати знешкоджену міну, закопану на глибині 10 см, а потім отримує винагороду, коли знаходить міну, про що свідчить нормальна поведінка під час риття. На останньому етапі навчання свиню навчають сидати, коли вона знаходить міну. Це складно, оскільки для свиней сидіти не є природною реакцією (Townsend, 2003).

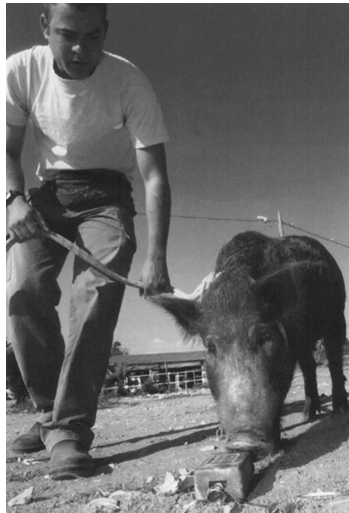


Рис. 60. Ізраїльський дресирувальник Гіва Зін навчає свиню винюхувати наземні міни на стежці, яку перевіряють ізраїльські військові на півдні Ізраїлю

Бактерії. Виявлення наземних мін за допомогою бактерій передбачає розпилення сконструйованого штаму бактерій на вражену наземними мінами ділянку, можливо з використанням повітряної системи (Gooneratne et al., 2004). Бактеріям дають змогу розвитку протягом декількох годин. Бактерії флуоресціюють під ультрафіолетовим світлом через вплив тротилового матеріалу.

Потім група обстеження повертається для пошуку флуоресцентних сигналів, як показано на рис. 61. Цей метод дає відносно швидкі результати і може використовуватися на різних місцевостях. Бактерії здатні виявляти навіть невелику кількість тротилу і за короткий час можуть покрити велику територію. На жаль, бактерії дуже чутливі до умов навколишнього середовища, і жоден штам бактерій не здатен виявити гексоген, який є поширеною вибуховою речовиною. Бактерії можуть бути невидимі в умовах пустелі, що обмежує потенціал ефективності цього методу.

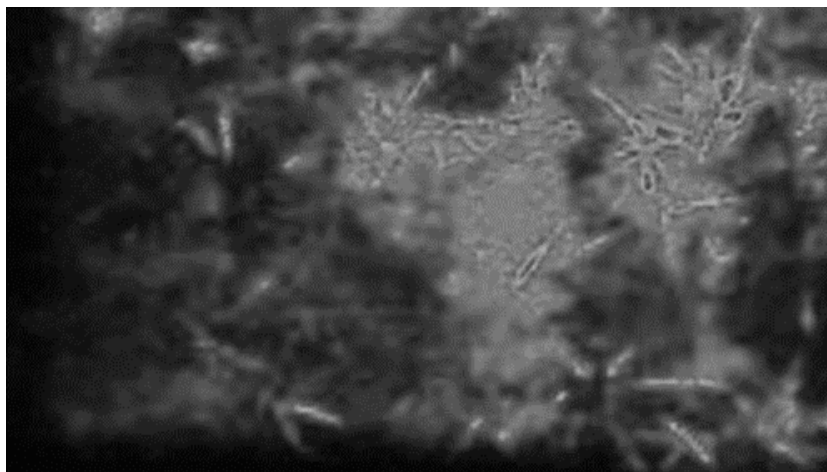


Рис. 61. Карта мінного поля, вкритого флуоресцентними бактеріями

4.3. Електромагнітні

Виявлення мін за допомогою ЕМ-випромінювання базується на відмінності електромагнітних властивостей міни та землі. Методи виявлення на основі електромагнітної індукції (ЕМІ) знаходять застосування в різних сферах, включаючи неруйнівний контроль (наприклад, виявлення дефектів у лопастях турбін), пошук металевих корисних копалин, а також виявлення та ідентифікація наземних мін і боєприпасів, що не вибухнули. Звичайний металопшукач є, мабуть, найбільш поширеним пристроєм ЕМІ, що використовується сьогодні.

Типові компоненти металодетектора включають котушки передавача та приймача. Як показано на рис. 62, електричні струми,

що протікають у котушці передавача, випромінюють первинне магнітне поле, яке проникає в навколишнє середовище та будь-який металевий об'єкт поблизу. Первинне магнітне поле, що змінюється в часі, буде індукувати так звані вихрові струми в закопаному об'єкті, і ці струми, у свою чергу, випромінюють вторинне магнітне поле, яке фіксується котушкою приймача. Аудіо-сигнал створюється щоразу, коли мета-об'єкт змушує індуковану напругу котушки приймача перевищувати певний поріг.

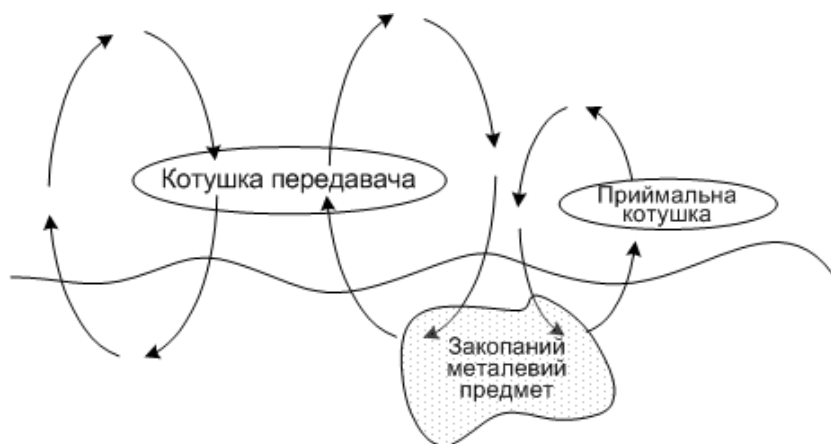


Рис. 62. Типова система електромагнітної індукції (EMI)

Кілька версій електромагнітних методів наразі використовуються або передбачені для виявлення наземних мін. Ці версії зазвичай відрізняються робочою частотою, використовуваною смугою ЕМ-спектру, типом сигналів, що передаються, інтерпретацією відбитих сигналів або типом передавача та приймача. Металодетектор (MD), георадар (GPR), мікрохвильовий радар (MWR), радар міліметрового діапазону (MMWR), електроімпедансна томографія (EIT) та інфрачервоний (IR) та гіперспектральний сенсори є поширеними методами електромагнітного виявлення.

Металодетектори. Типовий металошукач (рис. 54) для виявлення мін вимірює збурення випромінюваного електромагнітного поля, спричинене наявністю металевих предметів у ґрунті. Сучасні металошукачі досить чутливі та можуть виявляти наземні міни з низьким вмістом металу, сукупна вага якого становить

кілька грамів. Усі металеві предмети ідентифікуються, а з пластиковими мінами проблема посилюється, проте розв'язується використанням чутливіших детекторів. Існує обмежена кількість літератури про технічні деталі від виробників металодетекторів, за винятком відповідних патентів. Військовий ринок є основним напрямком виробництва металодетекторів. Популярний базовий металошукач простий і дешевий у використанні з середнім рівнем успіху. Induction Coil Imaging Sensor – надає зображення шуканого об'єкта, замість звукового сигналу з можливістю виявлення та ідентифікації металевих частин менше ніж 1 см на глибину до 50 см.

Магнітометр із звивистою обмоткою генерує змінне магнітне поле, яке збуджує струми в металевих об'єктах, орієнтованих переважно в одному напрямку та можуть бути зчитані детектором. Він має в 5-10 разів менший рівень помилкової тривоги, коштує так само, як металошукач, і в 10-20 разів швидший. Незважаючи на те, що він відрізняє міни від металевих уламків краще, ніж металодетектор, він усе ще має частку помилкових тривог, яку можна зменшити. Кондуктометри використовують магнітне поле для створення вихрового струму в об'єкті. Встановлюючи базовий стандарт у чистій зоні перед пошуком, можна виявити зміни в електропровідності ґрунту, які можуть виникнути через електропровідні речовини, такі як міни.

Доступні два типи кондуктометрів:

- *вимірювачі провідності в частотній області* – індукують вихровий струм і зчитують отримане магнітне поле.
- *вимірювачі провідності в часовій області* – викликають перехідний вихровий струм у землі, а потім спостерігають час його загасання. Сильні сторони: мають достатню глибину проникнення і, можливо, можуть використовуватися для виявлення пластикових мін. Горизонтальний діапазон обмежений, а ґрунт має природні коливання електропровідності, які необхідно враховувати. Роздільна здатність зображення також низька, націлювання на окремі міни неможливе, а «можливість» більш практично полягає у встановленні меж мінного поля.

Георадари. Принцип визначення ґрунтується на виявленні електричних неоднорідностей, які проявляються у вигляді електричного контрасту металевих корпусів мін за наявності значно

менш електропровідного ґрунту. Варіації амплітуди та залежний від швидкості хвилі час проходження зворотного сигналу вимірюються та записуються георадарним приймачем. Ця інформація використовується для визначення глибини, геометрії та величини перешкод. Результат георадарної зйомки нагадує поперечний розріз, який відображає підповерхневу електричну структуру та її особливості. Метод георадара оптимальний для досліджень надр, які потребують розуміння геологічної структури або розташування окремих об'єктів.

Набагато складніше георадар сприймає електричну неоднорідність, спричинену діелектричною (пластиковою) міною в ґрунті. Часто цей контраст слабкий, що означає слабкість сигналу наземної міни. Проблема виявлення наземних мінах пов'язана з електричними контрастами, що ускладнюють зондування. Наприклад, найбільший контраст зазвичай існує між повітрям і ґрунтом. На жаль, мікрохвилі сильно послаблюються певними типами провідних ґрунтів (табл. 7), таких як глинисті, тому мокра глина для виявлення мін надзвичайно складна. Дуже сухим ґрунтам властивий знижений електричний контраст у порівнянні з наземними мінами в пластиковому корпусі, тому ці типи мін можуть бути не виявлені.

Таблиця 7

**Характеристики електропровідності
деяких основних ґрунтів і глин (за Katsube et al., 2003)**

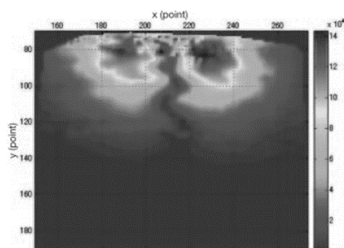
Матеріал	Склад середовища	Електропровідність (S/м)
Ґрунти	Глина (загальний термін)	0.01 – 1
	Суглинок	0.025 – 0.25
	Верхній шар ґрунту	0.005 – 0.025
	Багатий на глину ґрунт	0.0025 – 0.01
	Піщаний ґрунт	0.00025 – 0.0025
	Сипучі піски	0.00001 – 0.001
Глини	Каолініт	0.0002 – 0.02
	Монтморилоніт	0.067 – 0.25

Якщо міна закладена на невеликій глибині, так що доступна смуга пропускання передбачає обмежену роздільну здатність, часто слабка сигнатура міни буде «похована» в дуже сильному відскоку від землі. Це означає, що пропускна здатність (роздільна

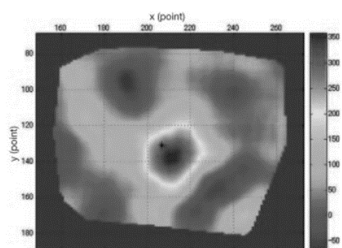
здатність) відіграє важливу роль у визначенні глибини цілі, на якій наземна міна може спостерігатися за допомогою георадара. Слід зауважити, що природні неоднорідності під поверхнею, такі як скелі, коріння, шорсткість поверхні та неоднорідність ґрунту (наприклад, кишені вологого ґрунту), також здійснюють вплив.

Сучасні георадарні дослідження зазвичай включають конфігурацію із загальним зміщенням, де пара антен (тобто бістатична антена) встановлена на візку. Пристрій переміщується вздовж трансекти, а система передає радіолокаційні імпульси, які тривають кілька наносекунд і знаходяться в діапазоні частот від 25 до 1500 МГц. Амплітуда зворотного сигналу вимірюється з плином часу, а сліди сигналу відображаються в поперечному перерізі на цифровому портативному реєстраторі та зберігаються для подальшого аналізу. Як правило, більш високі частоти для систем георадара забезпечать теоретично вищу просторову роздільну здатність, але вищі частоти також обмежують глибину проникнення. Отже, компроміс між якістю зображення та глибиною проникнення призводить до діапазону робочих частот для систем георадара від кількох сотень МГц до кількох ГГц. Ризик шкоди для системних операторів невеликий, оскільки більшість систем працюють із низькою потужністю.

Існують варіанти поєднання систем металошукача та георадара (Advanced Landmine Detection System). ALIS – додаткова система, яка може бути приєднана до існуючого комерційного металошукача. Візуалізовані зображення сигналу металошукача дають пряму інформацію про місцезнаходження металевих предметів, а радіолокаційне зображення георадара – дані про заглиблення об'єктів, що полегшує виявлення мін (рис. 63) За словами розробника, система візуалізація підвищує надійність роботи. Положення в просторі головки датчика, яку сканує сапер, також може бути записане в режимі реального часу. Цей запис можна використовувати для контролю якості роботи, а також для навчання операторів (Guidebook on Detection Technologies and Systems for Humanitarian Demining, 2006).



зображення з металошукача



зображення з георадару

Рис. 63. Типове вихідне зображення ALIS прихованої протипіхотної міни (PMN-2, глибина 10 см)

Останні моделі міношукачів у поєднанні з георадаром опираються на методи машинного навчання з обмеженим фокусом, такі як автоматична компенсація ґрунту та диференціація кольорових і чорних матеріалів.

Мікрохвильові радары. Цей метод базується на передачі коротких радіо- та мікрохвильових імпульсів ($10^2 - 3 \times 10^3$ МГц) від антени в землю та вимірюванні часу, протягом якого відбиті хвилі повертаються до тієї ж антени. Відбиття відбувається на межах між матеріалами з різними діелектричними проникностями, які є нормальними до падаючого випромінювання (Acheroy & Verlinde, 2002; Berhe, 2006). Передача високих частот забезпечує високу роздільну здатність зображень, але вона зазнає сильного ослаблення в ґрунті. Отже, високі частоти підходять для виявлення невеликих неглибоких об'єктів. І навпаки, низькі частоти забезпечують нижчу роздільну здатність, але менше послаблюються в ґрунті. Тому вони більше підходять для виявлення великих і глибоких об'єктів. У цьому методі глибина виявлення сильно залежить від робочої частоти, вологості і провідності ґрунту, а також корпусу і розміру наземної міни, причому великі протитанкові міни набагато легше виявити, ніж малі протипіхотні міни. Найкращі результати виявлення, ймовірно, будуть отримані для великих металевих об'єктів у сухому ґрунті. Цей метод менш ефективний у вологих ґрунтах, а також за наявності радіочастотних перешкод.

Радари міліметрового діапазону. Нещодавно розроблено нову активну систему сканування для виявлення закопаних наземних

мін. Це гіперспектральна система, яка формує зображення на різних частотах MMW (від 90 до 140 ГГц) за допомогою векторного мережевого аналізатора, який збирає зворотне розсіювання ММВ випромінювання від похованого зразка (Bosq et al., 2006). На рис. 64 показано систему, призначену для виявлення наземних мін за допомогою MMW.

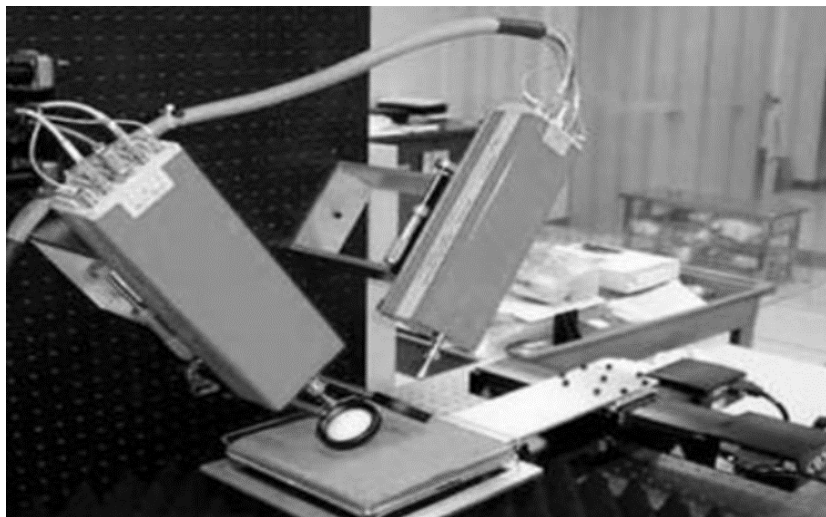


Рис. 64. Виявлення мін за допомогою MMW

Багатовимірний статистичний метод із використанням аналізу головних компонент (РСА) застосовується для вилучення корисної інформації із зображень, отриманих за допомогою цієї техніки. У минулому існували два методи виявлення наземних мін за допомогою ММВР: пасивна система ММВР, яка залежить від ефективної температури неба (Yujiri, 1995), і активна система ММВР система, яка може досягти гарної диференціації між наземними мінами і дрібними металевими уламками (Zhong et al., 2004).

Електроімпедансна томографія (ЕІТ) використовує електричні струми для зображення розподілу провідності досліджуваного середовища.

Електропровідність – здатність речовини проводити електричний струм під дією електричного поля. Електропровідність властива всім речовинам. За питомим опором, який характеризує здатність

речовин створювати опір під час проходження електричного струму, всі речовини класифікують на провідники ($10^{-5} \Omega$), напівпровідники ($10^{-5} \Omega$ до $10^5 \Omega$) та діелектрики ($10^{15} \Omega$). На електропровідність впливає природа (структура) речовини, її хімічний та агрегатний стан, а також фізичні умови. Одиниця виміру електричної провідності в Міжнародній системі одиниць (СІ) – сіменс (міжнародне позначення: S). Десяткові кратні та подільні одиниці утворюють за допомогою стандартних приставок СІ. Електропровідність ґрунту виражається в мілісіменсах (mS) або децисіменсах (dS).

Ґрунт – це поверхнева багатофазна подідисперсна природна плівка потужністю лише в півтора-два мети. Про тісний зв'язок ґрунту з життям і діяльністю людини свідчить концентрування людського суспільства в межах родючих ґрунтових відмін.

Електропровідність ґрунту – здатність ґрунту (суспензій) проводити електричний струм. Показник електропровідності є функцією від вологості ґрунту, фазового стану води, вмісту в ґрунті солей, її температури, густини, гранулометричного складу і т. ін.

Провідність та питомий опір – це протилежні за фізичною природою явища. Якщо ґрунт має високу провідність, він буде мати низький питомий опір.

Електропровідність, більше ніж будь-яка інша фізична характеристика ґрунту, залежить від способу вимірювання. Ці вимірювання не слід плутати з іншими вимірюваннями ґрунту, які використовують схожі терміни, як-от, гідравлічна провідність (здатність ґрунту проводити або пропускати воду) або механічний опір ґрунту – властивість, яку зазвичай вимірюють за допомогою ґрунтового пенетрометра. Іншим можливим джерелом плутанини є різниця між значенням електропровідності ґрунту, отриманим в результаті аналізу ґрунту, і значенням електропровідності ґрунту, отриманим в результаті польових вимірювань. Лабораторні аналізи ґрунтової електропровідності застосовуються для класифікації солей (оцінка засолення) і використовують насичену пастоподібну витяжку або розчин. Ці дослідження опираються на рівномірний вміст води для усунення будь-якого ефекту провідності, спричиненого текстурою ґрунту, в такий спосіб усуваючи

можливість взаємодії між глиною і вологою. Польова електропровідність, яку іноді називають об'ємною електропровідністю ґрунту або видимою електропровідністю ґрунту, значною мірою залежить від відмінностей у текстурі.

Методи вимірювання електричного опору полягають у пропусканні електричного струму у ґрунт через струмові електроди на його поверхні, а різницю потенціалів струмів вимірюють на потенційних електродах, розміщених у безпосередній близькості від місця проходження струму. Ці методи розроблено ще в другому десятилітті 1900-х рр. Конрадом Шлюмберже у Франції та Френком Веннером у США для оцінки питомого електричного опору ґрунту (Burger & Burger, 1992; Telford et al., 1990).

Конфігурація електродів (решітка Веннера) – це чотири електроди, розташовані на рівній відстані на прямій лінії на поверхні ґрунту, причому два зовнішні електроди слугують струмовими, або передавальними, електродами, а два внутрішні електроди – потенційними, або приймальними, електродами (рис. 65).

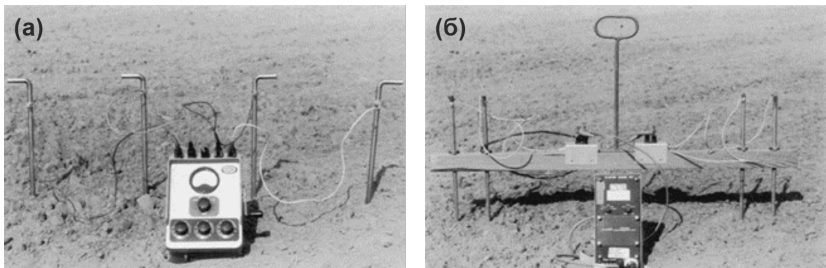


Рис. 65. а – довільне встановлення електродів решітки Веннера;
б – електроди встановлені у фіксованому решіткою положенні

Базове обладнання для вимірювання електропровідності методом решітки Веннера включає джерело електричного струму, вимірювач опору, чотири металеві електроди, з'єднувальний дріт, вимірювальну стрічку та ґрунтовий термометр (Rhoades & Halvorson, 1977). Джерелом струму може бути ручний генератор або акумуляторна батарея, яка повинна вимірювати напругу від 0,1 до 1000 В. Електроди можуть бути виготовлені з будь-якого нержавіючого провідного металу (наприклад, нержавіючої сталі, міді, латуні). З'єднувальний провід повинен бути гнучким, добре ізольованим, багатожильним, 12-18-го калібру (Американський калібр дротів).

Уперше таке обладнання застосовано нафтовими компаніями для пошуку покладів і виділення геологічних формацій. У геодезичних роботах, особливо при пошуках нафти та корисних копалин, протягом останніх років дедалі частіше використовують електричні методи, успіх яких залежить від детального знання електропровідності матеріалів землі (Smith-Rose, 1933).

У ґрунтознавстві Беван (Bevan, 2000) повідомляє, що еквіпотенціальну зйомку проведено Маламфі в 1938 р., і за її результатами складено схему (рис. 66). Мета цього дослідження полягала у пошуку великого похованого піщаними ґрунтами кам'яного склепу під церковним подвір'ям у м. Вільмсбург (США).

З рис. 66 спрощено бачимо, що двома паралельними лініями заземлених електродів обрамлено прямокутну ділянку території дослідження. Електричний генератор пропускав струм через землю між парою проводів зі звуковою частотою. На карту нанесено значення напруги на поверхні. Це досягалося використанням аудіопідсилювача та навушників. Два дроти з'єднували цей підсилювач із парою металевих електродів, які забивалися у ґрунт. У місцях контакту електродів із зміною напруги було чутно аудіосигнал, а у випадку однакової напруги звук був відсутній. Ці лінії нульової відносної напруги простежуються на землі. Якщо земля однорідна, електричний струм протікає безпосередньо від одного із заземлених електродів до іншого. Лінії постійної напруги в такому випадку утворюють прості і досить прямі лінії, які паралельні двом лініям заземлених електродів. Якщо в землі закопати щось незвичайне, потік струму зміниться, і напруга також буде іншою.

Два основні методи вимірювання провідності ґрунту – це прямий контакт та електромагнітна індукція. При правильному використанні методи прямого контакту та електромагнітної індукції дають подібні результати.

У 1980-х рр. визначення місцеположення досягалося використанням рулеток, коліщаток або геодезичного обладнання (наприклад, теодолітів). Як наслідок, створення карт електропровідності ґрунтів було копітким та доволі умовним процесом. Комерційна доступність GPS-приймачів із сантиметровою точністю позиціонування значно поживила та підвищила точність таких досліджень.

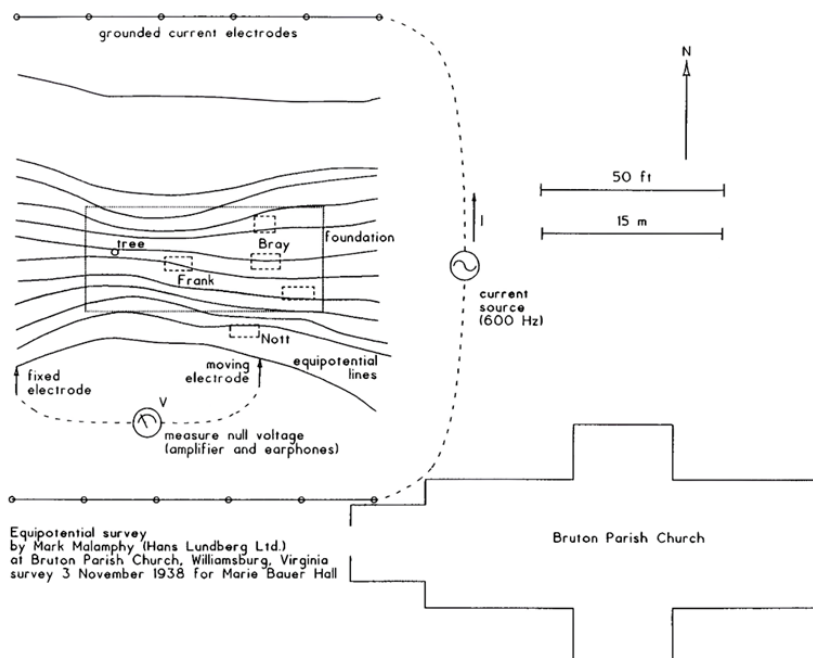


Рис. 66. Вигнуті суцільні лінії зосереджені в лівій частині означають наявність аномалії під землею, яка має високий електричний опір.

Фундамент ранньої церкви позначено пунктиром.

Прямокутники з пунктирною лінією позначають надгробки.

Копія карти Марка Маламфі (за Bevan, 2000)

Практика показала, що вимірювання фізичних параметрів електропровідності ґрунтів точніше при застосуванні кондуктометричних вимірювачів, в які вмонтовані електроди, призначені як для вимірювання, так і подачі тестової напруги. Такі вимірювачі часто виконують у вигляді ручних щупів, наприклад з датчиком SMTE (Decagon Devices Inc., США), що одночасно вимірює електричну провідність, об'ємний вміст вологи (осцилятором) і температури ґрунту (термістром) з можливістю передачі даних на персональний комп'ютер по RS 232 порту (рис. 67а). Використання вимірювача вимагає матеріальних витрат і великої ручної праці, що призводить до суттєвого збільшення вартості одиниці одержаної інформації.

Більшість приладів для вимірювання електромагнітної сумісності потребують щоденного калібрування, а деякі моделі можуть потребувати частішого калібрування через дрейф приладу (Sudduth et al., 2001).

Сьогодні найбільшого поширення набули три основні системи, які дозволяють сканувати ґрунт: Geonics EM-38 (рис. 67б), Veris (рис. 67в) і Topsoil Mapper (рис. 67г). EM-38 працює за принципом електромагнітної індукції. Сканер має дві котушки: котушка передавача та котушка приймача. Veris надає більше можливостей, ніж EM-38. Унікальна сенсорна платформа Veris дозволяє наносити на карту 4 важливі змінні ґрунту та висоту (електропровідність на двох глибинах, органічну речовину, кислотність ґрунту і ємність катіонного обміну). Сканер ґрунту складається з 3-х сенсорних систем, які також можуть поставлятися окремо. Під час руху зі швидкістю від 8 до 15 км/год система вимірює кислотність (pH), відсоток органічної речовини та ЕС на глибині росту (0-30 см) і в кореневій зоні (0-90 см). Наукові дослідження, проведені PPO Applied Plant Research Lelystad, показали, що карти Veris MSP3 дуже надійні. Topsoil Mapper – найсучасніший сканер. Система дозволяє фіксувати ущільнення, структуру і вологість ґрунту практично в режимі реального часу. Дані відправляються на термінал трактора чи автомобіля, який здійснює сканування. Topsoil Mapper дозволяє визначати властивості ґрунту на глибині до 1 м.

(а)



Рис. 67. а – SMTE датчик вологовмісту, температури та електропровідності ґрунту; б – Geonics EM-38 для вимірювання електромагнітної провідності ґрунту

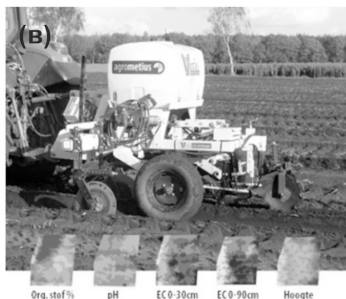


Рис. 67. в – сенсорна система Veris для вимірювання кислотності (pH), відсотка органічної речовини на глибині росту (0 – 30 см) і в кореневій зоні (0 – 90 см); г – Topsoil Mapper для визначення структури, вологозабезпеченості, ущільнення та оптимальної глибини розділення

У дослідженні (Church et al., 2006) наведено міношукач (рис. 68), який працює за принципом електроімпедансної топографії – побудови зображень плоских зрізів електропровідних тіл. Елементи зображень розпізнаються за питомою провідністю. Реконструкція розподілу провідності металевих мін відбувалася так само, як і для неметалевих мін, за винятком зміни знака провідності на протилежний. У всіх експериментах детектор був простим в експлуатації, а результати одержувалися протягом кількох секунд. Використання детектору на м'якій поверхні ґрунту здійснює миттєвий та надійний контакт між електродами та ґрунтом для вимірювань. Виявлено, що використання сили близько 1,5 фунта над загостреним електродом достатнє для досягнення оптимального електричного контакту для складніших ґрунтових поверхонь, таких як ті, що мають тверду кірку і рослинний покрив. Перевірена глибина розпізнавання – 14-21 см.

Сучасний розвиток методів електропровідності ґрунтів опирається і на обробку результатів вимірювань інтелектуальними методами моделювання. Зокрема, в (Calixto et al., 2010) товщину кожного шару розраховують та оптимізують з використанням експериментальної кривої питомого електричного опору ґрунту. Експериментальна крива порівнюється з теоретичною кривою електропровідності, отриманою за допомогою генетичного алгоритму. Теоретична крива базується на алгоритмі Сунде і є точно

зворотним процесом горизонтальної стратифікації ґрунту на багато шарів. Порівняння між двома кривими дає похибку, спричинену процесом стратифікації ґрунту. Використовуючи отримані значення електропровідності, метод має на меті оцінити такі характеристики, як вміст води, текстуру та солоність шарів ґрунтового покриву.

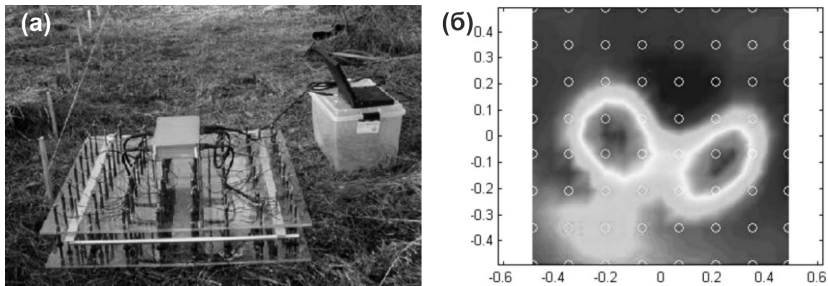


Рис. 68. а – електричний імпедансний томограф (ЕІТ) в робочому положенні; б – контурна карта спрацьовування детектора ЕІТ на дві міноподібні цілі заглиблені у піщаний ґрунт на глибину 14 см і розташованих на відстані 7 см одна від одної

Інфрачервоні сенсори. Інфрачервона (ІЧ) технологія виявлення наземних мін використовує різницю ІЧ-випромінювання, спричинену мінами, закладеними безпосередньо під поверхнею, для їх виявлення. Міна завжди має іншу теплову масу, ніж навколишня земля. Особливо це відчутно в місцях пошкодженого та непорушеного ґрунту (нещодавно закопані міни). Це робить таке випромінювання виразним у піковий час доби, коли різниця температур найбільш помітна. Ця технологія більшою мірою залежить від ґрунтового покриву, ніж інші методи. Маючи додаткові знання про ґрунт, ІЧ-системи можуть навіть розрізняти різні типи наземних мін. Інфрачервоне випромінювання складається з довжини хвилі від $0,7 \mu\text{m}$ до $1,0 \text{ mm}$ в оптичному діапазоні.

Одне з перших досліджень (McFee et al., 1991) виявлення наземних мін за допомогою ІЧ-хвиль відбулося за участі Міністерства оборонних досліджень і розвитку Канади (DRDC) і Itres Research у 1978-1989 рр. Проєкт ґрунтувався на ієрархічному алгоритмі обробки зображень для виявлення рідко розподіленої яскравої області шириною в кілька пікселів у монохроматичному зображенні.

У 2015 р. канадська компанія TELOPS, що спеціалізується на інфрачервоних і гіперспектральних зображеннях, довела можливість виявлення похованих об'єктів за допомогою бортового гіперспектрального сканера LWIR (Gagnon et al., 2015). З платформи літака отримано теплові гіперспектральні зображення областей на яких раніше поховані штучні об'єкти. Вони виявили, що порушений ґрунт прямо над закопаною міною тепліший, ніж непорушена ділянка ґрунту поруч.

Метод картографування мінних полів за знімками сантиметрової роздільної здатності з БПЛА вертолітного типу, оснащеного мультиспектральною камерою та тепловою інфрачервоною камерою, наведено в (Роров et al., 2022). Цей метод випробувано на ділянках із фактично закопаними наземними мінами.

Намагаючись розв'язати проблему мін ПФМ-1, дослідники з Бінгемтонського університету (deSmet et al., 2018) розробили протокол, заснований на дистанційній оцінці унікальних теплових сигнатур, пов'язаних з ПФМ-1 та алюмінієвим корпусом касети. Корпус і крило міни нагріваються швидше, ніж поверхня під час раннього нагрівання під прямим сонячним промінням. Окремі протипіхотні міни ПФМ-1, які невидимі перед прямим сонячним промінням, швидко нагріваються і можуть бути виявлені як на видимих, так і на теплових зображеннях за їх відмінною формою та тепловими властивостями. За польових випробувань дослідники змогли успішно ідентифікувати тепловою камерою, встановленою на недорогому комерційному БПЛА з висоти 10 м усі елементи рандомізованого мінного поля вкритого мінами ПФМ-1.

Хоча ця методологія не може повністю замінити традиційне ручне розмінування для категоричного оголошення території вільною від мін, дистанційне теплове виявлення полів ПФМ-1 дозволяє точно оцінити наявність мінних полів, орієнтацію та будь-яке перекриття між двома чи більше мінними полями. Доступні недорогі комерційні платформи БПЛА, оснащені тепловізійними камерами, дозволяють точно оцінювати наявність мінних полів, орієнтацію та потенційне перекриття мінних полів.

На сьогоднішній день не існує автоматизованих рішень для виявлення поверхневих нерозірваних боєприпасів за допомогою тепловізійних зображень. Під час проекту в Боснії і Герцеговині

у 2019 р. організація «Норвезька народна допомога» збрала дані про боєприпаси, що не вибухнули, і зробила їх доступними для дослідження (Bajić & Potočnik, 2023). Тепловізійні зображення розміром 720×480 пікселів зібрано за допомогою безпілотного літального апарату на висоті 3 м. Залучення штучних нейронних мереж доволі ефективне (Mu et al., 2020), а для обробки зображень в цьому дослідженні дозволило сягнути ймовірності ідентифікації понад 90%.

Гіперспектральні сенсори. Можливість реєстрації електромагнітного поля в широкому діапазоні електромагнітних спектрів розширює ідею візуального спостереження та надає точнішу інформацію. Завдяки цьому для кожного пікселя зображення одержується значення спектра відбиття, яке допомагає ідентифікувати складові матеріали на зображенні. Перші фотокамери були широкосмуговими, й фіксували інтенсивність світла в широкому діапазоні спектра. Проте розробка чутливих фотодетекторів дозволила отримувати зрізи зображень у вузьких смугах. Це підвищило спектральну здатність фотокамер та збільшило кількість розрізняваних матеріалів. Наявність гіперспектральних датчиків, придатних для використання з багатомоторними БПЛА, дозволила розробку систем для гуманітарного розмінування. Хоча великі і дорогі повітряні гіперспектральні системи були доступні вже понад два десятиліття, вони практично не впливали на перебіг гуманітарного розмінування (Bajić et al., 2017).

Американська армія розпочала проєкт «Програма феноменології виявлення гіперспектральних мін» (HMDP). Головна мета полягала у визначенні існування спектральних характеристик, корисних для виявлення наземних мін (Smith et al., 1999). Вдалося зібрати високоякісні гіперспектральні сигнатури фонових матеріалів і мін, виміряти часові впливи на закопані наземні міни та статистично значущий набір гіперспектральних сигнатур надводних і закопаних мін у природних ґрунтах за варіацій контрольованих змінних. Результати спектрального аналізу, отримані під час записів проєкту HMDP, представлено в (Kenton et al., 1999).

У роботі (Ivanco et al., 2007) наведено опис першого експерименту, спрямованого на виявлення наземних мін за допомогою повітряної гіперспектральної системи візуалізації в режимі реального

часу. Спочатку до необроблених даних застосовується радіометрична корекція даних. Згодом до виправлених даних застосовуються спеціальні алгоритми класифікації. Бібліотека спектральних сигнатур надає еталонні спектральні вектори. Результати класифікації зберігаються й відображаються в режимі реального часу.

4.4. Оптичні

Особливий інтерес для дистанційного виявлення мін і мінних полів становлять методи на основі оптико-електронних сенсорів. Вони базуються на використанні так званих первинних і вторинних ознак (табл. 8).

До перших належать зовнішній контур і форма міни, контрастність по відношенню до навколишнього фону, однорідність зображення (рівномірність яскравості або випромінювання) в межах контуру міни. До другої ознаки належать такі демаскуючі ознаки спостережуваного простору, як засохла рослинність, розпушений ґрунт, сліди, залишені мінно-вибуховою машиною.

Таблиця 8

Фізична основа оптичних методів (Golovin & Demin, 2018)

Виявлення мін, закладених у ґрунті	
<i>За первинними ознаками:</i> У міни, закладеної в землю, більший термічний опір, ніж у ґрунту. Вдень ґрунт над міною тепліший, ніж навколишній. У вечірні години шар ґрунту над міною віддає теплову енергію швидше, ніж навколишній ґрунт, і виглядає прохолоднішим.	<i>За вторинними ознаками:</i> Міни, закладені в ґрунті, також виявляються через порушення ґрунту та стрес для рослин. Розкопування ґрунту для закладання міни призводить до появи на поверхні дрібних частинок. Міна є бар'єром для висхідних і низхідних потоків ґрунтових вод, що призводить до (тимчасового) накопичення води над міною після дощу і до більш сухого ґрунту над міною в період посушливої погоди.
Виявлення мін, встановлених на поверхні	
<i>За первинними ознаками:</i> Нагріта на сонці міна має більший контраст відносно фону. Цей контраст присутній і у випадку, якщо міна пофарбована для маскуваня. Відмінності у формі або кольорі в різних частинах міни можуть приз-	<i>За вторинними ознаками:</i> Спектральні характеристики розсіяного випромінювання на поверхні мін відрізняються від характеристик ґрунту та рослинності. Однорідний матеріал і плоскі форми мін створюють однорідне поле на гіперспектральних зображеннях.

вести до складних, характерних ознак теплової активності через різне поглинання сонячного випромінювання.	Поляриметрична сигнатура неструктурованих поверхонь, таких як трава, випадкова, що призводить до неполяризованого випромінювання. Гладкі поверхні матеріалів мають поляризовану сигнатуру.
---	--

Оптоелектронні системи видимого та ближнього ІЧ-діапазону здатні виявляти об'єкти лише за вторинними ознаками, які не завжди достовірні та достатні для прийняття рішення про виявлення, тоді як прилади, що працюють в довгохвильовому ІЧ-діапазоні, можуть виявляти як первинні, так і вторинні ознаки.

Проникнення оптичних хвиль у непрозорі матеріали становить менше 1 мм, тому оптичними методами можна виміряти властивості поверхні ґрунту, на які впливає наявність похованих наземних мін. Видиме світло і методи виявлення та лазерний дальномір (LIDAR) є двома прикладами поширених методів оптичного виявлення.

Видиме світло. Виявлення видимого світла передбачає захоплення довжин світлових хвиль видимого діапазону за допомогою оптичної системи формування зображення, як показано на рис. 69 (MacDonald et al., 2003). Візуальний тепловізор збирає пучок світла від точки об'єкта і перетворює його в промінь, який сходиться до інших точок у фокальній площині або розходиться з ними, створюючи в такий спосіб зображення.



Рис. 69. Виявлення мін за допомогою видимого світла

Електронні тепловізори діють як перетворювачі отриманої енергії фотонів в електричний слід, де сигнал обробляється й відображається електронним способом. Нарешті, спектральні фільтри також може бути застосовано для з'ясування видимих спектральних характеристик наземних мін. Процес виявлення може здійснюватися з повітряної платформи, що дозволяє сканувати великі площі за короткий час та не призводить до ризику детонації. Він може виявляти як металеві, так і неметалеві міни. Датчики видимого світла є відносно зрілими технологіями, які часто компактні й мають низьку вартість порівняно з іншими типами датчиків довжини хвилі. Основним обмеженням цього методу є те, що він може бути легко заблокований камуфляжем або листям. Його можна використовувати лише на рівнинній місцевості з невеликою кількістю рослинності. Датчики менш ефективні в умовах поганого освітлення, крім того, вони не можуть виявляти об'єкти під поверхнею.

LIDAR – оптична технологія, яка працює у видимій та інфрачервоній областях електромагнітного спектра. Прилади LIDAR посилають імпульси когерентного випромінювання, частина якого відбивається назад від поверхнево розташованих об'єктів (рис. 70).



Рис. 70. Виявлення наземних мін за допомогою LIDAR

Датчики LIDAR вимірюють як час проходження відбитих імпульсів, так і різницю між пропущеною і відбитою енергією, які використовуються для обчислення відстані до цілі та її загальної відбивної здатності або поглинання. Система LIDAR, виявляє зміни поляризації у зворотному розсіянні енергії, отриманої після освітлення цілі, що дозволяє розрахувати відстань до неї.

Цей метод безпечний і уможливлює сканування великих площ. Він здатний виявляти як металеві, так і неметалеві об'єкти в найрізноманітніших кліматичних умовах вдень і вночі. Передбачає використання надзвичайно чутливого сенсорного обладнання для отримання даних майже в реальному часі та швидкого просторового сканування у трьох вимірах. На жаль, цей метод не здатен зазирнути під поверхню землі. Він погано працює на ділянках із помірною та високою рослинністю. Низький рівень зворотного сигналу LIDAR обмежує його діапазон і чутливість.

Здатність LIDAR на платформі БПЛА проникати крізь рослинність дозволила дослідницькій групі нанести на карту траншеї, бункери та кратери, щоб передбачити, де може бути розташована лінія мінування (рис. 71). Результати зробили роботу з очищення безпечнішою та прискорили цілеспрямований підхід до неї (Pacheco, 2023).



Рис. 71. LIDAR система БПЛА Routescene, встановлена під DJI M600 Pro в Анголі

4.5. Хімічні

Загалом вибухові речовини складаються з вуглецю (C), водню (H), азоту (N) і кисню (O), а також багатьох інших органічних сполук. Найпопулярнішою вибуховою речовиною для основного заряду в наземних мінах є тротил (2, 4, 6-тринітротолуол), найбільш широко використовувана військова вибухівка.

Використовуються й такі вибухові речовини, як RDX (гексоген), PRTN (нітроген), HMX (октоген) та ін. Військові вибухові речовини здебільшого є комбінаціями тротилу та гексогену з низкою органічних сполук (воски, пластифікатори, стабілізатори, олії і т. ін.). Приклади таких комбінацій: склад В (комбінація RDX, тротилу та воску); склад С-4 (комбінація RDX, поліізобутилену, ди (2-етилгексил) себакату та мазуту). Крім того, міни можуть мати бустерний заряд для збільшення потужності, що виділяється детонатором, до рівня, достатнього для ініціювання основного заряду (Habib, 2011).

Занепокоєння, пов'язані з національною безпекою, актуалізують дослідження у сфері виявлення вибухових речовин, а також подальший розвиток існуючих аналітичних методів, що дозволяє проводити швидші, чутливіші, дешевші і простіші визначення з ідентифікації вибухових речовин за хімічними слідами.

Традиційні заходи безпеки в аеропортах включають використання металодетекторів для виявлення зброї, яка може бути прихована, в поєднанні з рентгенівськими апаратами для перегляду вмісту багажу. Однією з основних проблем є те, що вибухові речовини часто нелегко виявити за допомогою традиційних підходів, і в цьому контексті багато терористичних груп пристосувалися уникати використання металевих предметів. Підходи до виявлення вибухонебезпечних речовин, такі як спектрометрія іонної рухливості в поєднанні зі взяттям мазків, хоча і використовуються в повсякденній практиці, здебільшого придатні лише для перевірки предметів ручного багажу (Caugill et al., 2012).

Мас-спектрометрія та спектрометрія рухливості іонів. Принцип *мас-спектроскопічних методів* полягає в тому, що зразки втягуються з повітря в мас-спектрометр (вакуумну камеру), де вони іонізуються, іони, що утворилися, розділяються електричним і магнітним полями відповідно до співвідношення масових

зарядів, виявляються і кількісно оцінюються. Ці методи демонструють дуже високу чутливість і селективність, але часто дорогі й вимагають лабораторного обладнання. Значна частина сучасних досліджень спрямована на зменшення розмірів і вартості такого обладнання.

Спектрометрія іонної рухливості – один із найпоширеніших методів виявлення в повсякденному використанні завдяки здатності характеризувати зразок як якісно, так і кількісно, а також дуже низьким межам виявлення, які часто досяжні. IMS характеризує зразок через рухливість іонів у газовій фазі приладу під час дії електричного поля (рис. 72). Пари зразка іонізуються при атмосферному тиску перед уведенням у дрейфову трубку. Час дрейфу пов'язаний із масою іонів, і, визначивши співвідношення маса/заряд, можна ідентифікувати компоненти в зразку шляхом порівняння з відомими стандартами.

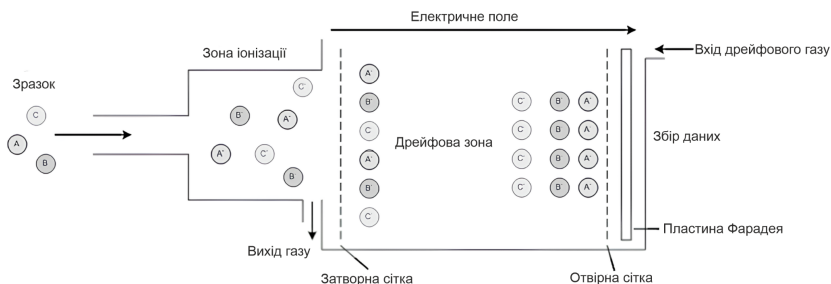


Рис. 72. Схема спрощеного спектрометра рухливості іонів

Більшість комерційно доступних апаратів джерело іонізації використовують ^{63}Ni або ^{241}Am . Однак радіоактивна природа цих джерел іонізації викликає занепокоєння щодо безпеки та впливу на навколишнє середовище.

В обох методах іони прискорюються та розділяються відповідно до співвідношення їх маси/заряду, яке використовується для виявлення вибухових речовин. Однак ці методи мають помилкові сигнали тривоги, викликані невибуховими речовинами.

Інфрачервона абсорбційна спектроскопія. Цей метод ґрунтується на тому, що молекулярні коливання мають характерні частоти в інфрачервоному спектрі. Резонансне поглинання світла цими коливаннями спостерігається при зміні дипольного моменту

молекули. Однак інфрачервоні спектри великих молекул можуть мати широку смугу пропускання, що призводить до нечіткості спектра. Крім того, багато вибухових речовин розкладаються при високих температурах, необхідних для досягнення тиску парів, потрібних для виявлення.

Інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є (FTIR) – цей метод широко використовується для заміни більш традиційних дисперсійних інструментів, що дозволяє значно скоротити час, необхідний для аналізу зразків, оскільки він сканує всі інфрачервоні частоти одночасно, а не окремо. Отриманий ІЧ-спектр Фур'є-спектр дозволяє ідентифікувати речовини через поглинання при різних довжинах хвиль світла.

Primera-Pedrozo та ін. (2009) повідомили про метод виявлення і кількісного визначення залишків вибухових речовин на металевих поверхнях за допомогою волоконно-оптичної інфрачервоної спектроскопії з комбінованим відбиттям / поглинанням (RAIRS). Коли інфрачервоний промінь направляється на гладку поверхню, він проходить крізь зразок і знову відбивається від цього покриття; це явище називається дзеркальним відбиттям і лежить в основі методу RAIRS. Поєднання цього методу із зондом із перетворенням Фур'є, що містить волоконно-оптичні кабелі, які передають у середньому інфрачервоному діапазоні, дозволяє аналізувати зразки на місці, а не в камері для зразків спектрометра.

Опто-акустична спектроскопія. Метод ґрунтується на частковому перетворенні поглинутої молекулами оптичної енергії на теплову за допомогою релаксацийних процесів. Використовуючи імпульсне випромінювання для збудження зразка, імпульси тиску реєструються чутливими мікрофонами, утворюючи фотоакустичний спектр (Chen et al., 2013).

Комбінаційне розсіювання. Комбінаційне розсіювання – це непружне розсіювання світла молекулами або атомами. Під час взаємодії світла з молекулою енергія коливальних і обертальних станів може змінюватися і випромінюється квант світла з меншою енергією. Однак ефект комбінаційного розсіювання надзвичайно слабкий і має недостатню чутливість для виявлення наземних мін (Piorek et al., 2012).

Імунохімічні сенсори. Комплекси антиген-антитіло утворюються для білків, що містять молекулу, яка нас цікавить. Коли речовина зв'язується з антитілом, відбувається зміна певної фізичної властивості, яка слугує для виявлення. Незважаючи на свою селективність, антитіла нелегко застосовувати в польових умовах, оскільки вони не придатні для багаторазового використання (Mirasoli et al., 2012).

Електронні носи. Комбінації кількох сенсорів з алгоритмами розпізнавання образів, що утворюють штучну нюхову систему (рис. 73). Вони зменшують потребу у високоселективних сенсорах і роблять більший акцент на алгоритмах ідентифікації зразка (Stitzel et al., 2011). Сенсори, що використовуються в електронних носах: флуоресцентні полімери, оптичні волокна, полімерні плівки, нанокластери золота, п'єзоелектричні матеріали та мікроелектромеханічні системи (Chen, 2008).



Рис. 73. Схема загальних компонентів штучного носа

Перший штучний ніс, про який повідомлялося в 1982 р, використовував матрицю датчиків з оксиду олова. Однак відтоді було розроблено та комерціалізовано широкий спектр сенсорних технологій.

Техніка розпізнавання образів, яка використовується для інтерпретації даних електронного носа, має вирішальне значення для його загальної продуктивності. Використано багато типів алгоритмів розпізнавання образів, побудовано моделі класифікації на основі відповідей електронного носа, включаючи параметричні та непараметричні методи.

Параметричні методи, або статистичні методи, передбачають базовий нормальний розподіл у відповідях датчика, які можна описати функцією щільності ймовірності.

Непараметричні підходи не роблять жодних припущень щодо розподілу в межах даних і тому можуть бути застосовані більш загально. Ще одна різниця між різними методами розпізнавання образів залежить від того, чи базується алгоритм на керованому або неконтрольованому навчанні.

Контрольоване навчання передбачає етап навчання, де відомий набір вхідних відповідей використовується для розробки бази даних дескрипторів, які визначають можливі класифікації вихідних даних. Наприклад, користувач вводить ідентифікатор специфічного відомого запаху, що є результатом конкретної реакції. Під час ідентифікації на етапі пошуку відповідь порівнюється з попередньо розробленою базою даних, а результатом роботи алгоритму є класифікація відповіді на основі подібності до попередньо вивчених дескрипторів. Навчання без контролю більше схоже на те, як працює людський нюх. У випадку неконтрольованого навчання алгоритм має на меті знайти класи, які визначають вхідні відповіді, але без попередньо визначених класів виведення, з яких можна вибрати. На сьогоднішній день це найпоширеніший спосіб розпізнавання образів.

Методи, які використовуються для інтерпретації даних реакції штучного носа, включають аналіз головних компонентів і штучні нейронні мережі.

Електронний ніс складається з трьох основних блоків (рис. 74). Пневматичний блок виконує основну функцію імітації дихальної системи, нагнітаючи навколишнє повітря в л/хв в систему, що подає зразок в камеру датчиків.

Крім того, два електродклапани на 12 В використовуються для перемикання зразків між пробірною з навколишнім повітрям і пробірною з речовиною, яку потрібно проаналізувати. Основна ідея полягає в очистці камери датчика між вимірюваннями, щоб гарантувати відсутність забруднення в момент аналізу зразків. За допомогою експериментального тестування було визначено, що час очищення становить 135 секунд, а час аналізу речовини – 3 секунди.

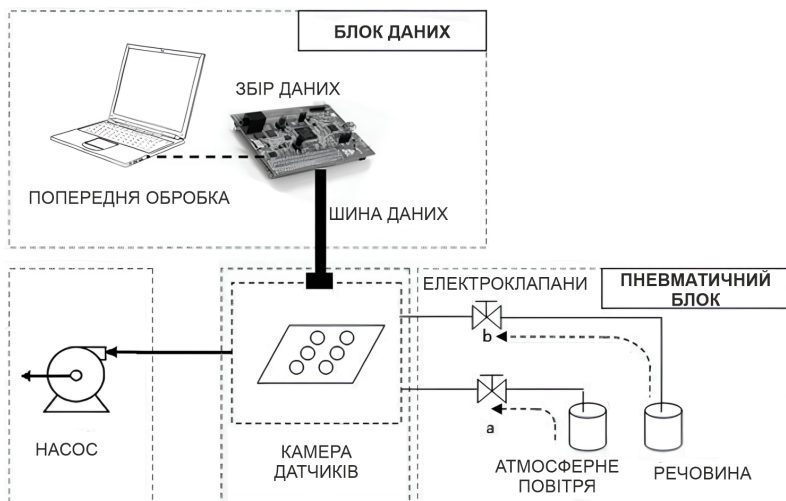


Рис. 74. Структурна схема електронного носа

Камера датчиків складалася з корпусу та масиву хімічних датчиків. Корпус виготовлено з інертного матеріалу, щоб не забруднювати експерименти. Масив хімічних сенсорів побудований із використанням оксидних сенсорів сімейства FIGARO. Масив датчиків складався із шести датчиків: два TGS-822, один TGS-825, два TGS-826 і один TGS-2610; кожен датчик підключений до потенціометра для калібрування його чутливості, за винятком TGS826, який мав постійний опір 10 кОм, визначений виробником. Для формування вихідного сигналу кожного датчика, а також для отримання зручного електричного сигналу на виході застосовано дільник напруги. Зв'язок між камерою датчиків і пневматичним блоком визначений фізичним з'єднанням труб, щоб забезпечити необхідні умови для правильної роботи датчиків (Lopez et al., 2017).

Три різних експериментальних дослідження вибухонебезпечних речовин дозволили одержати 86% точності ідентифікації.

4.6. Ядерні

Починаючи з 1940-х рр., здійснено величезну кількість досліджень з ядерного виявлення наземних мін. Ядерний квадрупольний резонанс (ЯКР) і нейтронні методи є найпоширенішими методами ядерного виявлення.

Ядерний квадрупольний резонанс. ЯКР-методи гуманітарного розмінування базуються на аналізі радіочастотних (РЧ) сигналів від ядер N^{14} усередині мін. Гексоген і тротил широко використовуються як вибухові наповнювачі наземних мін, вони можуть бути ідентифіковані ЯКР завдяки своїй твердій кристалічній структурі й наявності азоту (рис. 75). Робоча частота радіочастотних сигналів становить від 0,5 до 6 МГц і є однією з ознак вибухової речовини. За допомогою сигналів можна ідентифікувати вибухівку, оцінити її кількість та глибину залягання. Крім того, сигнали можна спостерігати лише в твердих або твердopodobних матеріалах, що дозволяє уникнути хибних тривог від інших матеріалів, які не є азотом, що міститься в навколишньому середовищі або в корпусі міни.

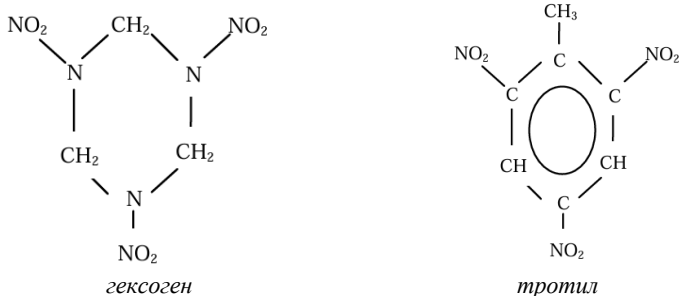


Рис. 75. Хімічні структури гексогену та тротилу

Радіочастотні сигнали збудження, які генеруються спектрометром, подаються на налаштовану антену після підсилення радіочастотним підсилювачем потужності. При цьому використовується підсилювач. Пошукова котушка передає серію радіочастотних імпульсів, які порушують орієнтацію ядер азоту у вибуховому матеріалі. Усі поширені бризантні¹¹ вибухові речовини містять

¹¹ Бризантні (вторинні) вибухові речовини – речовини, які під впливом ініціюючих вибухових речовин або значних теплових чи механічних зовнішніх факторів здатні до хімічного перетворення з виділенням тепла і газоподібних продуктів.

квадрупольне ядро, яке генерує три набори резонансних частот, що забезпечує однозначний метод виявлення та ідентифікації вибухової речовини. Після кожного збудження на відповідній частоті ядра обертаються назад із меншою енергією. Однак, оскільки ядра мають магнітний момент, рух обертання індукує невелику виявлену напругу в налаштованій антені, яка після підсилення дає спектральний вихід (рис. 76). Зазвичай в аналітичних експериментах віддають перевагу соленоїдним антенам, тоді як практичні експерименти з виявлення наземних мін використовують односторонні антени. Крім того, сигнал ЯКР, отриманий тією ж антеною або іншою антеною приймача, посилюється маломощним попереднім підсилювачем і оцифровується в спектрометр.

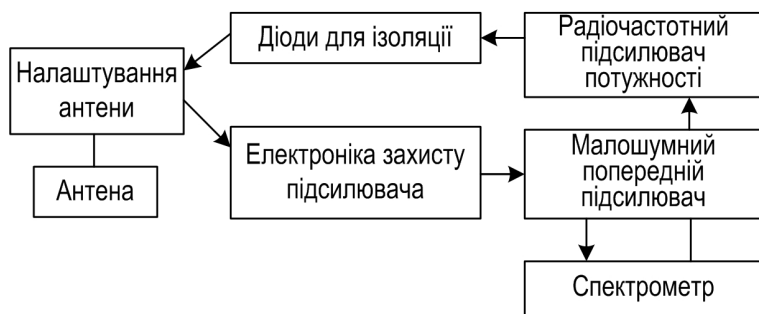


Рис. 76. Блок-схема типової системи виявлення ЯКР (Deas, 2004)

Метод ЯКР, проілюстрований на рис. 77, радіочастотним методом, в якому спостережувані частоти залежать від взаємодії між електричним квадрупольним моментом ядра і градієнтом електричного поля, що генерується на ядерній ділянці зовнішніми зарядами. Найскладніша перспектива ЯКР – скорочення часу, необхідного для виявлення тротилу. Наразі час виявлення становить кілька хвилин, що неефективно і, як правило, не вважається практичним (Deas et al., 2002).

Цей метод похідний від ядерного магнітного резонансу, який використовується без необхідності зовнішнього магнітного поля. Він може бути високоспецифічним (кожна вибухова речовина має унікальну сигнатуру). Потенційно це метод із дуже низьким рівнем хибних спрацьовувань. Наявність металевих предметів

(зокрема тих, що містять вибухові речовини) можна виявити за ефектом розстроювання ЯКР-зонда. Ядерне випромінювання при цьому не використовується. Неможливо виявити речовини, повністю екрановані металевими оболонками. ЯКР-сигнатура тротилу набагато сильніша, ніж від аналогічної кількості гексогену.



Рис. 77. Виявлення протипіхотних мін з ЯКР

Метод на основі нейтронів. Техніка зворотного розмінування нейтронів використовує той факт, що наземні міни містять значно більше атомів водню, ніж сухий пісок поблизу них. Оскільки атом водню, який має майже таку саму масу, як і нейтрон, є дуже ефективним сповільнювачем, потік теплових нейтронів збільшиться, коли зустрічається міна (Yoshikawa et al., 2009).

На рис. 78 безперервне або імпульсне джерело нейтронів випромінює спалахи нейтронів у землю. Детектор використовується для характеристики вихідного випромінювання, яке є переважно гамма-променями, що виникає в результаті взаємодії між нейтронами з ґрунтом і вибуховими речовинами. В результаті бомбардування відбуваються ядерні реакції і утворюються різноманітні ядерні частинки, гамма- і рентгенівського випромінювання, специфічні для кожного елемента в матеріалі, що бомбардується. Імпульсні системи дозволяють використовувати часову інформацію,

яка може бути корисною для зменшення впливу фонового випромінювання від взаємодії нейтронів із ґрунтом; вони можуть бути інтегровані з металодетектором у ручному обладнанні. Обмеженнями цього методу є високе енергоспоживання споживання енергії, радіаційна небезпека та вага необхідного щільного екранування.



Рис. 78. Виявлення мін на основі нейтронів

Делфтський технологічний університет провів випробування в єгипетській пустелі в рамках проєкту Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) з пошуку наземних мін на основі методу візуалізації зворотного розсіювання нейтронів із використанням PuBe -джерела нейтронів (2×10^5 н/с). Детектор було встановлено на дистанційно керованому транспортному засобі. Під час випробувань отримано хороші результати для мін, закопаних на глибину менше 15 см. Однак виявлено, що вологість ґрунту повинна бути низькою, тобто менше 5% від ваги (посушлива місцевість), щоб цей метод був ефективним (Vom et.al., 2005).

4.7. Акустичні

Сейсмоакустичні методи призначені для виявлення мін шляхом їх вібрації акустичними або сейсмічними хвилями, які генеруються і приймаються відповідно безконтактним (акустичним) і контактним (сейсмічним) перетворювачами. Ці методи виявлення опираються на механічні властивості, які можуть відрізнити

акустичну реакцію мін від інших (зазвичай несумісних) об'єктів, закопаних у землю (помилкових цілей), таких як каміння, коріння дерев, металеві предмети, цегла та ін. Техніка залежить від того факту, що міна – це штучний «корпус», який контактує з ґрунтом, у якому вона закладена, а не від матеріалу, з якого виготовлена міна (метал, пластик, дерево та ін). Корпус є акустично сумісним виробом, який помітно відрізняється від відповідності навколишнього ґрунту (високий контраст вібрації). Динамічна взаємодія корпусу та ґрунту на ньому призводить до специфічних лінійних і нелінійних ефектів, які використовуються для виявлення та розпізнавання мін. Маса ґрунту на верхній частині контейнера створює класичну систему маса-пружина з чітко визначеною резонансною реакцією. «Сигнали вібрації» вимірюються в численних лабораторних і польових випробуваннях, які доводять, що резонанс і нелінійні відгуки системи шахта/ґрунт можна використовувати для виявлення та розпізнавання закопаних мін. Отже, той факт, що міна закладена, перетворюється на перевагу виявлення. Тому вдається розрізняти окремо наземні міни і захаращеність при використанні сейсмоакустики, що може значно знизити рівень хибних спрацьовувань при розмінуванні.

Ультразвук (УЗХ). Виявлення за допомогою УЗХ, показане на рис. 79, полягає у випромінюванні звукової хвилі з частотою вище 20 кГц у середовище. Ця звукова хвиля буде відбиватися на межах між матеріалами з різними акустичними властивостями. Звук поширюється як механічне збурення молекул у вигляді хвиль. Коли звукова хвиля поширюється через середовище, хвиля складається з молекул середовища, що коливаються навколо своїх положень рівноваги, але при цьому не відбувається поширення матеріалу, а лише передача збурень і поширення звукової енергії.

Основною перевагою цього методу є здатність хвилі добре проникати крізь дуже вологі ґрунти. Акустичні системи з розгорнутою хвилею також були запропоновані для пошуку резонансів, характерних для мін, у простий і недорогий спосіб. Хвиля добре поширюється у вологих або підводних умовах. Такі системи стикаються з проблемами на межі розділу між повітрям і землею, яка значно послаблює УЗХ.

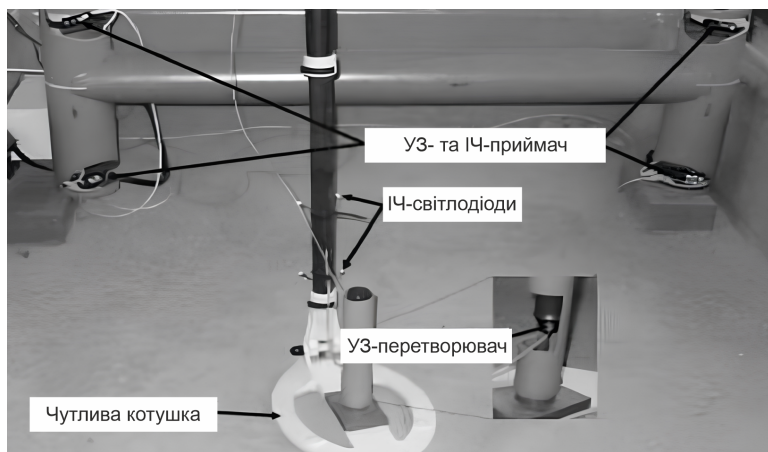


Рис. 79. Виявлення наземних мін за пропонованою методикою

Від акустичного до сейсмічного (А/С). Метод А/С використовується для виявлення наземних мін шляхом їх вібрації за допомогою акустичних або сейсмічних хвиль, які генеруються і приймаються безконтактними (акустичними) та контактними (сейсмічними) перетворювачами відповідно. Цей метод виявлення ґрунтується на механічних властивостях, які можуть відрізняти акустичну реакцію наземних мін від інших об'єктів, похованих у землі (рис. 80). Система виявлення наземних мін А/С складається з передавача, який генерує акустичні хвилі, і приймача, який вимірює коливання.



Рис. 80. Виявлення мін на основі А/С

У дослідженні (Bechtel, 2013) розглядається застосування сейсмо-акустичного безперервно-хвильового сейсмічного передавача (або шейкера) для індукування коливань у землі, які можуть бути посилені пружно-піддатливими заглибленими мінами (рис. 81). Мікрофонні приймачі реєструють пов'язані акустичні коливання в повітрі над ними. Шумозаглушення застосовується для поліпшення співвідношення сигнал/шум і створення характерної звукової картини, яка дозволяє точно визначити місцезнаходження мін. Цей метод недорогий, не передбачає контакту із забрудненим мінами ґрунтом і може добре працювати у вологих ґрунтах, на відміну від інших поширених методів виявлення неметалевих заглиблених цілей. Суттєві переваги – безпека і простота стають ключовими для його подальшого прикладного застосування в реальному світі. Мікрофони не контактують із землею, що мінімізує небезпеку підриву на міні. Крім того, самі тести прості, швидкі й дають результати в реальному часі (мікрофони підключені для шумозаглушення в реальному часі в прототипі, описаному нижче).



Рис. 81. Фото прототипу

Спочатку потрібно було підтвердження того, що мікрофонна система із шумозаглушенням може виявити звук об'єкта, що резонує нижче рівня навколишнього шуму, і визначити його місцезнаходження на основі просторово змінного акустичного поля. Для створення системи мікрофонного приймача два високочутливих широкосмгових мікрофони встановлювалися на фіксованій відстані на ручній штанзі. Мікрофони були підключені до двоканального підсилювача Mackie Onyx Blackjack та аналого-цифрового перетворювача з USB-з'єднанням до ноутбуку, на якому містилося програмне забезпечення для редагування цифрового аудіо GoldWave. Для імітації «звуку» заглибленої резонуючої міни під товстою, згорнутою ковдрою на підлозі лабораторії було розміщено невеликий динамік. Комп'ютерно змодельовані ноти відтворювалися через динамік на рівні звуку, значно нижчому за рівень навколишнього шуму. Ноти були насичені низькими частотами, що мали відповідати резонансним частотам протипіхотних мін. Навколишній шум створювався роботою інших лабораторних інструментів. Мікрофонна система була розміщена над прихованим динаміком, щоб записати імітацію звуку резонуючої закопаної міни. Шумозаглушення виконувалося вручну в програмі GoldWave.

Аналіз даних першого етапу підтвердив здатність мікрофонної системи виявляти й точно визначати місцезнаходження резонуючих об'єктів. Наступний крок полягав у перевірці того, чи може заземлене сейсмічне джерело викликати резонанс у шахті. Бетонний вібратор (сейсмічний шейкер) розмістили в одному з кутів піщаного випробувального майданчика розміром 3,05 м × 3,05 м (10 футів × 10 футів). З протилежного боку три геофони (власна частота Оуо 100 Гц) були розміщені поверх піску з використанням плоских сталевих снігових пластин замість типових геофонних шипів. Під одним з геофонів закопано імітацію міни (циліндричні металеві та пластикові контейнери з-під м'ятних цукерок, заповнені силіконовою гумою RTV, яка імітувала розміри і фізичні властивості мін), а інші лежали на однорідному піску. З увімкненим вібратором геофони реєстрували коливання матеріалу під ними на цифровому сейсмографі Geometrics StrataView. Ще до спектрального аналізу геофонних записів, просто дивлячись на

сліди сейсмічних коливань, було зрозуміло, що два геофонні записи над безформним піском майже ідентичні, тоді як запис над міною відрізнявся.

У наступній серії випробувань мікрофонну систему переміщували вздовж тестової смуги на піску, під якою в середній точці була закопана міна. Контрольні випробування без мішені та випробування із закопаними пластиковими та металевими імітаторами мін були виконані з мікрофонами на висоті від 5 до 10 см (1,97-3,94 дюйма) над поверхнею землі. Результати випробувань на такій відстані від землі визначили її як оптимальну висоту датчика. Під час усіх цих випробувань на відкритому повітрі випробувальний майданчик знаходився біля головної дороги, тому фоновий шум був значним і несистематичним.

4.8. Механічні

Значна частина досліджень і розробок була спрямована на моторизоване механічне розмінування, на ранні особливості якого вплинули вимоги військового розмінування. Більшість машин, що використовуються у світі для механічного розмінування, спершу не були призначені спеціально для цієї роботи. Ряд машин для механічного розмінування сконструйовано або адаптовано з військових транспортних засобів або бронетехніки того ж або схожого типу і з тими ж або зменшеними розмірами. Крім того, комерційні та сільськогосподарські машини/транспортні засоби були модифіковані і пристосовані для розмінування або вирізання чагарників, що становить основну частку в деяких сферах механічного розмінування.

Механічні методи мають свої сильні і слабкі сторони. Механічні методи швидкі, екологічно небезпечні та не спроможні забезпечити точність і безпеку гуманітарного розмінування, принаймні в найближчій перспективі. За допомогою цих методів машини часто не знищують усі міни на забрудненій території. Протипіхотні міни бувають зсунуті на один бік або закопані глибше, або частково пошкоджені, що робить їх ще більш небезпечними та непередбачуваними. Економічна доцільність їх застосування виправдана на великих і широких територіях без густої рослинності

чи крутих схилів. Невеликі доріжки у поєднанні з густим чагарником унеможливають маневрування цими засобами.

Мета використання машин здебільшого полягає не в повному розмінуванні, а у підготовці земної поверхні до повного очищення після машин за допомогою ручних і мінно-розшукових команд. Виявлення та розмінування під час гуманітарного розмінування дуже часто покладаються на ручні методи як основну процедуру, яка використовує «шттовхаючий» або «зондувальний» інструмент для розкопок у своєму циклі для забезпечення високої надійності.

Сучасна технологія, що застосовується для механічного виявлення закопаних наземних мін, обмежується використанням щупа, який вручну вставляється в землю під кутом близько 30°.

Інструментальний щуп. Щупи, зображені на рис. 82, пристосовуються до вправності оператора (Habib, 2009). З їх допомогою можна проводити акустичні або електромагнітні вимірювання в процесі обстеження. Відлуння дасть інформацію про механічний імпеданс матеріалу поблизу (або в контакті з) наконечником, що робить можливим розрізнення між камінням, деревом, пластиком і металом. Такий пристрій знаходиться в стадії розробки зі значним успіхом (Das et. al., 2002). Зондування є усталеним етапом ручного розмінування.

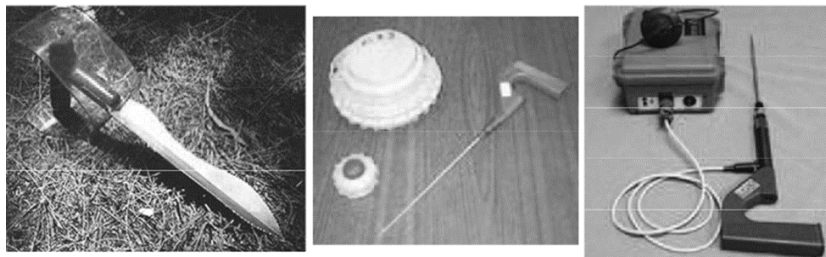


Рис. 82. Виявлення мін за допомогою щупів
(звичайні ручні щупи справа та посередині,
проколювач із зворотним зв'язком по силі – зліва)

Машини розмінування. Наразі ні конкретна система, ні конкретна конфігурація не домінують на ринку гуманітарного розмінування. Незважаючи на величезні міжнародні, технічні та комерційні зусилля, багато машин ніколи не залишали статус прототипу

або не виявилися успішними на ринку. Велика різноманітність (рис. 83) (понад 50 моделей), конструктивні та інші особливості засобів машинного розмінування дозволяють їх розрізняти завдяки певним ознакам класифікації (Mikulic, 2012).

За масою:

- легкі, до 5 тонн;
- середні, 5–20 тонн;
- важкі, понад 20 тонн.

За режимом роботи:

- безпосереднє керування з кабіни машини;
- робота за допомогою пультів керування;
- робота за допомогою пультів дистанційного керування та відеоспостереження.

За основним інструментом:

- машина з ціпами;
- машина з фрезою;
- машина з роликами;
- машина з рослинорізучими засобами.



a – Minewolf



б – Bozena



в – Armtrac



г – Komatsu

Рис. 83. Деякі машини для розмінування

Аналітичні дослідження глобальної діяльності з різними типами механічних машин для розмінування та результати випробувальних центрів у Хорватському центрі протимінної діяльності, Міжнародній програмі випробувань та оцінки гуманітарного розмінування, Шведському центрі знешкодження вибухонебезпечних предметів і розмінування, а також швейцарських, британських і німецьких арміях обумовили створення оптимальних специфікацій машин для розмінування та проведення експериментів (Rath et al., 2010).

Випробування з манекенами та без них, із обладнанням для ціпіва та румпеля та без нього, а також дуже детальне вимірювання фактичних навантажень на тіло людини зумовили до машини загальною вагою від 15 до 20 тонн. Досвід, набутий саперами у польовому розгортанні з роботою ціпа та фрези в різних умовах ґрунту та рослинності, забезпечує потужність двигуна від 250 до 400 кінських сил. Крім того, випробування з протитанковими мінами показали, що відстань між детонацією та кабіною водія повинна становити не менше 4 м (13 футів).

«Концепція ящика для інструментів» окреслює ідею про те, що машини повинні оснащуватися різними навісними пристосуваннями для змоги подолання широкого спектра мінних загроз. Такі машини повинні включати можливість виконання операцій із розробки та/або засобів до існування після припинення розмінування. Ці операції включають сільське господарство, лісове господарство, будівельну промисловість та ряд інших можливостей.

Між гусеничною та колісною базою за показниками безпеки і вартості є ряд переваг та недоліків. Гусенична машина краща з точки зору продуктивності та ефективності розмінування, але машина для розмінування на базі трактора із фрезою вигідніша. Трактори можуть бути модифіковані на трактори для розмінування на місці, де є підтримка експертів. Модифікації готових тракторів уже продемонстровано.

Глибина очищення/розмінування варіює за такими значеннями: експлуатаційна від 100 мм і більше 250 мм (Minewolf – 200 мм, Bozena – 100 мм); максимальна від 100 мм до 500 мм (Minewolf – 400 мм, Bozena – більше 120 мм, Armtrac – більше 300 мм). Продуктивність машини буде змінюватися залежно від типу ділянки,

глибина очищення на всій ділянці буде різною. Найважливішим питанням є перевірка того, чи досягається мінімальна глибина згідно з вимогами нормативного документа. Продуктивність очищення або пропускна здатність, $\text{м}^2/\text{год}$, залежить від категорії місцевості, типу ґрунту та рослинності: вище при легких ґрунтах і низькорослій рослинності, нижче при важких ґрунтах та високій рослинності. Так, Minewolf на легких ґрунтах і низькій рослинності має пропускну здатність $750 \text{ м}^2/\text{год}$, на середніх ґрунтах і середній рослинності – $600 \text{ м}^2/\text{год}$ і на важких ґрунтах – $250 \text{ м}^2/\text{год}$. Armtrac 400 може зачищати понад $2400 \text{ м}^2/\text{год}$, знешкоджуючи вибухонебезпечні предмети на глибині 55 см. А потужна конструкція захищає машину від протитанкових мін вагою до 10 кг (Lappo et al., 2023).

4.9. Інтернет речей

Четверта промислова революція, яку ще називають Індустрія 4.0 – нова індустріальна епоха ХХІ століття, яка поєднує можливості інформаційно-комунікаційних технологій, які взаємодіють здійснюючи аналіз і застосування інформації для дій через дротовий або бездротовий зв'язок. Hermann et al., 2016 зазначає, що Індустрія 4.0 базується на шести принципах:

1) *взаємодія*: здатність машин, пристроїв, сенсорів, датчиків і людей з'єднуватися та взаємодіяти для досягнення спільної мети;

2) *віртуалізація*: кіберфізичні системи (CPS) відстежують фізичні процеси та постійно порівнюють модель реального світу (на основі даних датчиків) із редагованою моделлю бажаного світу. CPS навіть контролюють одна одну та подають сигнали тривоги, коли відчувають збій;

3) *децентралізація*: зростаючий попит на індивідуальні продукти та послуги ускладнює централізований контроль систем. Вбудовані комп'ютери дозволяють CPS приймати рішення самостійно. Проте, необхідно постійно стежити за системою в цілому;

4) *адаптація в реальному часі*: CPS збирають, обмінюються та аналізують дані в режимі реального часу. Отже, можна своєчасно реагувати на збій будь-якого компонента системи та перенаправити інформацію або її частини на іншу машину;

5) *орієнтація на послуги*: послуги, що надаються «розумними» системами, можуть надаватися іншим учасникам за межами компанії, дисципліни та міжнародних кордонів. Усі CPS можуть пропонувати свої функції як окрему послугу, що дає змогу зібрати правильну комбінацію CPS для створення конкретного продукту чи послуги, які відповідають будь-яким потребам кінцевого користувача;

6) *модульність*: системи можуть адаптуватися до мінливих вимог шляхом заміни або розширення окремих модулів «Plug & Play». Завдяки стандартизованим програмним і апаратним інтерфейсам нові модулі можна ідентифікувати та запитувати автоматично для негайного використання.

Стрімкий прогрес розвитку інформаційно-комунікаційних технологій сприяв інтеграції різноманітних технологій і розумних пристроїв для досягнення повсюдного мережевого зв'язку. IoT – це передова технологія, що поєднує в собі безліч інтелектуальних технологій і розумних пристроїв. Термін IoT запропоновано в 1999 р. Кевіном Ештоном, відтоді кількість пристроїв, пов'язаних з IoT, станом на 2023 р. становить близько 16,7 млрд шт. Прогнозується зростання кількості підключень до 29 млрд шт. до 2027 р. (рис. 84).

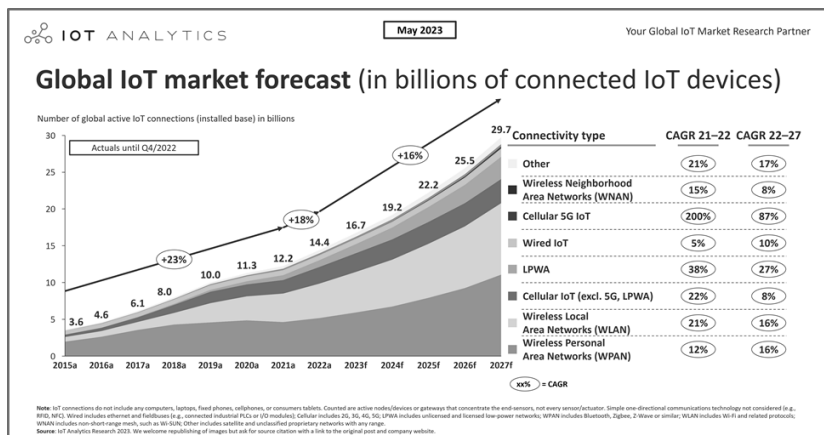


Рис. 84. Динаміка ринку підключень пристроїв до IoT

Один із вдалих прикладів застосування Інтернету речей наведено в (Rochanin et al., 2018). Це платформа, яка базується на поєднанні та взаємодії двох мікрохвильових радарів, зокрема й мультисенсорного масиву UWB, і голографічного тепловізора, а також тривимірних оптичних камер, дистанційної навігації та GPS-відстеження. Така система доволі перспективна, оскільки експериментальні й оперативні польові дані через веб архітектуру накопичуються в режимі реального часу, залишається нереалізованою обробка штучними нейронними мережами показників сенсорних датчиків.

Створення і використання БПЛА стало серйозним проривом у сфері інтелектуальних досягнень. Інновації проявляються в усіх елементах: від сучасних досягнень в авіоніці та силових установках, зростанні ємності акумуляторів, впровадженні композитних матеріалів, новітньому навігаційному обладнанні та програмному забезпеченні (Hutsul et al., 2022). БПЛА – пристрої, які прокладають шлях в IoT. Мініатюризація вбудованих сенсорних технологій не тільки сприяє їх розвитку й підсилює можливість взаємодії з IoT через спеціальні додатки. Варіанти використання IoT основи БПЛА наведено в табл. 9 (Rana & Singh, 2021).

Таблиця 9

**Варіанти використання Інтернету речей (IoT) на базі БПЛА
(за даними (Rana & Singh, 2021))**

Варіанти використання	Деталі
Покриття мережі (Network Coverage)	Включення БПЛА в IoT поліпшує покриття мережі в гетерогенних мережах IoT 5G.
Антенний зв'язок (Aerial Communication)	Мережі IoT на базі БПЛА забезпечують швидкий, надійний і гнучкий бездротовий зв'язок для підвищення безпеки.
Зв'язок (Connectivity)	БПЛА в IoT покращують зв'язність мережі і підтримують наземну мережу, поширюючи інформацію.
Агрегація даних (Data Aggregation)	Завдяки збільшенню покриття стільникової мережі, БПЛА в IoT збирає величезну кількість даних в розумних містах з великих територій для отримання бізнес-інсайтів.

Енергоефективність (Energy Efficiency)	БПЛА пропонує надійні, гнучкі та енергоефективні з'єднання з мережею IoT.
Великомасштабне розгортання (Large-Scale Deployment)	БПЛА розгортаються на великих територіях, щоб забезпечити масивні мережі з декількома входами і декількома виходами, 3D-мережі і зв'язок на міліметрових хвилях.

Використання БПЛА, на відміну від наземних дронів, забезпечує ширші навігаційні можливості в просторі у поєднанні з безпекою при виявленні мін. БПЛА можуть працювати автономно, продуктивніше і з меншим відсотком допущених помилок. БПЛА можна застосовувати як платформу для збору даних дистанційного зондування про території, які він супроводжує. Отже, він здійснює збір інформації, пов'язаної з подією або об'єктом на земній поверхні, без фізичного контакту.

Один із напрямів новітніх підходів щодо використання безпілотної авіації для виконання завдань розмінування ґрунтується на використанні міношукачів, які встановлюються на БПЛА як корисне навантаження. Інший підхід полягає у застосуванні багатоспектральної апаратури, що встановлюється на безпілотник для ведення розвідки мінної обстановки й виявлення мін. Ще один підхід полягає у використанні інфрачервоної апаратури, встановленої на безпілотник, та її реагуванні на різницю температур між міною та поверхнею місцевості.

Останні досягнення в сфері телекомунікаційних технологій, такі як 5G та Інтернет речей (IoT) відіграють вирішальну роль для повітряного зв'язку з використанням БПЛА. Залежно від регіону експлуатації БПЛА можуть застосовуватися для заповнення та розширення комунікаційних прогалів мереж покриття та пропускної спроможності бездротових мереж за межами 5G. У таких випадках БПЛА також відіграє роль проміжних вузлів або літаючих базових станцій. Це допомагає проводити операції в труднодоступних місцях, здійснювати їх моніторинг, а інтеграція хмарних обчислень із БПЛА підвищує їх роль надаючи додаткові обчислювальні потужності (Mohamed et. al., 2017). Ми вступаємо в еру «великих даних», яка прискорюється БПЛА, що передають у мережу пакети даних великої ваги з бортової камери (Al-Khafaji et al., 2019).

IoT та БПЛА мають свої слабкі та сильні сторони. Їх взаємна інтеграція може пом'якшити проблеми, пов'язані з IoT. Геометрично зростаюча кількість підключених пристроїв IoT ускладнює їх сумісність через різні протоколи і технології зв'язку, реалізовані на різних пристроях. При цьому власники компаній, бажаючи зберегти ринкову перевагу, не поспішають приходити до спільних універсальних стандартів даних і правил на рівні різних протоколів та архітектур, що перетворює їх кількість просто в хитку безкорисну конструкцію заліза.

Наступний виклик пов'язаний із безпекою системи, яка відповідає за її належне функціонування.

Крім того, необхідна багатокористувацька обробка даних у режимі реального часу в хмарному середовищі може створювати затримки передачі даних, низьку пропускну спроможність та ін.

БПЛА можуть збільшувати покриття в мережах із поганою інфраструктурою і слабким інтернет-зв'язком, підтримуючи малопотужні широкосмугові мережі (LPWAN), бездротові локальні мережі (WLAN) і супутникові мережі. Слабкий бездротовий зв'язок часто пов'язаний з особливостями географічного середовища – це щільна забудова, транспортні зони, лісові масиви, місця стихійних лих. БПЛА дозволяє оминати перешкоди, які знаходяться між лініями прямої видимості.

БПЛА легко взаємодіють із хмарними сервісами та дозволяють оперативно опрацьовувати великі масиви даних через інтелектуальні алгоритми, спрямовані на одержання рішень в режимі реального часу. Ідентифікація об'єктів Технології БПЛА використовуються для досягнення стереоскопічності та географічної різноманітності. Стереоскопічне різноманіття базується на просторовому розташуванні, а географічне різноманіття на географічних особливостях (Rana & Singh, 2021).

Одна дослідницька група розробила БПЛА (квадрокоптерного типу), який складався з тепловізора і металошукача (Ganesh et. al., 2015), а інша група закріпила інфрачервону камеру, рентгенівську камеру і металошукач на БПЛА DJI S1000+ (Hamza et. al., 2013), але надмірна вага різко знижує його продуктивність. Один квадрокоптер мав магнітометр, який важив 775 г, і дослідники зрозуміли, що магнітний шум, створений квадрокоптером, дуже

сильно впливав на показники магнітометра (Yoo et al., 2021). Гео-радар на БПЛА виявляв міни на глибині менше 20 см (Colorado et al., 2017). Це дослідження доводить, можливість розробки недорогої системи, яка може літати над забрудненою мінами територією, виявляти їх і повідомляти про місцезнаходження команді розмінування. Техніка виявлення повинна бути ефективною з точки зору ваги та енергоспоживання.

Технології БПЛА та IoT не потрапляють в традиційну класифікацію методів гуманітарного розмінування. Однак вони є зв'язуючою ланкою для реалізації на їх основі або з їх безпосередньою участю інших технологічних рішень.

4.10. Геоінформаційні системи

Ідеї залучення для обробки та аналізу просторової інформації ГІС-засобів та ГНСС обладнання почали лунати ще на початку 2000-х рр. (Lacroix, 2017). Методи ГІС можуть бути використані для інтеграції даних з історії бойових дій (зміни оборонних ліній поля бою в роки конфлікту) з метою їх синтезу та інтерпретації (Nolan, 2009). Зростає кількість випробувань методів ГІС у поєднанні з геостатистичними методами для моделювання мінних ризиків із метою доповнення даних про діяльність із розмінування (Alegria et al., 2017). ГІС інтегруються в гуманітарне розмінування з різними цілями.

Одна з них – моделювання здатності громади, що постраждала від мін, адаптуватися до забруднення наземними мінами (Killeen et al., 2022), створення карт ризиків, які окреслюють зони підвищеної небезпеки, що потребують пріоритетного розмінування (Mladineo et al., 2014). Починають з'являтися системи підтримки прийняття рішень, які ґрунтуються на багатокритеріальному аналізі території та формують задовільні результати при мінімальній кількості вхідних даних (Neumans, 2015).

Серед ключових питань гуманітарного розмінування – вибір територій для очищення. Використовуючи ГІС, аерофото- та супутникові дані в поєднанні з ГНСС під час нетехнічного обстеження, можна геоприв'язати до місцевості всі наявні й додатково зібрані дані в інформаційну систему (Schultz et al., 2016).

Цікавим прикладом застосування програми протимінної діяльності є досвід СППР Західної Сахари (Heymans, 2015). Відсутність досліджень цієї території призвела до обмеженості даних у міжнародній організації з гуманітарного розмінування IMSMA NG. Західна Сахара – переважно пустеля, що створює труднощі для осіб, які приймають рішення оперативного і стратегічного планування щодо визначення пріоритетності заходів із розмінування. База даних про протимінну діяльність була надана для дослідницького проєкту, який проводив один з авторів UNMAS за ініціативою ООН щодо розмінування. Запозичуючи досвід Афганістану, було визначено й використано безкоштовні джерела даних для просторового аналізу території Західної Сахари:

- дані щодо небезпеки та зафіксованих нещасних випадків з урахуванням атрибутів IMSMA NG були згенеровані ГІС у вигляді точкового набору даних;
- дані ЦМР ASTER (роздільною здатністю 30 м) через просторовий аналіз ArcGIS забезпечили значення висот, експозицій та кутів нахилу поверхні;
- глобальну карту ґрунтового покриття GlobCover;
- глобальні дані щодо населення LandScan;
- набір гідрологічних даних HydroSHEDS (Lehner et al., 2008) для аналізу річкової мережі, що визначає кількість річок у межах 1 км буфера для кожної небезпеки;
- дані OpenStreetMap для доповнення інформації щодо інфраструктури, водних об'єктів, ґрунтового покриття, землекористувань, точок інтересу (POI).

Кожен із цих наборів даних перекласифіковано з використанням ваги 0, 1, 2 або 3 (табл. 10), щоб кожен фактор, що розглядаються, робив рівний внесок до підсумкової оцінки в системи просторової підтримки прийняття рішень. На основі отриманого балу кожену небезпеку класифікували як високу (10 і більше балів), середню (6-9 балів) або низьку (від 0 до 5 балів) за пріоритетністю. Усе це зроблено за допомогою конструктора моделей ModelBuilder в ArcGIS. Після проведення аналізу результати системи просторової підтримки та прийняття рішень використано у статистичному програмному пакеті, для проведення частотного аналізу. Застосування таких моделей може додати цінності в процесі

прийняття рішень. Крім того, той факт, що вони використовують вільнодоступні джерела даних, може зробити значний внесок у підтримку прийняття рішень у країнах з обмеженими ресурсами для отримання дорогих знімків і даних. Розширення цих можливостей до веб або хмарного рішення розширить функціональність СППР і дозволить використовувати її для інтеграції додаткових джерел даних, якщо це необхідно (Classens, 2016).

Таблиця 10

Критерії перекласифікації для вхідного набору даних

Критерій	Діапазон значень	Вага
Населення	0	0
	1-50	1
	51-100	2
	>100	3
Земельний покрив	200 – відкриті ділянки	1
	150 – розріджена рослинність	3
Ухил місцевості	>15°	1
	11°-15°	2
	0°-10°	3
Експозиція місцевості	рівнинні, західні, південні, південно-східні і південно-західні	0
	східні	1
	північний захід, північний схід	2
	північні	3
Річки /Водні басейни	немає річок в радіусі 1 км	0
	1 річка в радіусі 1 км	1
	2 річки в радіусі 1 км	2
	більше 2 річок в радіусі 1 км	3
Інфраструктура	відсутність інфраструктури в радіусі 1 км	0
	1 об'єкт інфраструктури в радіусі 1 км	1
	2 об'єкти інфраструктури в радіусі 1 км	2
	понад 2 об'єкти інфраструктури в межах 1 км	3
Точки інтересу (POI) ¹²	немає точок інтересу в радіусі 1 км	0
	1 точка інтересу в радіусі 1 км	1
	2 точки інтересу в радіусі 1 км	2
	понад 2 точки інтересу в радіусі 1 км	3
Ключові особливості	у радіусі 1 км немає ключових особливостей	0
	1 ключова особливість в радіусі 1 км	1

¹² POI (англ. *point of interest*) – це конкретне місце розташування, яке комусь може здатися корисним або цікавим.

	2 ключові особливості в радіусі 1 км	2
	понад 2 ключові особливості у радіусі 1 км	3
Нещасні випадки	відсутність нещасних випадків у радіусі 5,5 км	0
	один нещасний випадок у радіусі 5,5 км	1
	два нещасних випадків у радіусі 5,5 км	2
	три або більше нещасних випадків у радіусі 5,5 км	3

Подальші дослідження, проведені в Афганістані, розширили вихідний набір даних СППР, додавши три додаткові атрибути для допомоги управлінцям на тактичному й оперативному рівнях під час розробки оперативних планів розмінування:

- 1) кількість мін, знайдених під час операцій із розмінування;
- 2) очищена під час операцій площа в м²;
- 3) дані щодо завершення розмінування.

Під час початкового аналізу набору даних, зокрема кількості мін, знайдених під час операцій із розмінування, у 15% випадків не зафіксовано жодної знайденої міни. Частотний аналіз на регіональному рівні виявив, що в Західному регіоні очищено більше небезпечних ділянок, на яких не зафіксовано жодної міни, ніж очищено ділянок, на яких виявлено міни. Мета полягала у спробі визначення потенційного набору вихідних атрибутів для використання в регресійній моделі. Спроба визначити лінійні змінні, які можна було б використовувати для прогнозування виявлення мін під час операцій з розмінування, не дала жодних значущих результатів. Жодна зі змінних, доступних у наборі даних, не мала сильної кореляції з кількістю знайдених мін або з фактом, що міни були знайдені або не знайдені.

У (Zatserkovnyi, 2013) розроблено математичні моделі геоінформаційного аналізу для прогнозування і вироблення рекомендаційних рішень з імовірнісною оцінкою їх ефективності для систем управління територіями. Цим самим автором запропонована методологія прийняття рішень за допомогою ГІС в управлінні територіями на основі формального опису ситуацій, що ґрунтуються на нечіткому описі основних елементів.

В Україні наявні стандартизовані процеси збору та обробки актуальної просторової інформації. Існують приклади систем підтримки прийняття рішень, які можна адаптувати та доповнити

враховуючи особливості умов території та актуальних потреб на державному та місцевому рівнях. На державному рівні функціонує Національна інфраструктура геопросторових даних (НІГД). Це комплексне національне рішення для забезпечення простого, оперативного та ефективного доступу до географічної інформації в мережі геопорталів. ІГД – це надскладна система на базі єдиної геодезичної та картографічної основ, що уніфікує в єдину базу різні важливі просторові дані. На її основі розроблено та успішно експлуатуються геоінформаційні системи для управління та обліку ресурсами територіальних громад. Комплексно це дозволяє оптимізувати процеси гуманітарного розмінування територій, залучати та використовувати більші обсяги донорської допомоги з метою швидкого відновлення ситуації.

Використання управління інформацією може підвищити безпеку та ефективність протимінної діяльності. Протимінна діяльність включає збір великої кількості даних, що надходять з різних джерел, і даних, необхідних для різних процесів обробки. Система управління інформацією дозволяє менеджеру відстежувати та візуалізувати критичні змінні, отримувати огляд ситуації, створювати індивідуальні звіти та виконувати геопросторовий аналіз для прийняття оптимальних рішень. Для польових працівників система пропонує безпечний збір даних. Прототип для сприяння раціональній діяльності з розмінування з використанням зображень із супутників (PARADIS), розроблявся між 1999-2007 рр., був першим прикладом того, як такий інструмент може поліпшити планування гуманітарних кампаній із розмінування (Lacroix, 2017).

На першому етапі PARADIS продемонстрував переваги використання даних дистанційного зондування для розмінування. Супутникові знімки дуже високої роздільної здатності (роздільна здатність 1 м) корисні для роботи на мінних полях, оскільки вони не потребують інтерпретації. Зображення високої роздільної здатності (роздільна здатність 10-30 м) корисні як регіональні карти для планування роботи команд.

На другому етапі виявилася перевага розділення PARADIS на два інтерфейси (підтверджена в даний час і пристроями мобільних телефонів або польовими планшетами). Спеціальні інструменти такі як Minefield Gridtool, дозволяють автоматично інтегрувати

вимірювання GPS і зміщувати відскановані карти, що поліпшує як повсякденну роботу саперів у полях, так і деякі процеси планування в офісі. Безпечний збір даних, обмін даними, легке та швидке звітування через налаштовані форми та різні масштаби аналізу ситуації розглядаються як важливі цінні особливості системи.

На період розробки PARADIS «стандарти розмінування» були послідовним процесом Рівня 1, Рівня 2 та Рівня 3 (табл. 11).

Таблиця 11

Завдання гуманітарного розмінування та необхідні картографічні масштаби в системі управління PARADIS

Завдання для виконання	Глобальний масштаб (1:1000000 – 1:250000)	Регіональний масштаб (1:250000 – 1:50000)	Масштаб поля (1:10000 – 1:1500)	Шкала просування (1:500)
1) Збір даних, необхідних для генерального обстеження: клімат, рельєф, дороги, населені пункти та ін.	Оголошення місії			
2) Збір інформації, недоступної під час оголошення місії: розташування мінних полів, аварії, населення та ін.			Загальний огляд	
3) Використання зібраних даних для планування діяльності з розмінування: пріоритети, персонал, матеріали та ін.		Планування		
4) Розмінування полів та знешкодження нерозірваних боєприпасів.			Технічне обстеження	
5) Оцінка виконання роботи. Наприклад: відбір зразків у очищеній зоні за допомогою іншого типу детектора.	Оцінка якості			
	Інтерфейс планування		Полевий інтерфейс	

Багатокритеріальна модель ГІС може вказати, де знаходяться потенційні місця ерозії (рис. 85) (Musa et al., 2017). За ЦМР, одержаними, зокрема, з топографічних карт, можна оцінювати кути схилів, глибини та довжини більш великих балок. Ці значення можна використовувати для оцінки ерозійної сили води (Valjarević et al., 2015). Топографічні параметри, що представляють геометричні властивості поверхні місцевості, важливі для багатьох програм, пов'язаних із моделюванням навколишнього середовища та управлінням землекористуванням (Mitasova and Mitas, 1998).

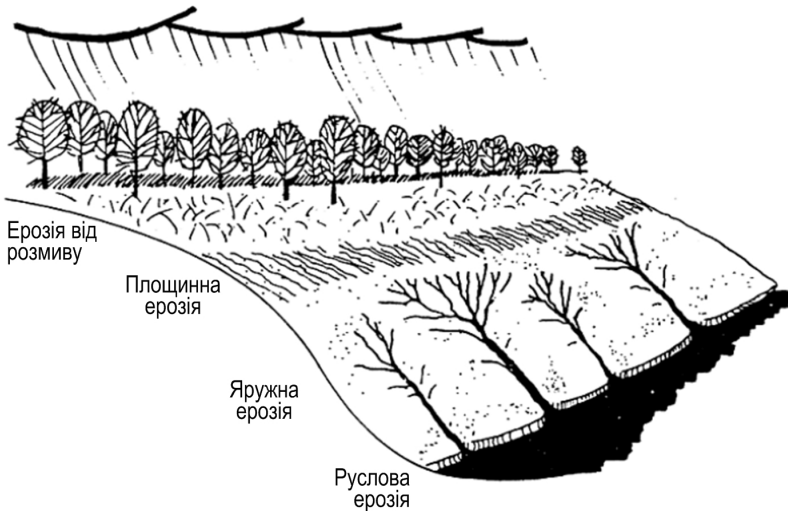


Рис. 85. Чотири типи ерозії ґрунту на оголеному схилі

Оцінку ерозії ґрунту за допомогою ГІС можна здійснити згідно з блок-схемою на рис. 86. Універсальне рівняння втрати ґрунту (USLE) – це широко використовувана математична модель, яка описує процеси ерозії ґрунту (Hudson, 1993). USLE складається із шести факторів для прогнозування ерозії: фактор ерозії від дощів, фактор еродованості ґрунту, топографічні фактори та фактори управління сільськогосподарськими культурами. Ці математичні операції і моделі також можуть бути використані для моделювання переміщення мінних полів унаслідок ерозії.

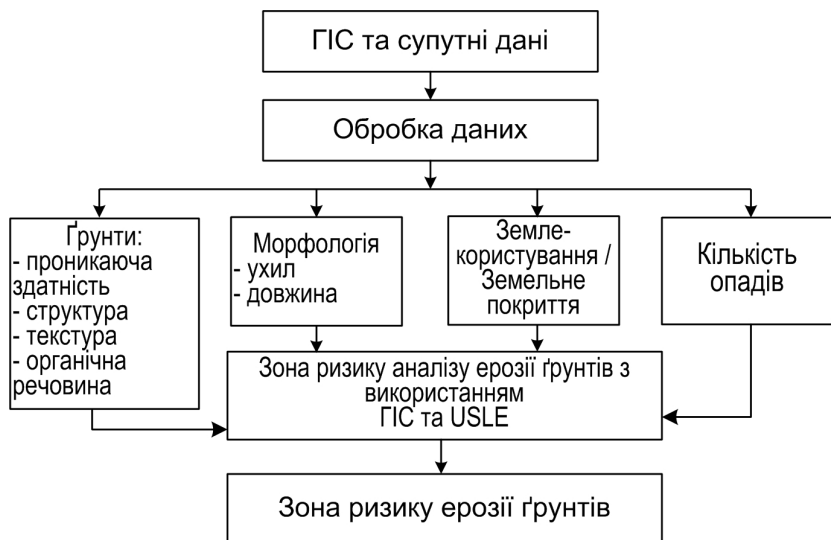


Рис. 86. Модель ерозії ґрунтів на основі ГІС

Тематична карта – картографічне зображення різних тем із природного та соціального світу, встановлених у просторовому відношенні. Це карта, яка зображує один або більше загальних географічних об'єктів або інші об'єкти, виділені спеціальними графічними зображеннями карти, яким надається особлива важливість. У цьому випадку об'єкти особливої важливості є індикаторами наявності або відсутності мін, тоді як способи їх взаємодії, а також їхній вплив на навколишнє середовище, пов'язані з простором навколо них.

Карти небезпек – тематичні карти, що зображують усі індикатори мінної присутності із супутніми зонами ураження та розрахунковими рівнями небезпеки в цих зонах (Krtalić, 2012). Візуалізують результати системи підтримки прийняття рішень щодо гуманітарного розмінування, індикатори мінної присутності/відсутності, зони впливу на навколишнє середовище та достовірність результатів. Індикатори (табл. 12) векторизуються (наносяться на карту) на основі мультисенсорних зображень із найвищою роздільною здатністю та зберігаються як зображення, які можна відображати в масштабі будь-якого геодезичного документа або карти.

Таблиця 12

**Перелік індикаторів наявності та відсутності мін
зі шкалою важливості та контрольними точками супутніх функцій
для виготовлення карт небезпеки для рівнинної місцевості**

Індикатори наявності мін	Ризик, починаю- чи з (м)	Максим. ризик від (м)	Максим. ризик до (м)	Немає ризика від (м)	Порядок значи- мості
нещасні випадки на мінах	0	0	100	200	1
реконструйоване положення мінного поля	зона впливу – це область індикаторів				2
точки орієнтування із записів мінних полів	0	0	100	200	3
траншея	0	50	400	500	4
бункер	0	50	400	500	5
бліндаж із капіта- льними стінами	0	50	400	500	6
укриття для піхоти та артилерії	0	40	200	300	7
природні об'єкти як вогневі позиції	0	50	400	500	8
мости та броди	0	0	100	150	9
невеликі заглиблення	0	0	100	250	10
знесені будинки на першій лінії оборони	0	0	150	250	11
Індикатори відсутності мін					
будинок у використанні	зона впливу – це область індикаторів				
оброблювані землі	зона впливу – це область індикаторів				
непрохідні при- родні перешкоди	зона впливу – це область індикаторів				
використовувані шляхи	зона впливу – це область індикаторів				

4.11. Штучний інтелект

Технологічні розробки на рубежі XXI століття пропонують широкий спектр нових технічних проривів у сферах інформаційних технологій, штучного інтелекту (ШІ)/глибокого навчання та телекомунікацій. Вчорашні потужні настільні комп'ютери перетворюються на сенсорні пристрої введення та виведення, які поєднують інтелектуальне програмне забезпечення та широкі можливості підключення.

Сьогодні термін «штучний інтелект» (ШІ) описує широкий спектр технологій, спрямованих на забезпечення роботи багатьох послуг і товарів, якими ми користуємося щодня – від додатків, які рекомендують телешоу, до чат-ботів, які надають підтримку клієнтам у режимі реального часу. Журнал *New Scientist* визначає ШІ як «програмне забезпечення, яке використовується комп'ютерами для імітації аспектів людського інтелекту». Історія комп'ютерного ШІ налічує майже 70 років, але останні розробки привели до нинішніх надзвичайно потужних змін.

Технології дистанційного зондування (ДЗЗ) і штучного інтелекту (ШІ) включені в дискусії про те, як технології та інновації можуть поліпшити гуманітарну діяльність і міжнародну миротворчість. Ці технології мають потенціал для поліпшення можливостей оцінки потреб і моніторингу змін на місцях і можуть бути корисними як для протимінної діяльності, так і для більш широких гуманітарних напрямків. Незважаючи на те, що ДЗЗ і ШІ не є панацеєю в протимінній діяльності і поки що мають низку недоліків (наприклад, оперативна діяльність і захист даних), Міжнародний комітет Червоного Хреста (МКЧХ) і Женевський міжнародний центр із гуманітарного розмінування (ЖМЦГР) вважають, що інтеграція ДЗЗ і ШІ в сектор протимінної діяльності сприятиме прийняттю рішень на основі фактичних даних, визначенню пріоритетів у проведенні обстежень і розмінуванні забруднених територій, а також забезпеченню належного розподілу і якомога ефективного використання дефіцитних ресурсів, що є в розпорядженні організацій з протимінної діяльності у всьому світі (Jebens & White, 2021).

Системи ШІ розвиваються з неймовірною швидкістю. Наразі ШІ вдається писати комп'ютерний код, перекладати мови, полішувати

прогнозування погоди, аналізувати історії хвороб для кращих варіантів лікування та багато іншого. ШІ точно змінить світ у найближчі роки. Правильне застосування ШІ може принести величезну користь протимінній діяльності. До ШІ сьогодні відносять різні типи систем та технологій, зокрема найпоширеніші:

ШІ на основі правил. Запрограмований набір правил або операторів «якщо ..., то», які дозволяють ухвалювати рішення за визначених умов. Такі системи використовуються в *експертних системах і системах підтримки прийняття рішень* (СППР).

Технологія Advanced Intelligence Decision Support System (AIDSS) була розроблена в технологічному проєкті System for Multi-sensor Airborne Reconnaissance and Surveillance in Crisis Situations and Environmental Protection (TP-006/0007-01) – перша технологія протимінної діяльності в гуманітарному розмінуванні для поєднання методів дистанційного зондування з передовим інтелектом в успішній операційній системі в нетехнічних дослідженнях. AIDSS – набір інструментів і методів, які використовуватимуть досвідчені оператори та експерти із Центрів протимінної діяльності, щоб допомогти зменшити територію за допомогою даних дистанційного зондування та експертних знань. Система була модернізована та застосована в кампаніях гуманітарного розмінування між 2008 і 2010 рр. в Хорватії і Боснії та Герцеговина. Подальший прогрес був досягнутий у рамках проєкту FP7 «Впровадження наборів інструментів для видалення протипіхотних мін, суббоєприпасів і боєприпасів, що не вибухнули», і назву змінили на T-AIDSS.

T-AIDSS – інструменти для оцінки ризиків і допомоги у зниженні мінної загрози шляхом проведення нетехнічних досліджень, які можна легко адаптувати до різних потреб і типів місцевості. З цієї причини використовуються доступні недорогі датчики з видимої, ближньої, середньої та довгохвильової інфрачервоної частини спектра (багатоспектральні та гіперспектральні). Через досвід роботи з радарними датчиками в програмах SMART і TIRAMISU (високі витрати; складна, тривала обробка; ненадійні результати), радарна технологія не була включена в T-AIDSS. Систему можна використовувати для збору даних для початкового визначення або для перевизначення існуючого мінного забруднення. Крім того, T-AIDSS можна використовувати як повну систему (збір

даних, захоплення, скринінг, оцінка, попередня обробка та обробка даних), а також як незалежний набір інструментів (Krtalić & Vajić, 2018).

Основними вхідними даними в T-AIDSS є індикатори мінної присутності (ІМП) та рівні їх достовірності. Сильні ІМП включали штучні об'єкти, такі як траншеї, укриття, бункери та інші фортифікаційні перешкоди, створені для військових цілей. Інтерпретаторами за даними аерофотознімків та супутникових зображень було визначено широкий спектр ІМП для всіх типів земель (низинних, горбистих або гірських) і відповідних соціально-економічних аспектів, їм призначено відповідний рівень достовірності. Рівень довіри – це рівень впевненості експерта у своєму рішенні щодо наявності ІМП на вихідних даних. Експерти зазначають, що відстань мінного поля від фортифікаційного об'єкта залежить від типу місцевості, де відбувся конфлікт. На рівнинній місцевості мінні поля, як правило, розташовані далі від фортифікаційних об'єктів, а в гірській місцевості – ближче. Ваги всіх ІМП розраховано за допомогою аналітичного ієрархічного процесу, техніки для перетворення суб'єктивних оцінок відносної важливості в набір ваг. У порівнянні з іншими методами та техніками прийняття рішень, ієрархічний процес дозволяє порівнювати індивідуальну важливість будь-якого одного ІМП по відношенню до іншого на основі впевненості. Результат бінарний, в зонах впливу ІМП існує мінна небезпека, а зовні немає інформації про небезпеку. Кінцевий результат (рис. 87) візуалізується у вигляді безперервних карт мінної небезпеки (Krtalić et al., 2018).

СППР для визначення пріоритетності гуманітарного розмінування та відновлення забруднених мінами територій зумовлені насамперед фінансовими обмеженнями та можливостями. В (Schultz et al., 2016) пропонується порівняння моделей просторової та просторової логістичної регресії для картографування ризиків наземних мін.



Позначка

Високий: 214
Рівень небезпеки
Низький: 0

Показники відсутності мін

Розміновані території (MIS, 2001)

Області без даних

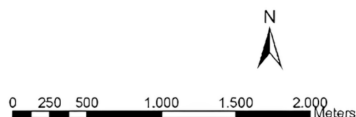


Рис. 87. Приклад безперервної карти мінної небезпеки

Машинне навчання. Передбачає навчання алгоритмів на основі вхідних даних і оптимізації їх продуктивності з часом.

Нейронні мережі стали трансформаційною силою у виявленні наземних мін, пропонуючи потужні інструменти для завдань розпізнавання образів і класифікації.

Моделі глибокого навчання експериментували з розпізнаванням наземних мін і показали вражаючі результати. Однак відсутність польових реалістичних наборів даних знижує адекватну ефективність навчання моделі. Зношення та пошкодження конструкцій протипіхотних мін спричинюють серйозні занепокоєння щодо безпеки. Встановлено, що корозія є основною причиною псування та пошкодження мін, через що сапери можуть плутати їх з іншими об'єктами. Отже, розроблено метод збагачення наборів даних про наземні міни на основі інструментів генеративного штучного інтелекту, які використовуються для створення більш реалістичних зображень для розширеного набору даних про наземні міни (А. Husain, 2023). Система може імітувати корозію на основі даних, зібраних із різних інтернет-ресурсів. На основі порівняльних експериментів ця система демонструє надзвичайну продуктивність і перевершує базову модель.

Представлено тематичне дослідження (Baur et al., 2020), в якому робочий процес машинного навчання за допомогою БПЛА забезпечив 71,5% точності виявлення та визначення місцезнаходження мін ПФМ-1. Збільшення обсягу навчальних даних більш ніж утричі – 25 ортофотозображень мінних полів розміром 10×20 м (у чотирьох середовищах: щебінь, пісок і два типи трав'яного покриття), 590 мін ПФМ-1 та 136 фото гільз, додавання негативів і більш кастомізованого методу розділення ортофотографій підвищило точність на понад 20%. Очікується, що збільшення кількості каналів і навчання на додаткових наборах даних підвищить точність дослідження, щоб стати ще більш надійним CNN і корисним допоміжним інструментом у широкій стратегії розмінування.

Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих неструктурованих просторових наборів даних може допомогти ГІС-експертам виявити нові закономірності та взаємозв'язки в цих даних, які не можуть бути виявлені звичайними ГІС-методами (Choi, 2023; Zhao et al., 2021). Поєднання ГІС і машинного навчання – зростаюча тенденція. Нова модель просторового прогнозування ризиків, пов'язаних із наземними мінами, здатна поліпшити розподіл ресурсів під час операцій із розмінування і навіть спрогнозувати майбутні зони, що становлять інтерес (Rafique et

al., 2019). Її підхід ґрунтується на навчанні моделей прогнозування на основі даних географічного і соціального розвитку територій, розмінованих у минулому. Потім ця модель використовується для прогнозування зон із високою ймовірністю наявності мін поблизу очищеної території, щоб поступово розширювати зону проведення операцій. Результати показують, що модель має потенціал для надання надійної прогнозовної інформації на основі історичних даних про розмінування, що може допомогти організаціям планувати розподіл ресурсів у майбутніх операціях з розмінування.

Обробка природної мови. Вивчає проблеми комп'ютерного аналізу та синтезу природної мови.

Робототехніка. Полягає в інтеграції до ШІ датчиків і механічних систем для сприйняття роботами навколишнього середовища, ухвалення рішень та виконання дій.

В останні десятиліття запропоновано та розроблено кілька структур роботів і транспортних засобів для процесу виявлення та розмінування, зокрема, платформа tEODor, представлена в статті (De Cubber et al., 2014). У роботі (Немарала et al., 2009) описано деякі безпілотні транспортні засоби (на основі сільськогосподарської техніки) для розмінування. Радіокероване авто Gryphon-II протестовано в польових умовах з металодетектором (Fukushima et al., 2008).

В (Sipos et. al., 2017) наведено двоколісного робота з металощукачем на борту, керованого через Bluetooth за допомогою додатка Android. Три датчики цієї системи спроможні виявляти металеві об'єкти за різних умов ґрунту на глибині до 20 см. Для порівняння: більшість протипіхотних мін зазвичай закопують на глибину менше 4 см, і їх детонація потребує тиску більше 9 кг.

Інший 4-колісний робот, ROBO-PI, оснащений металодетектором, виявляв міни на глибині 15 см (Ghareeb et. al., 2017). Одна дослідницька команда розробила систему, яка складається з базової станції і кількох блоків виявлення, які можуть обмінюватися даними з базовою станцією (Dar et al., 2012). Загальною проблемою наземних роботів-детекторів є те, що вони можуть випадково активувати міни в процесі виявлення (Hamza et. al., 2013).

Гусеничний робот із технічними вдосконаленнями по виконанню однією роботизованою платформою кількох операцій, характерних для гуманітарного розмінування (виявлення мін, розмінування, видалення мін, що вибухають, очищення території), зображено на рис. 88.

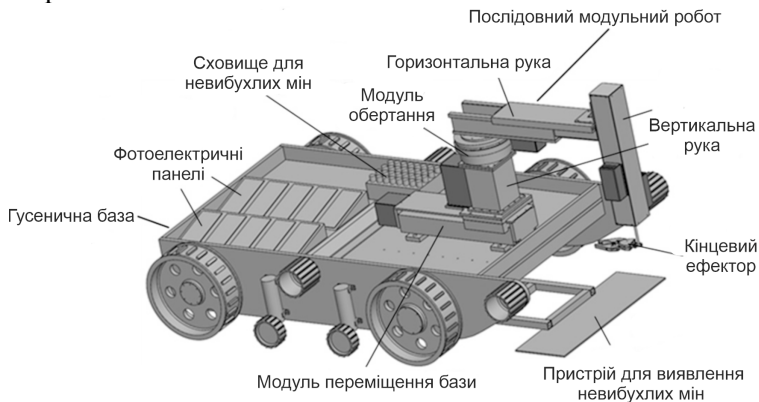


Рис. 88. Гусеничний мобільний робот – CAD модель

Представлені раніше роботи конструктивно механічні гусеничні або колісні платформи, на яких встановлено або системи виявлення мін, або роботизовану руку паралелограмного типу з міношукачем як кінцевим елементом, або тільки системи розмінування. Інші роботизовані системи, які використовуються для виявлення мін, – це роботизовані системи типу «ходячі ноги» та роботизовані системи на тросі. Якщо роботизовані системи керуються дистанційно (транспортні засоби без присутності людини на борту), то вони називаються «безпілотними наземними транспортними засобами» і мають перевагу у виконанні небезпечних місій, не створюючи загрози для пілота місії. Крім того, існує категорія платформ, похідних від сільськогосподарських транспортних засобів, таких як трактори та екскаватори. Ці типи платформ для розмінування адаптовано для гуманітарних місій із розмінування шляхом встановлення деяких систем розмінування перед транспортним засобом. Основними їх недоліками є використання викопного палива, високе енергоспоживання, обмежений час роботи та неможливість використання на будь-якій місцевості (Petrișor et al., 2023).

Експертні системи. Призначені для розв'язання слабоформалізованих задач, на основі накопиченого в базі знань досвіду роботи експертів у проблемній сфері.

Для підвищення кваліфікації та набуття досвіду у виявленні наземних мін саперам-початківцям необхідно здобути кілька видів навичок: правильну фізичну експлуатацію металошукача, інтерпретацію слухового відгуку металошукача і абстрактні навички побудови та інтерпретації ментальних уявлень «металевих сигнатур¹³», що створюються похованими об'єктами. Ця остання навичка особливо корисна для безпечної роботи з мінами, встановленими в кластерних конфігураціях, де їхні металеві сигнали перекриваються, а отже, існує небезпека, що сапер може або пропустити деякі міни, або неправильно оцінити їхню точну локалізацію. Однак деяким саперам-початківцям важко навчитися правильно міркувати про металеві сигнали.

Система Petals візуалізує історію роботи металошукача під час виконання тренувального завдання, а також крайні точки металевих сигнатур, які зібрані учасником тренінгу. Інструктори можуть спостерігати за кількома учасниками одночасно, оцінювати їхню роботу з першого погляду та забезпечувати негайний і конкретний зворотний зв'язок як щодо правильності їхніх остаточних міркувань про кількість і розташування наземних мін, так і щодо процесу, за допомогою якого вони прийшли до своїх висновків. Результати польових оцінок у Навчальному центрі з гуманітарного розмінування доводять ефективність застосування системи як навчального доповнення курсу. Слухачі, які мали доступ до Petals під час навчання, зробили значно менше помилок (6% помилок) у відповідних завданнях під час випускного іспиту, ніж слухачі, які не мали доступу до системи під час навчання (у цих учасників рівень помилок склав 21%) (Jayatilaka et al., 2018).

Загальний (сильний) III. Теоретична концепція створення машин, які можуть міркувати та навчатися, як люди. Такий штучний інтелект є концептуальним баченням, і припускається, що може виконати будь-яке інтелектуальне завдання, але це не означає, що він продовжить служити людству.

¹³ Сигнатура – набір показників відбитого сигналу над ціллю пошуку, прийнятого засобами спостереження.

Висновки до розділу 4

Гуманітарне розмінування здійснюється в усьому світі, а різні кліматичні умови та середовища не дозволяють використовувати один метод виявлення для всіх ділянок, тому для безпечного та ефективного виявлення вибухонебезпечних предметів потрібно більше інструментів.

Для того, щоб очистити землю від мін і вибухонебезпечних пережитків війни, спочатку необхідно виявити ці пристрої якомога безпечніше та економічніше. Установленими і давно перевіреними методами виявлення є використання металошукачів і мінно-розшукових собак. Обидві технології близькі та вимагають людини на землі на мінному полі.

Зростаюче використання вибухових речовин на основі пероксидів призвело до значної кількості досліджень із виявлення цієї групи вибухових речовин. Проблема полягає в тому, що багато сучасних методів хімічної ідентифікації ґрунтуються на вмісті азоту і вуглецю в речовині для ідентифікації, і ця практика не підходить для пероксидних вибухових речовин.

Ручне розмінування досі є процесом, який залучає найбільше персоналу, використовує найбільше ресурсів, і знешкоджує найбільше мін. Ручне розмінування сприймається як повільне, повторюване, потенційно небезпечне і надто дороге, а думки щодо найкращих способів проведення операцій із розмінування дуже різняться. Це створює серйозні проблеми з безпекою, оскільки людина-оператор не знаходиться поза небезпечною зоною. Для підвищення безпеки запроваджено механічні машини для розмінування з можливістю дистанційного керування та автономні роботи з можливістю автономного виявлення. У цих випадках людина-оператор у безпеці, але не машина. Дуже важливо враховувати безпеку людини-оператора та самої машини.

Технології БПЛА визнаються Службою протимінної діяльності ООН як реальний інструмент. Розвиток супутніх інформаційних технологій у більшості випадків, зокрема геоінформаційних систем (ГІС) та технологій штучного інтелекту, практично відбувається взагалі осторонь і є допоміжним, хоча, безумовно, багатообіцяючим.

Література

- A. Husain, R. (2023). Enhanced landmines recognition with deep learning models using generative AI image augmentation. *International Science and Technology Journal*, 32, 1–16. www.sters.com.ly/isti/docs/volumes/Enhanced%20Landmines.pdf
- Acheroy, M., & Bosch, I. (2002). Humanitarian demining sensor technology status and signal processing Aspects. *Detection of Explosives and Landmines: Methods and Field Experience*, 66, 39–56.
- Acheroy, M., & Verlinde, P. (2002). Humanitarian demining: sensor design and signal processing aspects. In *Springer eBooks* (pp. 39–56). https://doi.org/10.1007/978-94-010-0397-1_4
- Alegria, A. C., Zimanyi, E., Cornelis, J., & Sahli, H. (2017). Hazard mapping of landmines and ERW using Geo-Spatial techniques. *Journal of Remote Sensing & GIS*, 06(02). <https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000197>
- Al-Khafajiy, M., Baker, T., Al-Libawy, H., Maamar, Z., Aloqaily, M., & Jararweh, Y. (2019). Improving fog computing performance via Fog-2-Fog collaboration. *Future Generation Computer Systems*, 100, 266–280. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.015>
- Bajic, M., Ivelja, T. and Brook, A. (2017) "Developing a Hyperspectral Non-Technical Survey for Minefields via UAV and Helicopter," *The Journal of Conventional Weapons Destruction: Vol. 21 : Iss. 1 , Article 11*. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss1/11>
- Bajić, M., & Potočnik, B. (2023). UAV thermal imaging for unexploded ordnance detection by using deep learning. *Remote Sensing*, 15(4), 967. <https://doi.org/10.3390/rs15040967>
- Baur, J., Steinberg, G., Nikulin, A., Chiu, K., & De Smet, T. S. (2020). Applying deep learning to automate UAV-Based detection of scatterable landmines. *Remote Sensing*, 12(5), 859. <https://doi.org/10.3390/rs12050859>
- Bechtel, M. (2013). A stand-off seismo-acoustic method for humanitarian demining. *The Journal of ERW and Mine Action*, 17(2), 17. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/17>
- Berhe, A. A. (2006). The contribution of landmines to land degradation. *Land Degradation & Development*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.1002/ldr.754>
- Bevan, B. (2000). An early geophysical survey at Williamsburg, USA. *Archeological Prospection*, 7(1), 51–59. www.semanticscholar.org/paper/An-early-geophysical-survey-at-Williamsburg%2C-USA-Bevan/46ce6c8db8253e8be2fa01d0abafefae99b8ef2d
- Bom, V. R., C. W. van Eijk and M. A. Ali (2005) “DUNBID, the Delft University Neutron Backscattering Imaging Detector”, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 63 November-December 2005, pp. 559-563. (8-th International Conference on Applications of Nuclear Techniques, Crete, Greece, 1218 September 2004.)

Bosq, T. W., Lopez-Alonso, J. M., Boreman, G. D., Grantham, D. M., & Dillery, D. (2006). Millimeter wave imaging system for the detection of non-metallic objects. In: *Proceedings of the SPIE*, Vol. 6217.

Bromenshenk, J., Henderson, C., Seccomb, R., Rice, S., Etter, R., Bender, S., Rodacy, P., Shaw, J., Seldomridge, N., Spangler, L., & Wilson, J. (2003). Can honey bees assist in area reduction and landmine detection? *JMU Scholarly Commons*, 7(3), 5. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol7/iss3/5/>

Burger, H. R., & Burger, D. C. (1992). Exploration geophysics of the shallow subsurface.

Calixto, W. P., Neto, L. M., Wu, M., Kliemann, H. J., De Castro, S. S., & Yamanaka, K. (2010). Calculation of soil electrical conductivity using a genetic algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.12.002>

Caygill, J. S., Davis, F., & Higson, S. P. (2012). Current trends in explosive detection techniques. *Talanta*, 88, 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.043>

Chen, X., Guo, D., Choa, F., Wang, C., Trivedi, S., Snyder, A. P., Ru, G., & Fan, J. (2013). Standoff photoacoustic detection of explosives using quantum cascade laser and an ultrasensitive microphone. *Applied Optics*, 52(12), 2626. <https://doi.org/10.1364/ao.52.002626>

Choi, Y. (2023). GeoAI: Integration of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning with GIS. *Applied Sciences*, 13(6), 3895. <https://doi.org/10.3390/app13063895>

Church, P., McFee, J., Gagnon, S., & Wort, P. (2006). Electrical impedance tomographic imaging of buried landmines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(9), 2407–2420. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2006.873208>

Classens, A. (2016). Dissertation of the development of a spatial multi-criteria decision analysis tool for land clearance prioritisation in mine action. University of Leeds

Colorado, J., Devia, C., Perez, M., Mondragon, I., Mendez, D., & Parra, C. (2017). Low-altitude autonomous drone navigation for landmine detection purposes. In *ICUAS 2017*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/icuas.2017.7991303>

D. Rhoades, J., & D. Halvorson, A. (1977). Electrical Conductivity Methods for detecting and delineating saline seeps and measuring salinity in Northern Great Plains soils, by J. D. Rhoades et al. | *The Online Books page*: Vol. no. W-42 (Berkeley: U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, Western Region). <https://onlinebooks.library.upenn.edu/webbin/book/lookupid?key=ha102409950>

Dar, S., Tanzeel, Z., Mahmood, F., & Izhar, U. (2012). GPS-based landmine detection system for multiple operating units. (ICRAI). *International Conference on Robotics and Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1109/icrai.2012.6413408>

Das, Y., McFee, J. E., and Cross, G., (2002). "Soil properties database for humanitarian demining: A proposed initiative," Paper presented to the Council of the International Union of Soil Science at the 17-th World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand.

De Cubber, G., Balta, H., & Lietart, C. (2014). Teodor: a Semi-Autonomous Search and Rescue and Demining Robot. *Applied Mechanics and Materials*, 658, 599–605. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.658.599>

Deas, R. M. (2004). Landmine Detection by Nuclear Quadrupole Resonance (NQR) (No. 0704–0188). US Army RDECOM CERDEC Night Vision and Electronic Sensors Directorate Fort Belvoir. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA431654.pdf>

Deas, R. M., Burch, I. A., & Port, D. M. (2002). Detection of RDX and TNT mine-like targets by nuclear quadrupole resonance. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE*. <https://doi.org/10.1117/12.479120>

deSmet, T., Nikulin, A., Frazer, W., Baur, J., Abramowitz, J., Finan, D., Denara, S., Aglietti, N. and Campos, G. (2018) "Drones and "Butterflies": A Low-Cost UAV System for Rapid Detection and Identification of Unconventional Minefields," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 22 : Iss. 3 , Article 10. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol22/iss3/10>

Fedorenko, G., Fesenko, H., & Kharchenko, V. (2022). Analysis of methods and development of the concept of guaranteed detection and recognition of explosive objects. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4(22), 20–31. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.21.020>

Fukushima, E. F., Freese, M., Matsuzawa, T., Aibara, T., & Hirose, S. (2008). Humanitarian demining Robot Gryphon – Current status and an Objective Evaluation –. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 1(3), 735–753. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-317>

Gagnon, M., Tremblay, P., Savary, S., & Chamberland, M. (2015). Airborne thermal infrared hyperspectral imaging for mineral mapping. *ResearchGate*.

[www.researchgate.net/publication/312136766 Airborne Thermal Infrared Hyperspectral Imaging for Mineral Mapping](http://www.researchgate.net/publication/312136766_Airborne_Thermal_Infrared_Hyperspectral_Imaging_for_Mineral_Mapping)

Ganesh, Y., Raju, R., & Hegde, R. (2015). Surveillance Drone for Landmine Detection. 2015 International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM), 33-38.

Ghareeb, M., Bazzi, A. and AbdulNabi, S. "Wireless Robo-Pi for Landmine Detection," *afad*, pp. 11-15, 2017.

Gillanders, R. N., Samuel, I. D., & Turnbull, G. A. (2017). A low-cost, portable optical explosive-vapour sensor. *Sensors and Actuators. B, Chemical*, 245, 334–340. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.178>

Golovin, A. D., & Demin, A. V. (2018). Optical-digital complex for detection of remote mines and mapping of minefields. *Journal of Physics. Conference Series*, 1096, 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1096/1/012011>

Gooneratne, C. P., Mukhopahyay, S., & Gupta, G. (2004). A Review of Sensing Technologies for Landmine Detection : Unmanned Vehicle Based Approach.

Guidebook on Detection Technologies and Systems for Humanitarian Demining. (2006). Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD).

Habib, M. (2008). Humanitarian Demining: the Problem, Difficulties, Priorities, Demining Technology and the Challenge for Robotics. I-Tech Education and Publishing. doi: 10.5772/5407

Habib, M. K. (2011). Humanitarian demining mine detection and sensors. Y 2011 IEEE 20th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). IEEE. <https://doi.org/10.1109/isie.2011.5984509>

Habit, M. K. (2007). Controlled biological and biomimetic systems for landmine detection biosensors and bioelectronics. *Biosensors and Bioelectronics*, 23(1), 1–18.

Hamza, M., Jehangir, A., Ahmad, T., Sohail, A. and Naeem M., “Design Of Surveillance Drone With X-ray Camera, IR Camera And Metal Detector,” ICUFN 2017, pp. 110-114, 2017.

Hemapala, M., Belotti, V., Michelini, R., & Razzoli, R. (2009). Humanitarian demining: path planning and remote robotic sweeping. *Industrial Robot*, 36(2), 146–156. <https://doi.org/10.1108/01439910910932603>

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In 2016 49-th Hawaii international conference on system sciences (HICSS) (pp. 3928-3937). IEEE.

Heymans, J. M. (2015). Effectiveness of GIS as decision support system for mine action. University of Leeds.

Horbulin, V., & Mosov, S. (2021). Naslidky minnykh viin: ukrainskyi zriz [Consequences of Mine Wars: Ukrainian Case]. *Oboronnyi visnyk*, 11, 16–23 [in Ukrainian].

Hudson, N. (1993). Field measurement of soil erosion and runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/4/T0848E/T0848E00.htm

Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskiy, 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), e29142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>

Hutsul, T., Zhezhera, I., & Tkach, V. (2023). Features of UAV classification and selection methods. *Technical Sciences and Technologies*, 4(30), 201–212. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-201-212](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212).

Ivanco, T., Achal, S., McFee, J. E., Anger, C., & Young, J. (2007). Real-time airborne hyperspectral imaging of land mines. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering / Proceedings of SPIE*. <https://doi.org/10.1117/12.720442>

Jayatilaka, L., Sengeh, D. M., Herrmann, C., Bertuccelli, L., Antos, D., Grosz, B. J., & Gajos, K. Z. (2018). PETALS. Y COMPASS '18: ACM SIGCAS Conference on Computing and Sustainable Societies. ACM. <https://doi.org/10.1145/3209811.3209871>

Jebens, M., & White, R. (2021). Remote sensing and artificial intelligence in the mine action sector. *JMU Scholarly Commons*, 25(1), 18. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss1/28/>

Johnston, J. M. (1999). Canine detection capabilities: Operational implications of recent R & D findings. Institute for Biological Detection Systems, Auburn University

Kasban, H., Zahran, O., Elaraby, S. M., El-Kordy, M., & El-Samie, F. E. A. (2010). A comparative study of landmine detection techniques. *Sensing and Imaging*, 11(3), 89–112. <https://doi.org/10.1007/s11220-010-0054-x>

Katsube, T. J., Klassen, R. A., Das, Y., Ernst, R., Calvert, T., Cross, G., Hunter, J., Best, M., DiLabio, R., & Connell, S. (2003). Prediction and validation of soil electromagnetic characteristics for application in landmine detection. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering / Proceedings of SPIE*. <https://doi.org/10.1117/12.486983>

Kenton, A. C., Schwartz, C. R., Horvath, R., Cederquist, J. N., Nooden, L. S., Twede, D. R., Nunez, J. A., Wright, J. A., Salisbury, J. W., and Montavon, K. "Detection of land mines with hyperspectral data." In *AeroSense'99*, pp. 917-928. International Society for Optics and Photonics, 1999.

Killeen, J., Jaupi, L., & Barrett, B. (2022). Impact assessment of humanitarian demining using object-based peri-urban land cover classification and morphological building detection from VHR Worldview imagery. *Remote Sensing Applications*, 27, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100766>

Kong, D., Qi, Y., Zhou, L., Lin, B., Li, Z., Zhu, R., & Chen, C. (2008). MEMS based sensors for explosive detection: Development and discussion. 2008 3-rd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, 265-269.

Krtalić, A. (2012). Thematic maps for Humanitarian demining. *Kartografija I Geoinformacije*, 11(17), 26–41. <https://core.ac.uk/reader/296291630>

Krtalić, A., & Bajić, M. (2018). Development of the TIRAMISU Advanced Intelligence Decision Support System. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 40–55. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1550351>

Krtalić, A., Divjak, A. K., & Župan, R. (2018). Visualization of land mine danger, Svilaja region (Croatia). *Journal of Maps*, 15(1), 21–29. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1552209>

Lacroix, V. (2017). PARADIS: Information Management for Mine Action. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/65781>

Lappo, I., Biriukov, Y., Zhurakhov, O., Chervotoka, O., & Herashchenko, M. (2023). International experience in testing demining machines. the possibility of introducing them into the national system of mine action. *Zbirnik Naukovih Prac' Deržavnogo Naukovo-doslidnogo Institutu Viprobuvan' Ĭ Sertifikaciĭ Ozbroĕnnâ Ta Vijs'kovoĭ Tehniki*, 18(4), 55–64. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.18.2023.08>

Lehner, B., Verdin, K., & Jarvis, A. (2008). New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos*, 89(10), 93–94. <https://doi.org/10.1029/2008eo100001>

Lombardi, F. (2019). DETERMINE: Novel Radar Techniques for Humanitarian Demining [A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University College London]. <https://core.ac.uk/download/pdf/227336775.pdf>

Lopez, P., Trivino, R., Calderon, D., Arcentales, A., & Guaman, A. V. (2017). Electronic NOSE prototype for explosive detection. In *CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/chilecon.2017.8229657>

Macdonald, J. A., Lockwood, J. R., McFee, J. N., Altshuler, T. W., Broach, T. G., Carin, L., Harmon, R., Rappaport, C., Scott, W., & Weaver, R. (2003). Alternatives for landmine detection.

McFee, J. E., Russell, K. L., & Ito, M. R. (1991). Detection of surface-laid minefields using a hierarchical image processing algorithm. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE*. <https://doi.org/10.1117/12.50802>

Mikulic, D. (2012). Humanitarian demining techniques. In *Springer eBooks* (pp. 1–27). https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4504-2_1

Mirasoli, M., Buragina, A., Dolci, L. S., Guardigli, M., Simoni, P., Montoya, A., Maiolini, E., Girotti, S., & Roda, A. (2012). Development of a chemiluminescence-based quantitative lateral flow immunoassay for on-field detection of 2,4,6-trinitrotoluene. *Analytica Chimica Acta*, 721, 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.01.036>

Mitasova H. and Mitas L. (1998). Terrain analysis and erosion modeling, *GMS Laboratory*, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Mladineo, M., Mladineo, N., & Jajac, N. (2014). Project management in mine actions using Multi-Criteria- Analysis-based decision support system.

Croatian Operational Research Review, 5(2), 415–425.
<https://doi.org/10.17535/crorr.2014.0023>

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., Noura, H., & Mahmoud, S. (2017). UAVFog: A UAV-based fog computing for Internet of Things. 2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI), 1-8.

Mu, Y., Zhang, X., Xie, W., & Zheng, Y. (2020). Automatic Detection of Near-Surface Targets for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) magnetic survey. Remote Sensing, 12(3), 452. <https://doi.org/10.3390/rs12030452>

Musa, S., Šiljković, Ž., & Šakić, D. (2017). Geographical reflections of mine pollution in Bosnia and Herzegovina and Croatia. Revija Za Geografiju, 12(2), 53–70. <https://doi.org/10.18690/rg.12.2.3994>

Newnham, P., & Daniels, D. J. (2001). Market for advanced humanitarian mine detectors. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering / Proceedings of SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.445450>

Nolan, T. J. (2009). Geographic Information Science as a method of integrating history and archaeology for battlefield interpretation. Journal of Conflict Archaeology, 5(1), 81–104.
<https://doi.org/10.1163/157407709x12634580640290>

Pacheco, P., James, K., Riemersma, G. (2023, October 13). UAV-Lidar improves landmine clearance planning - LIDAR Magazine. <https://lidarmag.com/2023/10/07/uav-lidar-improves-landmine-clearance-planning/>

Petrișor, S. M., Simion, M., Bârsan, G., & Hancu, O. (2023). Humanitarian demining Serial-Tracked Robot: design and dynamic Modeling. Machines, 11(5), 548. <https://doi.org/10.3390/machines11050548>

Piorek, B. D., Lee, S. J., Moskovits, M., & Meinhardt, C. D. (2012). Free-Surface Microfluidics/Surface-Enhanced Raman spectroscopy for Real-Time trace vapor detection of explosives. Analytical Chemistry, 84(22), 9700–9705. <https://doi.org/10.1021/ac302497y>

Pochanin, G et al., "Application of the Industry 4.0 Paradigm to the Design of a UWB Radiolocation System for Humanitarian Demining," 2018 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Odessa, Ukraine, 2018, pp. 50-56, DOI: 10.1109/UWBUSIS.2018.8520226.

Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Titarenko, O., Dugin, S., Golubov, S., & Andreiev, A. (2022). Method for Minefields Mapping by Imagery from Unmanned Aerial Vehicle. Advances in Military Technology, 17(2), 211–229. <https://doi.org/10.3849/aimt.01722>

Primera-Pedrozo, O. M., Soto-Feliciano, Y. M., Pacheco-Londoño, L. C., & Hernández-Rivera, S. P. (2009). Detection of High

Explosives Using Reflection Absorption Infrared Spectroscopy with Fiber Coupled Grazing Angle Probe / FTIR. *Sensing and Imaging*, 10(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11220-009-0042-1>

Rafique, W., Zheng, D., Barras, J., Joglekar, S., & Kosmas, P. (2019). Predictive analysis of landmine risk. *IEEE Access*, 7, 107259–107269. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2929677>

Rana, B., & Singh, Y. (2021). Internet of Things and UAV: An Interoperability Perspective. *Unmanned Aerial Vehicles for Internet of Things (IoT): Concepts, Techniques, and Applications*, 105–127. <https://doi.org/10.1002/9781119769170.ch6>

Rath, H., Schroder, D., & Twisselmann, R. (2010). Future developments Trends in mechanical-demining technology. *JMU Scholarly Commons*, 14(1), 21. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol14/iss1/21/>

Schultz, C., Alegria, A. C., Cornelis, J., & Sahli, H. (2016). Comparison of spatial and aspatial logistic regression models for landmine risk mapping. *Applied Geography*, 66, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.005>

Sieber, A. (1995). Localisation and identification of anti-personal mines. Joint Research Centre, European Commission, EUR 16329N.

Sipos, D., Planinsic, P. and Gleich, D. "On drone ground penetrating radar for landmine detection," 2017 First International Conference on Landmine: Detection, Clearance and Legislations (LDCL), Beirut, Lebanon, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/LDCL.2017.7976931.

Smith, A. M., Kenton, A. C., Horvath, R., Nooden, L. S., Michael, J., Wright, J. A., Mars, J. L., et al. "Hyperspectral mine detection phenomenology program." In *AeroSense'99*, pp. 819-829. International Society for Optics and Photonics, 1999.

Smith-Rose, R. L. (1933). The electrical properties of soil for alternating currents at radio frequencies. *Proceedings of the Royal Society of London. Series a, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 140(841), 359–377. <https://doi.org/10.1098/rspa.1933.0074>

Stitzel, S. E., Aerncke, M. J., & Walt, D. R. (2011). Artificial noses. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 13(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071910-124633>

Sudduth, K., Drummond, S., & Kitchen, N. (2001). Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(3), 239–264. [https://doi.org/10.1016/s0168-1699\(00\)00185-x](https://doi.org/10.1016/s0168-1699(00)00185-x)

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Townsend, J. (2003). Pigs: a demining tool of the future? JMU Scholarly Commons, 7(3), 12. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol7/iss3/12/>

Valjarević, A., Srećković-Batočanin, D., Živković, D., & Perić, M. (2015). GIS analysis of dissipation time of landscape in the Devil's city (Serbia). DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). <https://doi.org/10.3390/ams20020148>

Verhagen, R., Cox, C., Machangu, R., Weetjens, B., Billet, M., 2003. Mine Detection Dogs: Training Operations and Odour Detection. Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD), Geneva, pp. 175–193.

Verhagen, R., Weetjens, F., Cox, C., Weetjens, B., Billet, M., 2006. J Mine Actions 9 (2).

Yoo, L., Lee, J., Lee, Y., Jung, S., & Choi, Y. (2021). Application of a drone magnetometer system to military mine detection in the demilitarized zone. Sensors, 21(9), 3175. <https://doi.org/10.3390/s21093175>

Yoshikawa, K., Masuda, K., Takamatsu, T., Yamamoto, Y., Toku, H., Fujimoto, T., Hotta, E., Yamauchi, K., Ohnishi, M., Osawa, H., Shiroya, S., Misawa, T., Takahashi, Y., Kubo, Y., & Doi, T. (2009). Development of a high-performance landmine detection system through gamma-ray detection by using a compact fusion neutron source and dual-sensors. In Springer eBooks (pp. 157–173). https://doi.org/10.1007/978-1-84882-346-4_10

Yujiri, L., Hauss, B., & Shoucri, M. (1995). Passive millimeter wave sensors for detection of buried mines. In: Proceedings of the SPIE, Vol. 2496, pp. 2–6.

Zatserkovnyi, V. (2013). Models, methods and software and technical means of geo-information decision-making support in territory management systems. [Abstract of the dissertation of the Doctor of Technical Sciences]. NAN Ukrainy, In-t probl. mat. mashyn i system.

Zhao, G., Li, Z., & Yang, M. (2021). Comparison of twelve machine learning regression methods for spatial decomposition of demographic data using multisource geospatial data: an experiment in Guangzhou City, China. Applied Sciences, 11(20), 9424. <https://doi.org/10.3390/app11209424>

Zhong, H., Karpowicz, N., Partridge, J., Xie, X., Xu, J., & Zhang, X. (2004). Terahertz wave imaging for landmine detection. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.540502>

РОЗДІЛ 5. ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ

5.1. Переваги й недоліки методів гуманітарного розмінування територій

Очевидно, що наразі жодна технологія не здатна виявити й розпізнати різноманітні міни за будь-яких обставин. Більшість існуючих методів мають певні переваги та недоліки. Далі розглянемо їх більш детально.

Біологічні методи (системи) ґрунтуються на високочутливих, універсальних і надійних природних сенсорах.

Переваги:

- легка транспортабельність;
- рослини та штами бактерій можна висівати з дистанційної платформи без контакту з потенційно небезпечною поверхнею;
- швидка реакція штамів бактерій (протягом кількох годин);
- гризуни стійкі до посушливого клімату та тропічних хвороб.

Недоліки:

- тривала підготовка всіх тварин;
- обмежений час використання тварин (кілька годин активної діяльності, і рівень уваги значно спадає);
- рівень ефективності собак втрачається, якщо вони не тренуються;
- собаки не можуть виявляти значно нижчі рівні концентрації вибухових речовин, ніж ті, на яких вони тренувалися;
- рослини поки дають високу частку хибних спрацювань;
- деякі тварини важко піддаються тренуванню і їх ефективність ще експериментально не перевірена в реальних умовах різної місцевості;
- штами бактерій дуже чутливі до умов територій (не можуть бути використані в умовах пустелі);
- штами бактерій поки що не виявляють гексогену;
- сезонність використання комах (бджіл) і чутливість до погоди.

Електромагнітні методи застосовують різні частотні діапазони хвиль для виявлення, побудови та ідентифікації зображень об'єктів, що знаходяться переважно в оптично непрозорих середовищах (напр. ґрунт, лід та ін.).

Переваги:

- дуже тривалий досвід використання металодетекторів;
- георадар може надати інформацію про рівень та форму виявленого об'єкта;
- георадар дозволяє відбраковувати інші хибні об'єкти;
- інфрачервоні сенсори дають уявлення про конфігурацію мінних полів;
- частина методів (зокрема ГЧ-випромінювання) пасивні, а отже, можуть застосовуватися з дистанційних платформ без контакту з поверхнями.

Недоліки:

- високий рівень помилкової тривоги (уламки);
- складність виявлення мін із мінімальним вмістом металу;
- мікрохвилі георадари сильно послаблюються певними типами провідних ґрунтів;
- мікрохвильові радары більше спроможні виявляти габаритні об'єкти на глибині;
- мікрохвильові радары менш ефективні на вологих ґрунтах;
- мікрохвильові радары слід захищати від радіочастотних перешкод;
- електроімпедансна томографія потребує обов'язкового контакту електродів із ґрунтом;
- гіперспектральні дані потребують корекції та спеціальних алгоритмів обробки за еталонними сигнатурами.

Оптичні методи базуються на використанні оптико-електронних сенсорів, які реєструють взаємодію речовин з електромагнітним випромінюванням.

Переваги:

- оптичними методами можна одержувати топографію поверхні (ЦММ, а в деяких випадках і ЦМР);
- можливість здійснення спостережень та вимірювань із дистанційних платформ.

Недоліки:

- здатність виявляти об'єкти лише за вторинними ознаками, які не завжди достовірні та достатні для прийняття рішення.

Хімічні методи здійснюють кількісну оцінку специфічних хімічних вибухових речовин та їх компонентів, які поширюються у навколишнє природне середовище.

Переваги:

- вже широко використовуються в промисловості для інших застосувань.

Недоліки:

- методи в основному застосовуються в лабораторних умовах із використанням стаціонарного обладнання;
- мінлива природа та малі концентрації парів вибухових речовин потребують дуже чутливих датчиків.

Ядерні методи ґрунтуються на взаємодії нейтронів та реєстрації утвореної енергії або радіочастотної взаємодії з вибуховою речовиною.

Переваги:

- низька частота хибних спрацювань через специфічність резонансу певних вибухових сполук;
- виявляють вибухівку, а не металеві корпуси.

Недоліки:

- висока вартість джерел нейтронів і детекторів гамма-променів;
- потенційне одержання дози шкідливого гамма-випромінювання оператором;
- тривалість виявлення тротилу ЯКР становить кілька хвилин, що сповільнює можливість швидких обстежень території.

Акустичні методи полягають на акустичній реакції від різних об'єктів, яка передусім залежить від їх механічних властивостей.

Переваги:

- ультразвук проникає через дуже вологу важку землю;
- можливість одержати 3D-зображення об'єкта;
- хвилі добре поширюються у вологих або підводних умовах.

Недоліки:

- висока частота помилкових тривог;
- низька роздільна здатність та залежність від щільності ґрунту.

Механічні методи включають використання машин та механічних інструментів в операціях з розмінування. Механічні системи

розмінування викопують міни або змушують їх вибухати під тиском важкої техніки.

Переваги:

- невисока вартість;
- підвищення рівня безпеки саперів, які здійснюють ручне розмінування.

Недоліки:

- можливі логістичні проблеми щодо транспортування важкої техніки у віддалені райони у країнах із погано розвинутою інфраструктурою;
- неможливість досягнення стандартів точності гуманітарного розмінування;
- неможливість працювати на ділянках зі значною крутизною схилів та густо розчленованій місцевості, зокрема всередині житлових районів;
- відносно висока вартість обладнання та витрат на виконання робіт;
- шумовий і вібраційний вплив на навколишнє середовище.

Інтернет речей поєднує датчики (сенсори), програмне забезпечення та можливості обміну даними між фізичним світом та комп'ютерними системами з використанням стандартних протоколів зв'язку.

Переваги:

- зв'язуюча ланка для поєднання багатьох технологічних рішень у розмінуванні.

Недоліки:

- в місцях, що зазнали наслідків бойових дій, як правило, немає інтернет-зв'язку та мережі мобільного покриття;
- недосконалі алгоритми захисту можуть призвести до сторонніх несанкціонованих втручань у роботу систем.

Геоінформаційні системи (ГІС) – інформаційні системи, призначені для провадження діяльності з геопросторовими даними та метаданими.

Переваги:

- точність візуалізації об'єктів у просторі;

- легка інтеграція із засобами збору інформації, зокрема IoT, ДЗЗ та ГНСС;
- потужний апарат просторового аналізу, моделювання та специфічних аналітичних операцій.

Недоліки:

- тривале спеціалізоване навчання для роботи з ГІС.

Штучний інтелект – розробка та використання інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту.

Переваги:

- мінімізація допущення помилок;
- безперервність роботи;
- неупередженість, тобто відсутність емоційного чи іншого впливу на процес прийняття рішення;
- вищий поріг діагностування підозрілих об'єктів, порівняно з операторами-людьми.

Недоліки:

- високі витрати на розробку та підтримку означених систем;
- відсутність нестандартного мислення;
- періодичний контроль процесу навчання й одержаних результатів.

5.2. Підходи до класифікації методів гуманітарного розмінювання територій

Система класифікації – сукупність положень про класифікаційні основи, про поєднання таких основ і правил щодо процедури класифікування. Це також розподіл наявної чисельності об'єктів на певні систематизовані групи, що повинні відповідати встановленим класифікаційним ознакам подібності чи відмінності об'єктів дослідження.

Класифікування – процес групування і розподілу множини об'єктів дослідження на класифікаційні єдності відповідно до прийнятої системи класифікації.

У широкому розумінні метод – спосіб досягнення визначених результатів у пізнанні і практиці. Гуманітарне розмінювання включає різні цілі, зокрема дослідження, картографування та

маркування мінних полів, а також фактичне розмінування землі. Головна мета гуманітарного розмінування полягає у плановому очищенні території для можливості повернення цивільних осіб до своїх домів для виконання повсякденних справ без загрози життю і здоров'я.

Жоден із використовуваних на сьогодні методів виявлення мін за допомогою технічних засобів за основними параметрами (чутливість, вибірковість, швидкодія) не є задовільним, не відповідає повністю стандартам ООН і не може виконати завдання з глобального розмінування планети (Horbulin, 2022), що зумовлює потребу подальших досліджень.

На початкових етапах, коли пошук мін та вибухонебезпечних об'єктів здійснювався з використанням традиційних металодетекторів у супроводі відповідно навчених собак, а переважна кількість мін конструктивно була металевими, доцільності в класифікації не було. Сьогодні, суттєво ускладнилася будова мінних озброєнь, способи їх доставки та встановлення, а як наслідок відповідні методи ідентифікації. Розвиток цифрових технологій та робототехніки, з одного боку, посилив обробку, прогнозування та виявлення, а з іншого – мінімізував перебування людини-сапера в загрозових для життя умовах. Усвідомлення структури методів дозволить полегшити розуміння шляхів пошуку (поєднання) перспективних методів у цій сфері.

Класифікацію методів виявлення мінних засобів за фізичним принципом наведено в табл. 13 (Fedorenko et al., 2022).

Таблиця 13

Класифікація методів виявлення за фізичними принципами

№	Метод	Характеристика
1	Механічний	Контактний
		Механізований
2	Електромагнітний	Радіохвильовий
		Оптичний
		Рентгенівський
		Гамма-випромінювання
3	Хімічний	Газоаналітичний
		Біофізичний
4	Магнітний	Магнітометричний
5	Акустичний	Сейсмоакустичний

На думку деяких експертів (Kasban et al., 2010), більшість методів виявлення наземних мін повинна складатися з трьох основних блоків (рис. 89):

- датчик для захоплення сигнатури наземної міни;
- блок обробки сигналу або зображення для впорядкування отриманих даних у форматі, придатному для виявлення;
- блок прийняття рішень для визначення наявності наземної міни чи ні.



Рис. 89. Основні етапи виявлення мін

З огляду на те, що датчик може бути біологічним, електромагнітним, оптичним, ядерним, акустичним або механічним, класифікацію було розширено (рис. 90). За принципом роботи датчиків названо й відповідні методи, які додатково деталізовано на підметоди.

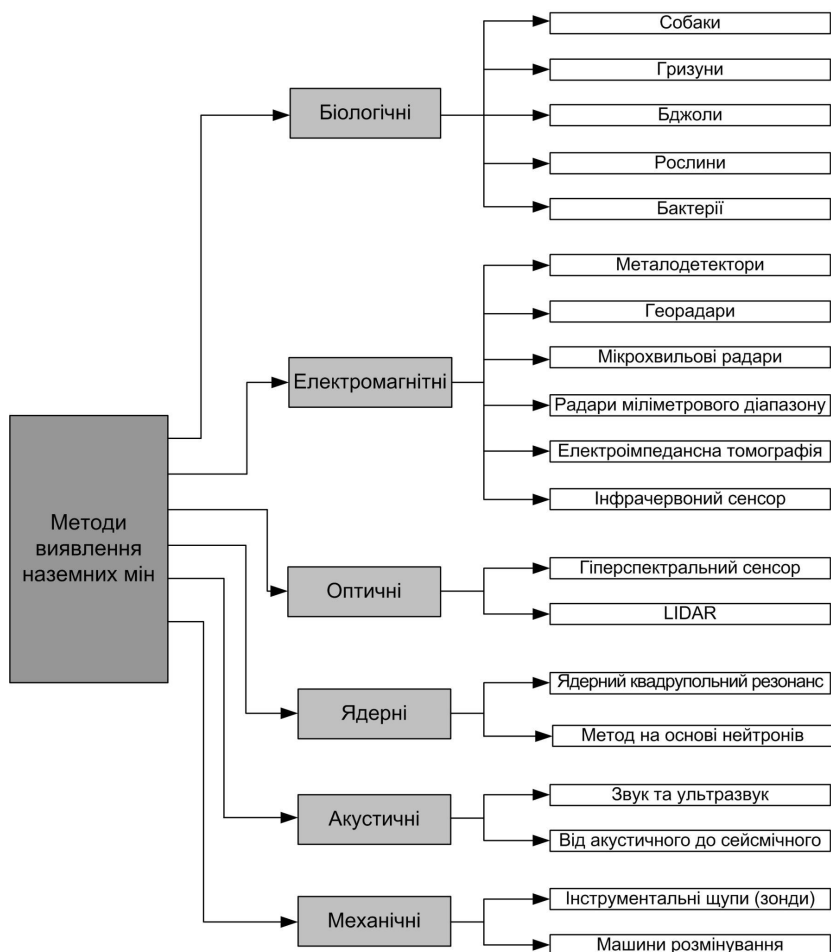


Рис. 90. Типові методи виявлення наземних мін (за Kasban et al., 2010)

У (Barnawi et al., 2022) можна відстежити збільшення кількості традиційних методів до 7. Окремо додається магнітометрія (рис. 91). Методи магнітного зондування (Keranen et al., 2011) порівняно швидкі та прості у застосуванні, здебільшого несприйнятливі до орієнтації датчика та краще здатні виявляти глибші цілі. Джерела нерозірваних боєприпасів часто мають сильні магнітні сигнатури, навіть якщо вони захоронені на порівняно великій глибині (> 2 м).

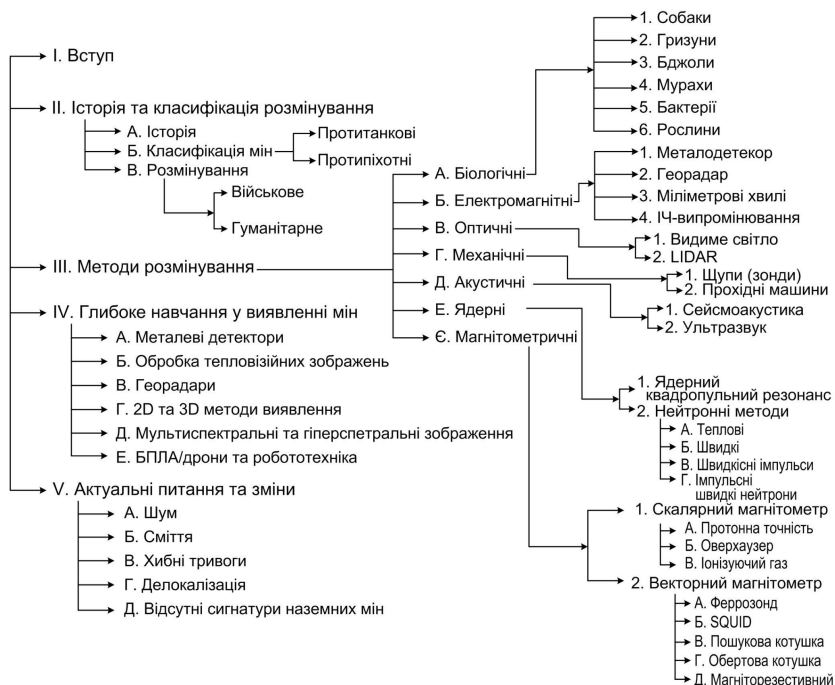


Рис. 91. Сучасна класифікація методів гуманітарного розмінування
(за Barnawi et al., 2022)

Розвиток супутніх інформаційних технологій у більшості випадків, зокрема ГІС, IoT та технологій ШІ, практично відбувається взагалі осторонь і є допоміжним, хоча, безумовно, багатообіцяючим.

В класифікації, пропонованій в (Hutsul et al., 2024), окремим методом додано і ДЗЗ. Якщо припускати, що ДЗЗ ґрунтується лише на реєстрації електромагнітного випромінювання земної поверхні в різних діапазонах спектра, то їх дійсно можна відносити до електромагнітних методів. Проте останнім часом використовуються не лише зібрані з них вихідні дані, але й платформи ДЗЗ як носії корисного вантажу для реалізації інших методів гуманітарного розмінування. На думку авторів, БПЛА, ГІС-технології, ДЗЗ та ШІ комплексно спроможні революціонізувати традиційні підходи до виявлення та знешкодження наземних мін.

5.3. Новинки науково-технічного прогресу для розмінування територій

Історія протимінної діяльності – це історія адаптивного та орієнтованого на пошук рішень сектору. Вкотре протимінна діяльність розробляє нові підходи, інструменти і стандарти, щоб відповідати динамічним викликам і обставинам різних рівнів.

Гуманітарне розмінування не унікальне в тому, що стикається з проблемами прийняття і використання нових технологій за межами лабораторії при переході від прототипів розробок до готових виробів із прикладним використанням в умовах реального світу.

Багато дослідників гуманітарного розмінування не знайомі з існуючими проблемами і, схоже, зосередилися на створенні дорогих і складних прототипів, не замислюючись над тим, чи буде таке обладнання працювати в реальних умовах і як його використовуватимуть місцеві гуманітарні сапери.

Важливо розробити ефективні точні та надійні технології виявлення, які пришвидшать процес пошуку, знизять рівень хибних спрацювань, оптимізують здатність однозначно ідентифікувати наземні міни, чітко відрізняючи їх від інших похованих об'єктів і металевих уламків, а також підвищать безпеку і захист саперів. Крім того, існує потреба в простій, зрозумілій і зручній для користувача взаємодії для подальшої безпечної роботи без необхідності тривалого навчання. Дуже важливе ретельне вивчення обмежень будь-якої технології з огляду на місце розташування, навколишнє середовище і склад ґрунту. Необхідно володіти навичками технічної експлуатації та обслуговування, а також пам'ятати, що не всі високотехнологічні рішення працюватимуть у різних ґрунтових та екологічних умовах. Для з'ясування переваг та обмежень різних нових методів (рішень) ще на етапі їх розробки потрібен налагоджений комплекс дослідних об'єктів, які імітують роботу нових технологій за реальних польових умов. Робота повинна виконуватися у тісній співпраці з кінцевими користувачами обладнання, а випробування на реальному полігоні мають проводити справжні сапери. Це забезпечить відповідність розробок практичним оперативним процедурам у контексті гуманітарного розмінування і цілковиту відповідність заявленої технології вимогам користувачів (Habib, 2002).

З 7 по 8 листопада 2019 р. у м. Базель (Швейцарія) відбувся VII семінар із технологій протимінної діяльності, який проводиться раз на два роки Женевським міжнародним центром гуманітарного розмінування (GICHD). Семінар під назвою «Дистанційне зондування та робототехніка в протимінній діяльності» зібрав 165 учасників із 49 країн, які представляли 85 організацій (Khanuan & Cruz, 2020).

Інновації змінюють гуманітарне розмінування, створюючи принципово нові та потенційно набагато ефективніші підходи до діяльності.

Наприклад, ДЗЗ наразі використовується в протимінній діяльності не тільки для допомоги в плануванні, моніторингу та оцінці операцій з очищення, але й для підтримки процесу звільнення землі та допомоги у вимірюванні наслідків.

Розроблені першочергово для військових цілей, БПЛА швидко набули популярності в цивільних секторах і дедалі більше в гуманітарній допомозі та допомозі розвитку. У гуманітарній діяльності наразі використовуються як один із багатьох інструментів для підтримки операцій, спрямованих на розв'язання ключової проблеми – безпеки людей.

Демонструвалися інноваційні програми для ретельного огляду, виявлення прямих і непрямих доказів, потенціал георадарного радіолокатора, а також застосування мультиспектральних і гіперспектральних датчиків для запису доказів. Для аналізу рельєфу та рослинності перед очищенням і забезпеченням кращого огляду для розгортання різних засобів розмінування задіювали зображення високої роздільної здатності.

Mobility Robotics і Humanity and Inclusion представили проєкт Odyssey 2025 і обговорили його апробацію на території Чаду. Цей проєкт продемонстрував, як БПЛА і ДЗЗ можуть бути використані в плануванні перед розгортанням, картографії та оперативних дослідженнях. Зокрема, показано, що ГЧ-камера здатна визначати геолокацію протитанкових мін, закладених у піщаному ґрунті, полегшуючи ручне розмінування.

Кілька організацій та дослідницьких установ представили свої дослідження інтегрованих технологій ДЗЗ:

- **проект «SAFEDRONE»** (C-IED COE у співпраці з Університетом Ов'єдо, Іспанія), спрямований на розробку та тестування поліпшеної системи для саморобних вибухових пристроїв, виявлення їх із використанням георадара високої роздільної здатності, встановленого на борту БПЛА. Методологія базується на радіолокаційній техніці з синтетичною апертурою, високій точності позиціонування (< 2 см), глибокій і широкій обробці сигналів за допомогою груп узгоджених алгоритмів і штучного інтелекту (García-Fernández et al., 2022);

- **проект «Amulet UAS»** (Cobham Aerospace Connectivity) – БПЛА або наземний дрон середнього розміру (рис. 92), оснащений георадаром Cobham QuadPack, здатним здійснювати пошук вибухонебезпечних боєприпасів у районах, які в іншому випадку були б занадто небезпечними або недоступними для саперів, смугою від 0,5 до 4 м;

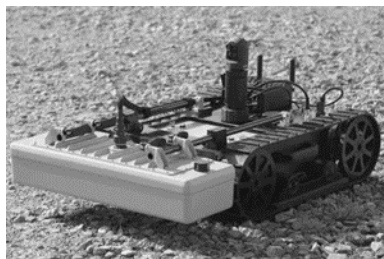


Рис. 92. Варіанти реалізації платформи Amulet UAS на базі БПЛА (зліва) та наземного дрону (справа)

- **проект «Penta Mag»** (Exploration for Humanity спільно з Mobile Geophysical Technologies) представили систему виявлення наземних мін MGT DroneMag 5 (рис. 93) на основі багатороторного (8 гвинтів) БПЛА коаксіальної конфігурації, який використовується для виявлення боєприпасів за допомогою 5 ферозондових магнітних датчиків (Døssing et al., 2021). Найважливішою перевагою системи є чутливість DroneMag 5 – найвища з усіх магнітометрів, встановлених на базі БПЛА. На практиці ці БПЛА літають нижче (100 футів замість 300 футів), що дає змогу одержувати сильніший сигнал.



Рис. 93. DroneMag на початку вишукувань

З 14 по 16 листопада 2023 р. є м. Женева (Швейцарія) за сприяння GICHD тривала Міжнародна інноваційна конференція, в якій узяли участь 365 учасників, що спеціалізуються на гуманітарному розмінуванні, управлінні боєприпасами та інноваціями, з понад 200 організацій від 45 країн світу (GICHD, 2023).

Технології ДЗЗ на основі БПЛА розробляються в секторі вже майже 10 років. Кілька національних органів протимінної діяльності навіть зробили кроки до акредитації використання таких технологій, проте не було розроблено глобальних протоколів тестування та оцінки ні в рамках IMAS, ні в інших органах стандартизації. Щоб стимулювати дискусію на цю тему, представники постачальників технологій та академічної дослідницької спільноти продемонстрували результати своїх установок для польових випробувань і окреслили основні проблеми, виявлені в дослідженнях і в застосуванні технологій ДЗЗ на основі БПЛА.

Представники SPH Engineering ознайомили з результатами експериментів кількох типів обладнання, проведеного на випробувальному полі організації та випробувальному полігоні SENSYS GeoMil, описуючи деякі обмежувальні фактори з точки зору

розробника. Серед них були загальний брак розуміння серед осіб, які приймають рішення, можливості і обмеження бортових засобів; відсутність належної практики й рекомендацій; а також відсутність стандартних процедур та інфраструктури для тестування й оцінки сенсорних систем на основі БПЛА.

Спираючись на окреслені проблеми, представник Дослідницького співтовариства з розмінування пояснив, що його польові випробування з використанням території, засіяної різноманітними вибухонебезпечними снарядами (рис. 94), було організовано у партнерстві з Глобальним консорціумом із зменшення небезпеки вибухів при Університеті штату Оклахома в США (Baur et al., 2023).



Рис. 94. Експериментальне поле, його точна фіксована розмітка та вибухонебезпечні об'єкти для розмінувальних тестувань

Польові випробування, які охоплюють близько 150 різноманітних вибухонебезпечних пережитків війни, мають на меті підтримати представників наукових кіл, дослідницьких і технологічних організацій і виробників обладнання в секторі протимінної діяльності, які шукають порівняльну інфраструктуру для польових випробувань.

Набори даних, які вже були зібрані, включно з тими, що стосуються теплових, візуальних, магнітних, георадарних, стереоскопічних і лідарних (виявлення світла та визначення дальності) зйомок, наземних радарів на базі дрону, магнітометрії та термічного, а також традиційного ручного виявлення металу.

Очікуваним результатом є створення мультимодального порівняльного набору даних із відкритим вихідним кодом, що стосується похованих вибухонебезпечних пережитків війни, який можна використовувати як еталон для просування досліджень у галузі технологій ДЗЗ на основі БПЛА.

Серйозна увага приділялася інтеграції БПЛА, ДЗЗ та геопросторового ІІІ для використання в операціях очищення й оцінки постраждалих територій.

Співробітник Humanity and Inclusion продемонстрував проєкт Odyssey 2025, спрямований на потенціал картографування звільнених територій малими дронами. Інновація полягає у поєднанні комерційно доступних, недорогих технологій відповідно до вимог сектору протимінної діяльності, з потребами кінцевого користувача на ранніх стадіях. Проєкт розпочався у 2018 р. та ґрунтується на партнерстві, спочатку між Humanity та Inclusion and Mobility Robotics, а потім з національними органами протимінної діяльності та операторами.

Використання програм геопросторового ІІІ в гуманітарній сфері можна легко пристосувати до конкретних потреб.

Picterra SA була створена вісім років тому й зосереджена на розробці платформи, яка дозволяє будь-якій компанії створювати налаштований ІІІ за допомогою геопросторових зображень для виявлення вибухонебезпечних боєприпасів та мін.

5.4. Новітній досвід України

Створення безпілотних авіаційних систем є одним із пріоритетів світової цивільної авіації. Україна проводить розробки та виготовлення БПЛА вертолітного типу, зокрема «РС-1» (ТОВ «Укр-спецсистем»); «Химера», «Командор» (ОКБ «Матриця технологій»). Однак спроби їх застосування для виявлення мін тривають на рівні досліджень (Popov et al., 2022).

ТОВ «Українські багатомоторні технології» (УМТ) та дослідники з геофізичної лабораторії університету Бінгемтона оголосили про інтеграцію БПЛА Cicada із системою атомного магнітометра Geometrics MFAM. Можливості магнітних вишукувань високої роздільної здатності дозволяють використовувати Cicada-M в гуманітарних заходах з розмінування, як елемент широкого технічного обстеження, що відповідає положенням міжнародних стандартів протимінної діяльності (IMAS). Проведені на базі Чернігівського аеродрому експерименти щодо ідентифікації нерозірваних залишків 122-мм артилерійських систем переконливо продемонстрували, що впровадження такої геофізичної системи значно скорочує витрати праці та часу, пов'язані з технічною оцінкою забруднених ділянок у постконфліктному регіоні (Nikulin et al., 2020). Знімання та обстеження ділянки розмірами 600×600 м потребували приблизно 11 год часу. В перспективі, після синхронізації частоти магнітометра з пристроєм GPS, очікується скорочення тривалості робіт до 3,5 год.

У січні 2020 р. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки повідомив про розробку одним із вітчизняних підприємств спільно з іноземною компанією спеціальних магнітометричних датчиків для БПЛА для виявлення нерозірваних боєприпасів (UkrInform, 2020). БПЛА, обладнаний такими датчиками працює на висоті 5-10 м і, крім локалізації вибухонебезпечних об'єктів, ідентифікує їх контури (рис. 95). Випробування засвідчили безпомилкову ідентифікацію мін калібром 82 та 120 мм із сантиметровою точністю. Для такого обладнання немає жодного значення період доби, а отримана інформація може передаватися в режимі реального часу. Тому карта вибухонебезпечних об'єктів складається доволі оперативно.



Рис. 95. БПЛА з магнітометром у процесі обстеження території (а) і візуалізація та обробка просторових даних вишукувань (б)

Домінуючі ґрунти на Донбасі здаються загалом придатними для неглибокого георадара (Bechtel, et al., 2016). Підвищена електропровідність через вміст глини може бути перевагою георадара, а не обмеженням для неглибоких пластикових (із низькою провідністю) оболонок.

Польський благодійний фонд «Поступ», створений вихідцями з України, підписав із ДСНС меморандум про співпрацю та пропонує українським саперам застосування власної розробки – магнітометричної системи, поєднаної із БПЛА (рис. 96). У процесі польоту датчик магнітометра на висоті 30 см над поверхнею безперервно фіксує параметри магнітного поля Землі у смузі завширшки 2 м і з точним геопозиціонуванням. Після посадки інформація опрацьовується в спеціальних програмних засобах та формує карту мінного поля. Наведена результативність системи для ділянки площею 240 м² із десятьма мінами за умови залучення трьох саперів та двох операторів за магнітометром становитиме 112 хв. Встановлено, що така система не може виявляти деякі типи мін із малою кількістю металевих деталей (наприклад, російські ПФМ-1 і ПМН-2), однак виявляє протитанкові міни на глибині 50-60 см (наприклад, ТМ-62) (Moiseev, 2023).

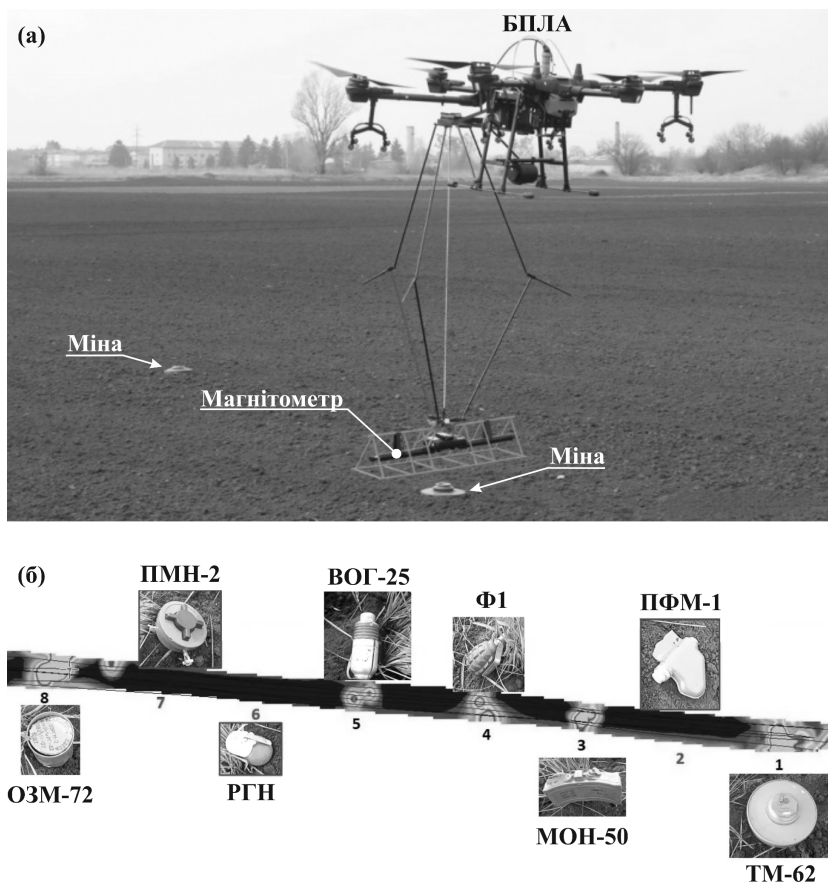


Рис. 96. Виявлення мін із використанням БПЛА, обладнаного магнітометром, під час польових випробувань (а) і результуюча карта мінного поля з ідентифікованими вибухонебезпечними об'єктами та мінами поряд (б) (за даними (Moiseev, 2023))

Канадська компанія DraganFly та український фонд Yellow-Blue представили власну програму з розмінування територій за допомогою БПЛА, оснащених дистанційними датчиками, що реагують на компоненти вибухонебезпечних предметів на глибині до 3 м (Таганова, 2022). Датчики збирають просторову інформацію не лише про тривимірну модель місцевості, наявність металевих предметів, але й про їх розташування при різних значеннях зрізів

глибин. Пластикові предмети ідентифікуються камерою. Процес збору даних налічує кілька етапів і процесів, розподілених між Україною та Канадою. Після обльоту території програмне забезпечення зі штучним інтелектом адаптує зібрані дані для пошуку та виявлення різних мін залежно від форми, розміру, матеріалу, типу вибухівки та ін. Дані для порівняння розроблені саперами в різних країнах, які мають досвід роботи з російськими та радянськими мінами. В результаті формуються тривимірні карти аномалій, що можуть нести мінну загрозу. Точність виявлення мін і вибухонебезпечних предметів наближається до 100 %. На ділянку площею 1 га затрачається 1 год, а виявлені результати зображено на рис. 97.

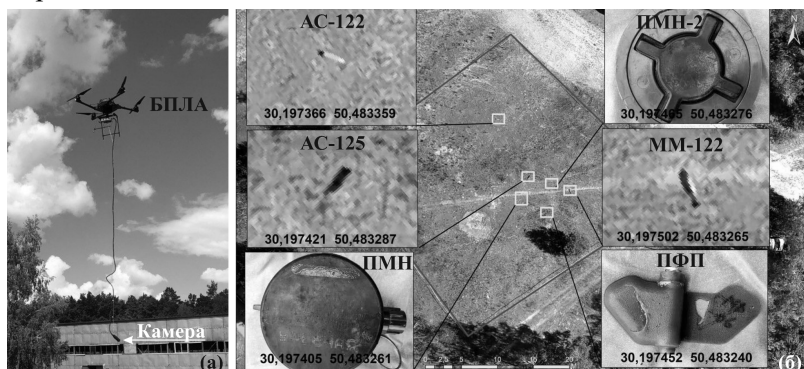


Рис. 97. Виявлення мін із використанням БПЛА, обладнаного магнітометром, у процесі обстеження території (а) та результати ідентифікації розташування мін і вибухонебезпечних об'єктів (б) на досліджуваній території (за даними (Taranova, 2022))

З 2020 р. Науковим центром аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України в рамках проєкту науково-технічної програми «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки» виконується розробка нової технології дистанційного виявлення мін на основі автоматизованого аналізу матеріалів багатоспектральної зйомки з БПЛА вертолїтного типу (квадрокоптер, мультикоптер). З використанням видової апаратури для аерозйомки: (RGB-камери, ІЧ-камери, мультиспектральні камери) розроблено класифікацію мін (рис. 98) (Porov, 2022).

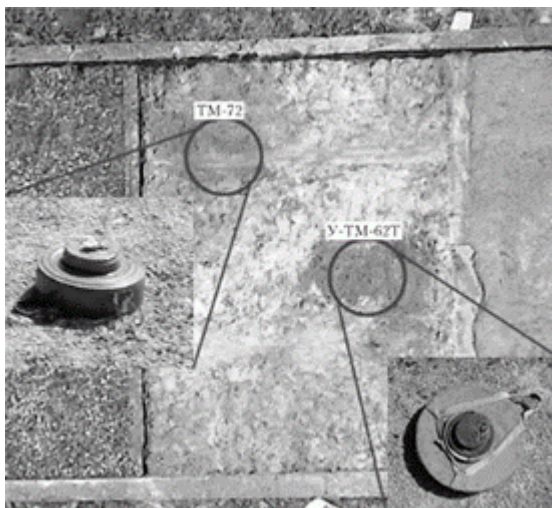


Рис. 98. Приклади розміщення мін на місцевості

З'ясувалося, що в першій половині дня краще виявляються міни у пластиковому корпусі, у другій – у металевому. Це пов'язано з тим, що впродовж світлового дня металевий корпус розігрівається, і під вечір, коли температура повітря починає знижуватися, він чіткіше виокремлюється на теплових зображеннях (рис. 99). Деякі міни можна розпізнати з великої висоти, деякі – лише з висоти кількох метрів.

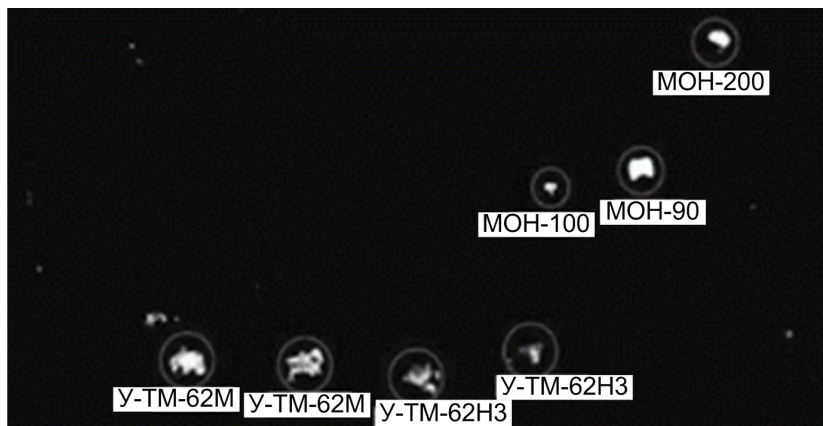


Рис. 99. Приклад представлення інформації для оператора-демінера

У червні 2021 р. розпочалися комплексні польові дослідження на реальних об'єктах. Затверджена командуванням Сил підтримки Збройних Сил України методика цих випробувань передбачала підготовчий етап, проведення пілотних досліджень на тестових ділянках полігону разом із фахівцями Навчально-тренувального центру інженерних військ та військ радіаційного, хімічного, біологічного захисту, оброблення отриманих даних і оцінку ефективності пропонованої розробки.

За допомогою спектрометра ASD FieldSpec 3FR отримано прецизійні спектри оптичного відбиття типових зразків металевих і пластикових мін (різних типів та рівня замаскованості), а також спектральні характеристики основних класів природних об'єктів і поверхневих текстур місцевості (зеленої та сухої трави, снігового покриву, водної поверхні та ін.). Результати досліджень доповнено даними тепловізора з використанням різного рівня освітленості. Фотомозаїки багатоспектральних і теплових (ІЧ) зображень класифіковано окремо і незалежно одна від одної. Багатоспектральні дані оброблювалися методом бінарної логістичної регресії, а теплові – спеціалізованим алгоритмом. Попіксельна класифікація цифрових мозаїк обома методами об'єднувалася за допомогою базового підходу та складалася функція правдоподібності з пороговим значенням, яке визначало наявність/відсутність небезпечного об'єкта.

Результати пошуку реальних об'єктів при різних типах зйомки становили:

- багатоспектральна – 92% (імовірність хибної тривоги – 37%);
- інфрачервона – 91% (імовірність хибної тривоги – 45%);
- комбінована – 91,8% (імовірність хибної тривоги – 41,6%).

Імовірність правильного виявлення мін досить висока й відповідає світовим вимогам до подібних систем військового призначення, але для цілей гуманітарного розмінування ефективність технології повинна бути вищою, що потребує додаткового апаратурного вдосконалення.

Наразі триває усунення виявлених у результаті випробувань недоліків, результатом яких має стати виготовлення дослідного

зразка бортового комплексу для ДЗЗ на базі БПЛА. Зокрема, пропонується до складу бортового комплексу, крім багатоспектральної та інфрачервоної камери, додати малогабаритний георадар.

Окремим напрямком іде розвиток напіваавтоматизованих роботів-саперів, діяльність яких ґрунтується на дистанційно активних методах збирання геопросторових даних (Karpinskyi & Lazorenko-Nevel, 2018). У рамках програми НАТО !Наука заради миру і безпеки! (SPS) в 2018 р. українські фахівці спільно з колегами з Італії та США створили наземний робот-сапер U-GoFirst для пошуку придорожніх фугасів спрямованої дії, який використовує імпульсний радар і дані 3D-сканування поверхні для виявлення наземних мін у реальному часі (NATO, 2018).

На базі Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського в 2020 р. завершено науково-дослідну роботу (0119U100703) щодо створення дистанційно керованої платформи мобільного робота розмінування високої прохідності і маневреності (рис. 100) (Zbrutsky, 2020).

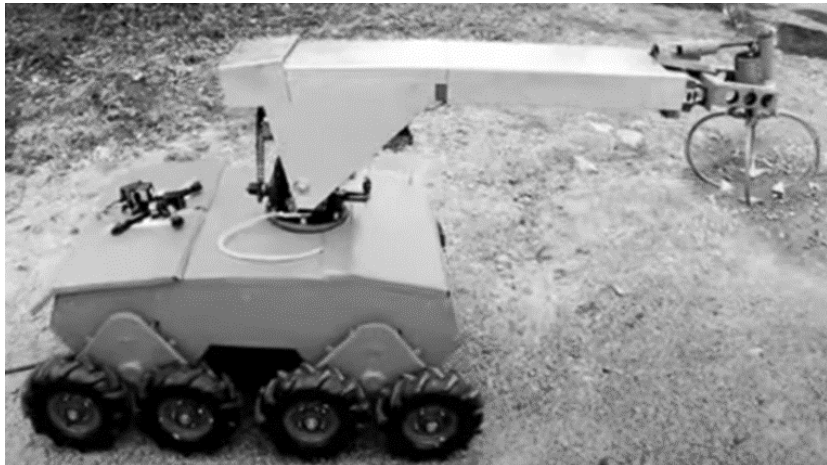


Рис. 100. Дистанційно керований робот

На основі проведених комплексних досліджень уперше запропоновано поєднання наземного дистанційно керованого шасі з безпілотною авіаційною системою на створений аеромобільний роботизований комплекс, який може мати застосування в різних

сферах. За показниками прохідності та іншими параметрами розроблене шасі відповідає кращим зарубіжним розробкам та експериментальним зразкам («The New Chaos» США в гусеничному і колісному варіантах), а по функціональності і вантажопідйомності перевершує їх.

Лідер-експрес доставки «Нова пошта» у співпраці з ДСНС України в серпні 2022 р. анонсувала розробку роботів-саперів для розмінування водойм та суші не лише виявлення мін, а й їх знешкодження. У ДСНС визначили основні вимоги до зазначених роботів, а «Нова пошта» взяла на себе відповідальність за технічний напрям, а також за пошук та залучення партнерів (Nova Poshta, 2022). Один зразок роботу (рис. 101) передано Асоціації роботизації України задля подальшого вдосконалення.



Рис. 101. Придбані роботи для підводного розмінування Fifish

5.5. Прогнозування трендів розвитку гуманітарного розмінування

Фінансування протимінної діяльності становить невелику частку загального фінансування офіційної допомоги в цілях розвитку і

сягає 0,4% від загального обсягу в період 2011-2022 рр. Попри це, протимінна діяльність залишається значно недофінансованою. Сімнадцять країн повідомили про сукупний щорічний дефіцит фінансування у розмірі щонайменше 115 млн \$ лише на аспект протимінної діяльності, пов'язаний із вивільненням земель. Загальна потреба, ймовірно, буде значно більшою, коли враховувати потреби всіх постраждалих країни за різними аспектами протимінної діяльності, а також появу нових збройних конфліктів. Донори, які фінансують протимінну діяльність, часто перебувають під впливом нових криз і/або значних подій в умовах існуючих конфліктів, що впливає як на розмір їхніх внесків, так і на спосіб розподілу коштів. Це призводило і буде призводити до короткострокових сплесків фінансування, що негативно позначиться на сталості та стабільності в цьому секторі (GICHD, 2024)

Розробка комплексних національних стратегій під керівництвом національних органів влади має важливе значення для забезпечення того, щоб усі залучені учасники рухалися в тому ж напрямку та мобілізували необхідні ресурси на оперативну діяльність.

За нинішніх темпів утилізації мінних озброєнь знадобиться понад тисячу років, поки ми не матимемо світ без мін. Українці необхідно досліджувати ефективніші методи виявлення мін; однак створення конвеєру дослідників, готових безпосередньо вийти на сферу гуманітарного розмінування, корисно лише за умови, що для них є доступні можливості для подальшого кар'єрного зростання до та після закінчення навчання. Студентам-дослідникам потрібні можливості для раннього ознайомлення й залучення до сфери гуманітарного розмінування через оплачувані стажування та стипендії. Освіта в навчальних програмах коледжів також може допомогти поінформувати, надихнути та створити критичний контекст для молодих дослідників, зацікавлених у роботі за кордоном у постконфліктних країнах, навіть якщо гуманітарне розмінування не є сферою їхньої уваги. Кар'єра в цій галузі може варіювати від офісної роботи з адвокації, навчання ризикам, публікацій і досліджень з такими установами, як ООН і неурядові організації, до безпосередньої роботи на місцях у ролі оператора знешкодження вибухових боєприпасів (Tuohy et al., 2023).

На технічному рівні в протимінній діяльності вдалося домовитися, встановити, і кодифікувати всі ключові сфери діяльності через Міжнародні стандарти протимінної діяльності (IMAS). Еволюція вивільнення землі в рамках IMAS наводиться як приклад ролі, яку відіграли стандарти в просуванні протимінної діяльності вперед у гуманітарних рамках. Очищення землі є одним із стовпів, який раніше називався розмінуванням і на якому спочатку було зосереджено ключову увагу з видалення (та підрахунку) мін до нового підходу, який зосереджується на забрудненій землі та соціально-економічних наслідках.

Ринок механічних технологій гуманітарного розмінування невеликий і розвивається швидше завдяки донорам, ніж за запитами. Машини дороговартісні, із важким (здебільшого важким, бо призначеним для знищення мін) спеціалізованим обладнанням, дорогою бронею для забезпечення безпеки оператора на борту, або оснащені складними системами керування при дистанційному керуванні. Покупці цих технологій часто є донорами, а не координаторами програм протимінної діяльності. Машини продаються так само, як і військове обладнання, і ціна часто є частиною пакета, який обговорюється конфіденційно (Cepolina & Zoppi, 2011).

Важливість надійного управління інформацією для прийняття рішень на основі фактичних даних сьогодні не викликає сумнівів. Здатність точно розуміти і відображати проблему, зокрема й тип і місце забруднення вибухонебезпечними предметами в конкретному робочому контексті, є фундаментальною передумовою для розробки ефективних заходів реагування на всіх рівнях. Системи управління інформацією постійно вдосконалюються не в останню чергу завдяки здатності використовувати потенціал нових технологій, що розвиваються, як-от географічних інформаційних систем. Еволюція сучасних процесів вивільнення земель у поєднанні з технологічним прогресом у картографії сприяла відходу від ранніх підходів швидких процесів обстежень та включення великих імовірно небезпечних зон до національних баз даних, що ускладнювало завдання їх подальшого перетворення (Toscano, 2021).

Один із показників економічної ефективності процесу розмінування земель – витрата коштів на квадратний метр вивільненої землі. Нижче значення вказує на те, що витрачається менше

коштів, що може свідчити про те, що процес обстеження та очищення ефективний і цілеспрямований. Хоча вартість вивільнення земель частково визначається вартістю ресурсів, задіяних у цьому процесі, у багатьох країнах вона значною мірою залежить від політики і процесу прийняття рішень. Вартість квадратного метра вивільненої землі знизилася з 79 \$ у 2017 р. до 20 \$ у 2019 р., можливо, завдяки вдосконаленню якості обстеження та орієнтації на забезпечення ефективності операцій очищення землі (Gichd, 2023).

Спосіб використання землі після розмінування має великий вплив на довкілля та наш клімат. Це означає, що важливо забезпечити підтримку практик сталого землекористування, включаючи впровадження заходів з адаптації до клімату, які принесуть користь місцевим громадам і допоможуть зберегти природу.

Висновки до розділу 5

Велика різноманітність типів мін зумовлює застосування різних методів для їх виявлення. Станом на сьогодні не існує жодного універсального методу, який би зі 100 відсотковою гарантією задовольняв вимоги гуманітарного розмінування. Це зумовлено не лише високими стандартами протимінної діяльності, а й типом та умовами місцевості, де здійснюються заходи з розмінування, конструктивними особливостями мінних озброєнь. Багато пропонованих методів технологічно не зрілі, проте перспективні й потребують розвитку та допрацювань. Тому кожен із пропонованих на сьогодні методів має свої переваги і недоліки. Лише поєднання різних за результативністю методів може наблизити до задовільного рівня розмінування території.

Актуальність розробки нових методів розмінування беззаперечна. Їх систематизація та подальша класифікація є передумовою полегшення наукових пошуків. Упорядкування публікацій за часом дозволяє помітити тенденцію переходу від класичного ручного розмінування з використанням металодетектора та собак до нових високотехнологічних цифрових методів. Окрім того, щоразу зростає і кількість пропонованих методів, похідних від основних.

Серед новинок готових рішень у сфері гуманітарного розмінування домінують БПЛА та наземні дрони оснащені георадарними та ДЗЗ-датчиками. Обробка зібраної інформації здійснюється миттєво з використанням різних рішень ІІІ.

Досвід України в цій сфері більш ніж вимушений, проте в більшості випадків уже перевірений польовими випробуваннями. Винахідники з України підхоплюють сучасні інноваційні рішення та намагаються їх видозмінити з урахуванням поточних особливостей території. Більшість прототипів уже пройшли або проходять стадію польових випробувань і відзначаються результативністю понад 90%.

Масштаби мінної проблеми у світі гарантують її затребуваність на десятки років. Важкі економічні події у світі в останні роки призвели до значного дефіциту фінансування. Такі кризові явища потребуватимуть перегляду місцевих програм протимінної діяльності та ще більше поживлять пошук інноваційних, економічно вигідніших методів розмінування.

Література

Barnawi, A., Budhiraja, I., Kumar, K., Kumar, N., Alzahrani, B., Almansour, A., & Noor, A. (2022). A comprehensive review on landmine detection using deep learning techniques in 5G environment: open issues and challenges. *Neural Computing and Applications*, 34(24), 21657–21676. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07819-9>

Baur, J., Steinberg, G., Frucci, J., & Brinkley, A. (2023). An accessible seeded field for humanitarian mine action research. *JMU Scholarly Commons*, 27(3), 2. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol27/iss3/2>

Bechtel, T., Truskavetsky, S., Capineri, L., Pochanin, G., Simic, N., Viatkin, K., Sherstyuk, A., Byndych, T., Falorni, P., Bulletti, A., Giannelli, P., Ruban, V., Varyanitzia-Roschupkina, L., & Bechtel, M. (2016). A survey of electromagnetic characteristics of soils in the Donbass region (Ukraine) for evaluation of the applicability of GPR and MD for landmine detection. 2016 16-th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). <https://doi.org/10.1109/icgpr.2016.7572688>

Døssing, A., Da Silva, E. L. S., Martelet, G., Rasmussen, T. M., Gloaguen, E., Petersen, J. T., & Linde, J. (2021). A High-Speed, Light-Weight Scalar Magnetometer Bird for km Scale UAV Magnetic Surveying: On Sensor Choice, Bird Design, and Quality of Output Data. *Remote Sensing*, 13(4), 649. <https://doi.org/10.3390/rs13040649>

Fedorenko, G., Fesenko, H., & Kharchenko, V. (2022). Analysis of methods and development of the concept of guaranteed detection and recognition of explosive objects. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 4 (22), 20–31. <https://doi.org/10.30837/itssi.2022.22.020>

García-Fernández, M., Álvarez-Narciandi, G., López, Y. Á., & Andrés, F. L. (2022). SAFEDRONE project: development of a UAV-based high-resolution GPR system for IED detection. 2022 16-th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). <https://doi.org/10.23919/eucap53622.2022.9768934>

GICHD. (2023, November). Innovation Conference 2023 – GICHD. www.gichd.org/the-gichd/events-training/innovation-conference-2023/

Habib, M. (2002). Mine clearance Techniques and Technologies for effective humanitarian demining. *JMU Scholarly Commons*, 6(1), 17. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol6/iss1/17/>

Horbulin, V. (2022). World global demining problem: Ukrainian vector. *Visnik NaciOnal'noï Akademiï Nauk UkraïNi/Visnik Nacional'noï Akademiï Nauk Ukraïni*, 2, 3–13. <https://doi.org/10.15407/visn2022.02.003>

Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskiy, 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), e29142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>

Karpinskyi, Y., & Lazorenko-Hevel, N. (2018, January). The methods of geospatial data collection for topographic mapping. Research gate. Retrieved March 14, 2023, from www.researchgate.net/publication/349536793_METODI_ZBIRANNA_GEOPROSTOROVIIH_DANIH_DLA_TOPOGRAFIICNOGO_KARTOG_RAFUVANNA

Kasban, H., Zahran, O., Elaraby, S. M., El-Kordy, M., & El-Samie, F. E. A. (2010). A comparative study of landmine detection techniques. *Sensing and Imaging*, 11(3), 89–112. <https://doi.org/10.1007/s11220-010-0054-x>

Keranen, J., Billings, S., Schultz, G., & Miller, J. (2011). Magnetic sensing techniques for humanitarian ordnance detection and discrimination. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE*. <https://doi.org/10.1117/12.883974>

Khanyan, A., & Cruz, I. (2020). Seventh Mine Action Technology Workshop: A Space for Innovation. *JMU Scholarly Commons*, 24(1), 10. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol24/iss1/10/>

Moiseev, V. (2023, February 8). Up to 30% of Ukraine's territory is contaminated with explosive ordnance: what will help clean it up. *Economy of Ukraine*. Retrieved March 7, 2023, from <https://thepage.ua/ua/economy/rozminuvannya-v-ukrayini-tehnologiyi-viyavlennya-min> [in Ukrainian]

NATO. (2018, November 12). New NATO scientific projects to help with the fight against terrorism. NATO. Retrieved March 7, 2023, from www.nato.int/cps/en/natohq/news_160271.htm?selectedLocale=en

Nikulin, A., deSmet, T., Puliaiev, A., Zhurakhov, V., Fasullo, S., Chen, G., Spiegel, I., & Cappuccio, K. (2020). Automated UAS aeromagnetic surveys to detect MBRL unexploded ordnance. *JMU Scholarly Commons*, 24(1), 13. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol24/iss1/13>

Nova Poshta, together with the State Emergency Service of Ukraine, has begun developing sapper robots. (2022, August 17). Nova Poshta. Retrieved March 7, 2023, from <https://novaposhta.ua/news/rubric/2/id/10595> [in Ukrainian]

Popov, M. (2022). Remote mine detection technology based on the analysis of survey materials from unmanned aerial vehicles: status and prospects. *Visnik Nacjonal'noi Akademii Nauk Ukraini*, 5, 56–62. <https://doi.org/10.15407/visn2022.05.056> [in Ukrainian]

Popov, M., Stankevich, S., & Mosov, S. (2022). Landmines detection using a set of optical airborne sensors. *Civil Security: Public Administration and Crisis Management*, 1, 37–55. <https://doi.org/10.33269/sbcs.2022.1.37-55> [in Ukrainian]

Taranova, E. (2022, June 22). How with the help of technologies based on artificial intelligence Ukraine plans to demine territories. *Delo.ua*. Retrieved March 7, 2023, from <https://delo.ua/ru/technologies/kak-s-pomoshhyu-texnologii-na-baze-iskusstvennogo-intellekta-ukraina-planiruet-razminirovat-territorii-399802/> [in russian]

Ukrinform. (2020, January 8). Ukrainian drone is capable of detecting mines to the nearest centimeter. *Ukrinform. Multimedia Platform for Foreign Broadcasting in Ukraine*. Retrieved March 7, 2023, from www.ukrinform.ua/rubric-technology/2851546-ukrainskij-dron-zdatnij-viavlati-mini-z-tocnistu-do-santimetra-armiainform.html [in Ukrainian]

Zbrutsky, A. (2020). Creation of remote controlled platform of mobile robot for demining of high passage and maneuverability [Press release]. https://report.kpi.ua/files/2020_2220.pdf

Післямова

У масштабі історії людства, історія сучасних мін не тривала й заледве охоплює два століття. І якщо раніше вибухові речовини використовувалися на подолання добре укріплених фортифікаційних споруд, то наразі їх вплив невибірковий і в більшості випадків спрямований на завдання страждань, каліцтв, економічної та екологічної шкоди стороні протистояння. Міна визнається найбільш економічною зброєю для використання в бою. Недорога, її можна використовувати як засіб економії сили, зброю для боротьби з місцевістю або як зброю терору для контролю над цивільним населенням. Такі обставини призвели до її «популярності» та використання у всіх збройних конфліктах на мільйонах квадратних кілометрів територій.

Міна – це вартовий, який ніколи не спить і не здається. Після того, як воюючі сторони погодилися припинити вогонь і повернулися до своїх пунктів базування, міна все ще очікує, щоб обрушити своє миттєве насильство та жах на нічого не підозрюючу жертву. Часто цими жертвами стають мирні жителі, жінки та діти. Для того, щоб країна повернулася до нормального життя та стабільності, необхідно провести гуманітарне розмінування території.

Технологія наземних мін варіює від простих до високотехнічних пристроїв. Розвиток мінних озброєнь призвів до появи понад 700 відомих типів мін із конструктивно різною будовою, матеріалом виготовлення, складом вибухової речовини, принципом дії, способом встановлення і т. ін.

Сучасна технологія розмінування повільна, дорога та небезпечна, вона може охоплювати лише кілька сотень квадратних метрів на день. Саме розмінування можна здійснити різними методами з різними рівнями технології, але переважно найбільш трудомісткий спосіб залишається найнадійнішим.

Гуманітарне розмінування здійснюється в будь-яких куточках світу за різних кліматичних умов та різних типів ґрунтового покриття, що не дозволяє використовувати тільки один метод для виявлення вибухонебезпечних предметів. Наразі майже всі гуманітарні операції з розмінування все ще потребують обов'язкового застосування методу ручного розмінування. Тому для безпечної та ефективної роботи потрібне використання різних взаємодоповнюючих методів.

Кожна технологія виявлення мін має свої сильні та слабкі сторони. У дослідженні розглядається проблема наземних мін, їх вплив, труднощі, вимоги, рішення та пріоритети, необхідні для гуманітарного розмінування. Представлено доступні технології виявлення мін разом із описом поточних досліджень і розробок у цій галузі. Деякі пропоновані технологічні рішення оцінено з точки зору перспективності, потенційного використання для підвищення швидкості та безпеки гуманітарного розмінування.

Серед новинок готових рішень у сфері гуманітарного розмінування домінують тенденції дистанційного розмінування, підвищення безпеки саперів та мінімізації їх участі. З'являються високотехнологічні БПЛА та наземні дрони, які поєднуються з різними датчиками (сенсорами) та великими обсягами просторових даних. Штучний інтелект при цьому проникає у всі методи та вдало підвищує прийняття рішень в режимі реального часу, які раніше потребували досвідчених операторів.

Гуманітарне розмінування міждисциплінарне й охоплює предмети, починаючи від інженерії, хімії та фізики до соціальних наук. Дотепер існує потреба в ефективних, надійних і рентабельних гуманітарних технологіях виявлення мін, які прискорюють процес виявлення, підвищують продуктивність, максимізують точність виявлення та зменшують кількість помилкових тривог. Дуже важливо мати надійний і точний датчик або інтеграцію різномірних/однорідних датчиків з ефективними і надійними методами об'єднання та обробки даних. Крім того, необхідно подолати обмеження ресурсів для прискорення процесу розмінування з точки зору часу, вартості та підвищення безпеки персоналу та операцій. Партнерами в цій сфері повинні бути не лише постраждалі громади та сапери, а й дослідники, промислові розробники, неурядові організації, політики тощо.

Наукове видання

ГУЦУЛ Тарас Володимирович

ТКАЧ Владислав Олегович

ХОБЗЕЙ Микола Михайлович

**КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ
МЕТОДІВ ГУМАНІТАРНОГО
РОЗМІНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ
НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ**

Монографія

Літературна редакторка

Колодій Оксана

Комп'ютерна верстка
та дизайн обкладинки

Віщак Юліанна

Підписано до друку 09.09.2024. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Умов. друк. арк. 13,1.
Обл.-вид. арк. 14,1. Зам. 1005.

Видавництво та друкарня Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
58002, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2
e-mail: ruta@chnu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №891 від 08.04.2002 р.

Для уповноважених
підрозділів
центральних органів
виконавчої влади
та операторів
протимінної
діяльності, саперів,
співробітників ДСНС,
наукових
співробітників,
а також викладачів
та здобувачів
закладів вищої
освіти цивільного
захисту населення.



ISBN 978-966-423-822-0

