

Нижник Я. В.

(0009-0000-2431-3309)

Журахов О. В.

(0000-0003-4547-1546)

Захарченко Д. С.

(0000-0003-3009-5648)

Центр протимінної діяльності Державної спеціальної служби транспорту, Чернівці

Обґрунтування вибору безпілотного роботизованого комплексу розмінування шляхом визначення рівня технічної досконалості

Резюме. Розглянуто мету національної стратегії протимінної діяльності, а саме звільнення територій від ризиків, пов'язаних із наявністю вибухонебезпечних предметів. Одним з підходів для досягнення мети є використання безпілотних роботизованих комплексів для технічного обстеження та очищення територій, забруднених вибухонебезпечними предметами. В умовах відсутності державного стандарту та загальних вимог (кількісних показників) для безпілотного роботизованого комплексу виникає питання оцінки рівня їх технічної досконалості. Запропоновано методику та проведено оцінку рівня технічної досконалості зразків безпілотних роботизованих комплексів.

Ключові слова: безпілотний роботизований комплекс; технічна досконалість; протимінна діяльність; розмінування.

Постановка проблеми. Для досягнення стратегічної мети національної стратегії протимінної діяльності [1], а саме звільнення територій від ризиків, пов'язаних із наявністю вибухонебезпечних предметів (далі – ВНП), для їх безпечного та продуктивного використання передбачено, зокрема, створення сприятливого середовища для впровадження інновацій у сфері протимінної діяльності, а також розвиток національного виробництва засобів для розмінування та їхнього технічного обслуговування в Україні. Ці аспекти підкреслюють складність глобальної проблеми розмінування та нагальну потребу в інноваційних підходах до її розв'язання.

Одним із таких підходів є застосування безпілотних роботизованих комплексів (далі – БРК) для технічного обстеження та очищення територій, забруднених ВНП. Використання різних конфігурацій навісного обладнання та датчиків у складі БРК дає змогу значно прискорити процес розмінування. Продуктивність наземних машин для розмінування, зазвичай, становить від 3000 м² до 15000 м² на добу [2], тоді як ручне розмінування одним сапером обмежується не більше ніж 10 м² за той самий період.

Забезпечення безпеки персоналу є ключовим аспектом проведення робіт з розмінування. Важливою перевагою використання БРК є можливість дистанційного керування, що мінімізує ризики для фахівців з розмінування, переміщуючи їх на безпечну відстань від зони ураження [3].

Нині існує гостра потреба у створенні методики для визначення технічної досконалості БРК для найбільш ефективного виконання поставлених завдань підрозділами з розмінування в завчасно визначених умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. *Технічна досконалість БРК* - це сукупність його властивостей і характеристик, які визначають, наскільки ефективно, надійно та безпечно він виконує свої функції. Це міра того, наскільки БРК відповідає сучасним інженерним стандартам і вимогам експлуатації.

Наразі існує значна кількість робіт, присвячених оцінці рівня технічної досконалості зразків озброєння та військової техніки.

У роботі [4] розглянуто питання щодо вибору рівня технічної досконалості і характеристик перспективних однотипних зразків озброєння та військової техніки на прикладі зразків броньованих ремонтно-експлуатаційних машин (далі – БРЕМ). Побудовані наступні залежності:

коефіцієнта рівня технічної досконалості від суми балів існуючого зразка БРЕМ, яка дозволяє оцінити загальну суму балів для перспективного зразка вищого рівня технічної досконалості;

кількості балів від параметра показника існуючого БРЕМ, яка дозволяє вибрати параметри та технічні характеристики перспективного технічно досконалого зразка.

Запропоновано алгоритм вибору рівня технічної досконалості і характеристик перспективного зразка озброєння та

військової техніки (далі – ОВТ), впровадження якого дозволить визначити напрямки розроблення нових та модернізації існуючих зразків ОВТ з метою підвищення рівня їхньої технічної досконалості.

У роботі [5] розглядається методика комплексної порівняльної оцінки тактико-технічних показників однотипних зразків озброєння та військової техніки шляхом введення нового узагальненого показника з використанням методів кваліметрії, порівняльного аналізу та експертної оцінки.

У роботі [6] проведено оцінку рівня технічної досконалості вітчизняних легких броньованих автомобілів із найкращими однотипними закордонними зразками. Наведено порівняльний аналіз за оцінкою рівня технічної досконалості однотипних зразків озброєння та військової техніки.

У патенті [7] наведено спосіб оцінки рівня технічної досконалості однотипних зразків озброєння і військової техніки, який полягає у визначенні комплексного показника. За комплексний показник було вибрано суму добутків балів технічних і тактико-технічних характеристик, отриманих за пропорційною шкалою оцінок, на коефіцієнт вагомості технічних і тактико-технічних характеристик однотипних зразків озброєння і військової техніки.

На сьогоднішній день відсутня методика визначення рівня технічної досконалості для обґрунтування вибору безпілотного роботизованого комплексу розмінування. Враховуючи досить велику номенклатуру БРК українського та іноземного виробництва запропонована методика надасть можливість комплексно порівняти технічні характеристики зразків для виконання поставлених завдань в заданих умовах використання.

Метою статті є висвітлення методики визначення рівня технічної досконалості БРК та її застосування для найбільш розповсюджених зразків БРК легкого та середнього класів. Дана методика надає можливість вдосконалити інформаційне забезпечення підрозділів розмінування в частині застосування інноваційних технологій пошуку, виявлення, ідентифікації та знищення (знешкодження) ВНП шляхом розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження сучасних технологій роботизації у сферу гуманітарного та оперативного розмінування.

Виклад основного матеріалу. В умовах відсутності державного стандарту та загальних вимог (кількісних показників) для БРК виникає питання оцінки рівня їх технічної досконалості.

Враховуючи досить велику номенклатуру БРК іноземного виробництва, оцінка рівня технічної досконалості вітчизняних зразків може проводитись методом експертних оцінок, порівняльного аналізу, прогресуючого еталону, визначення технічної досконалості тощо.

За рахунок покращення технічних характеристик зразка можна підвищити рівень його технічної досконалості.

Для вибору рівня технічної досконалості і показників технічних характеристик перспективного зразка пропонується наступний алгоритм:

а) вибрати показники технічних характеристик, які визначають обрис і вимоги та забезпечують найбільш ефективне застосування зразка;

б) перевести значення одиниць вимірювання показників в бали за допомогою пропорційної шкали оцінок;

в) визначити загальну суму балів, коефіцієнт рівня технічної досконалості існуючого зразка.

У перспективі даний підхід дасть можливість обрати технічні характеристики, які дозволяють покращити техніко-економічну спроможність зразка для виконання поставлених завдань.

Серед загальних вимог до проведення випробувань та визначення необхідного переліку технічних характеристик зразка, для подальшого визначення рівня та перспектив покращення технічної досконалості зразка слід відмітити наступні:

а) оцінка обґрунтованості призначення необхідної точності і достовірності визначення характеристик зразків;

б) оцінка обґрунтованості і достатності вибору складу контрольованих при випробуваннях параметрів для визначення характеристик зразків;

в) перевірка відповідності заданої точності вимірювань для визначення характеристик зразків;

г) оцінка методик (методів) вимірювань на можливість забезпечення необхідної точності вимірювань характеристик зразків;

г) оцінка обґрунтованості вибору і створення засобів й систем вимірювань і контролю для випробувань;

д) оцінка відповідності забезпечуваної методиками випробувань достовірності контролю характеристик зразків заданим вимогам;

е) оцінка методик визначення фактичної точності результатів випробувань зразків з урахуванням сумарної похибки вимірювань, передачі і обробки вимірювальної інформації;

є) оцінка відповідності фактичної точності результатів вимірювань і обробки вимірювальної інформації заданим вимогам;

ж) контроль виконання вимог державних стандартів та інших нормативних документів по формах представлення результатів вимірювань;

з) контроль включення в програму випробувань вимог по підготовці і реалізації заходів по метрологічному забезпеченню випробувань;

и) контроль виконання заданих в тактико-технічному завданні вимог з метрологічного забезпечення випробувань;

і) контроль виконання вимог нормативних документів щодо метрологічного забезпечення випробувань.

Як показав проведений аналіз, загальний методичний підхід щодо досліджень з визначення відповідності зразків вимогам нормативних документів повинен включати наступні етапи:

Перший етап - оцінка технічного стану зразка: визначення необхідності проведення повноцінних випробувань. Етап включає роботи з контрольного огляду, який передбачений експлуатаційно-технічною документацією. При цьому визначаються умови експлуатації, робочі процедури, характерні дефекти та несправності, можливість їх усунення. Можуть підтвердити результати попередніх випробувань.

Другий етап - лабораторні випробування, які проводяться в контрольованих умовах з метою усунення негативних впливів зовнішніх факторів;

Третій етап - аналіз результатів досліджень, відпрацювання звітної документації та проєктів директивних документів.

Причинами виникнення невідповідності вимірювань можуть бути: недосконалість методів вимірювання, технічних засобів, зміна умов проведення досліджень. Зміна умов проведення досліджень може впливати на фізичну величину, технічні засоби і самого випробувача.

Кожна із наведених причин виникнення невідповідності вимірювань зумовлена

багатьма чинниками, під впливом яких формується загальна невідповідність. Їх можна об'єднати у дві великі групи.

1. Чинники, що з'являються нерегулярно і зникають несподівано або проявляються з непередбачуваною інтенсивністю. До них належать: перекося елементів приладів за їх напрямними, нерегулярні зміни моментів в опорах, зміна зовнішніх умов та умов навколишнього середовища, послаблення уваги спостерігача тощо. Складова сумарної невідповідності, яка виникає під впливом цих чинників, – випадкова невідповідність вимірювань.

2. Постійні чинники або такі, що закономірно змінюються у процесі вимірювання фізичної величини. До них належать методичні похибки, зміщення стрілки приладу та недосконалість елементів (пружних) засобів вимірювання. Складові сумарної невідповідності, що виникають під дією чинників другої групи, – систематична невідповідність вимірювань [8].

Використовуючи метод оцінки рівня технічної досконалості, методика якого запропонована у [7,9], проведено вибір показників технічних характеристик машин для розмінування, які визначають обрис і вимоги, забезпечують найбільш ефективне її застосування і є вихідними для визначення комплексного показника рівня технічної досконалості. Для забезпечення наочності та систематизованої обробки дані заносяться до Табл. 1.

Для переведення значення параметрів технічних характеристик різних одиниць вимірювання в бали використовують пропорційну шкалу оцінок. Кількість балів $O_{бал}$ розраховується за формулою [7]:

$$O_{бал} = \left(\frac{X_{оцін} - X_{мін}}{X_{макс} - X_{мін}} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де $X_{оцін}$, $X_{макс}$, $X_{мін}$ - оцінене, максимальне та мінімальне значення характеристик у групі [5].

З Табл. 1 витікає, наприклад, що $X_{мін}$ для характеристики “робоча глибина обробки в залежності від місцевості” складає 15 см (тип машини “Змій”) та $X_{макс}$ - 32 см (тип машини “MV-4”). Аналогічно визначаються кількісні значення показників $X_{мін}$ та $X_{макс}$ для інших характеристик групи.

Результати переведення значень параметрів технічних характеристик в бали за формулою (1) наведений у Табл. 2.

Таблиця 1

Значення технічних характеристик показників технічної досконалості безпілотних роботизованих комплексів [10]

№ з/п	Тип машини	Робоча глибина обробки в залежності від місцевості, см	Продуктивність, м ² /год. Легкий ґрунт/ середня рослинність	Продуктивність, м ² /год. Середній ґрунт/ середня рослинність	Продуктивність, м ² /год. Важкий ґрунт/ густа рослинність	Очищення / Ширина обробки, см	Максимальна операційна швидкість руху, км/год	Максимальна дальність керування, м
		1	2	3	4	5	6	7
Легкі машини								
1	MV-4 (ціпи)	До 32	2184	1896	944	173	1,26	1500
2	Twin 75V2	До 18	1350	1165	583	135	3	200
3	Змій	До 15	1028	947	809	135	0,75	1000
Середні машини								
1	GCS-200	До 25	2000	1270	920	200	2,3	1000
2	MV-10 Bison	До 40	4000	2460	1875	245	3	1500
3	Bozena 5	До 50	4900	2400	1050	265	4	5000
4	Armtrac 400	До 35	5000	2350	1915	290	3	800
5	MP.5100	До 30	4200	2040	1580	250	1,5	650

Таблиця 2

Оцінка показників технічної досконалості однотипних машин

№ з/п	Тип машини	Номер показника							Сума балів Σ	K_{TD}
		1	2	3	4	5	6	7		
Легкі машини										
1	MV-4 (ціпи)	100	100	100	100	100	22,7	100	622,7	0,89
2	Twin 75V2	17,6	27,9	23	0	0	100	0	168,5	0,24
3	Змій	0	0	0	62,6	0	0	61,5	124,1	0,18
Середні машини										
1	GCS-200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	8,0	40,0	0,06
2	MV-10 Bison	60,0	66,7	100,0	96,0	50,0	60,0	19,5	452,2	0,65
3	Bozena 5	100,0	96,7	95,0	13,1	72,2	100,0	100,0	576,9	0,82
4	Armtrac 400	40,0	100,0	90,8	100,0	100,0	60,0	3,4	494,2	0,71
5	MP.5100	20,0	73,3	64,7	66,3	55,6	0,0	0,0	279,9	0,40

Слід зазначити, що перетворення (1) дозволило привести показники, які наведені у Табл. 1 до єдиної шкали, тобто максимальне кількісне значення показника кожної характеристики $a_{\text{макс}}$ дорівнює 100 балам.

Кількісне значення відносної характеристики якості зразка – коефіцієнт рівня технічної досконалості j -о зразка K_{TDj} – наведено в останньому стовпчику

Табл. 2. K_{TDj} визначається за формулою:

$$K_{TDj} = \frac{\sum_{i=1}^I a_i}{a_{\text{макс}} \cdot I}, \quad (2)$$

де a_i – кількісне значення показника i -ї характеристики у балах

I – кількість показників, які досліджуються (в нашому випадку $I = 7$);

$a_{\text{макс}} = 100$ – максимальна кількість балів, яку може набрати показник.

Для прикладу наведемо розрахунки K_{TD} за формулою (2) для:

$$\text{легкої машини MV-4: } K_{TD1} = \frac{6 \cdot 100 + 22,7}{100 \cdot 7} = 0,89;$$

$$\text{Twin 75V2: } K_{TD2} = \frac{17,6 + 27,9 + 23 + 100}{100 \cdot 7} = 0,24.$$

Оскільки шкала оцінок пропорційна, то її можна розбити на рівні за балами. У відповідності з балами визначено коефіцієнт градації i рівень технічної досконалості

однотипних зразків машин для розмінування (Табл. 3) [5].

Таблиця 3

Градація порівняльного рівня технічної досконалості безпілотних роботизованих комплексів для розмінування

Значення коефіцієнта	Сума балів	Рівень технічної досконалості	Тип машини
0,8-0,99	560-700	Високий	MV-4 Bozena 5
0,70-0,79	490-560	Відмінний	Armtrac 400
0,50-0,69	350-490	Добрий	MV-10 Bison
0,31-0,49	210-350	Середній	MP.5100
0,16-0,30	105-210	Задовільний	Змій Twin 75V2
$\leq 0,15$	< 105	Незадовільний	GCS-200

Як видно з Табл. 3, незадовільний рівень досконалості за оцінюваними показниками має БРК для розмінування GCS-200, відмінний рівень – Armtrac 400, високий рівень – MV-4 та Bozena 5.

Для проведення даного аналізу були застосовані не всі показники, які характеризують ефективність роботи машини,

тому перелік як показників, так і зразків машин може бути розширений для більш детального визначення рівня технічної досконалості.

Для проведення графічного аналізу показників технічної досконалості були використані стовпчасті гістограми, результат наведений на рис. 1.

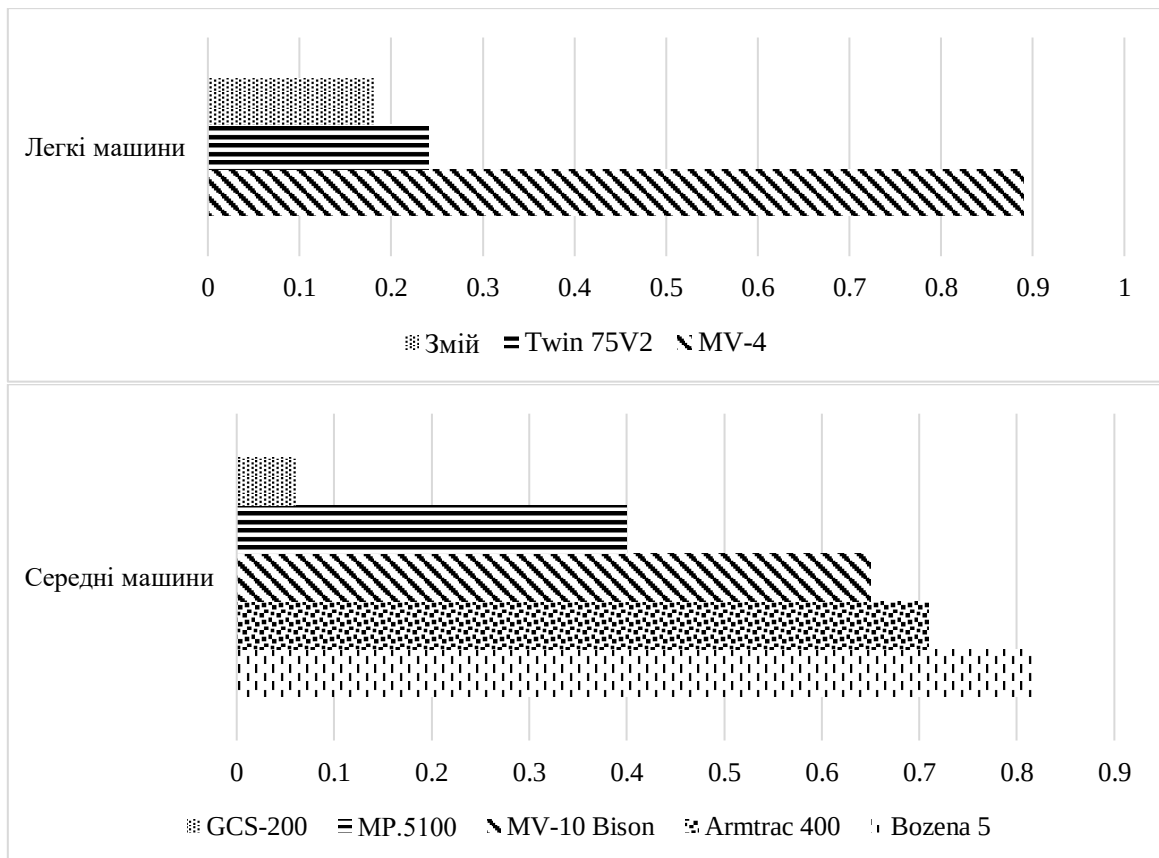


Рис. 1 – Гістограми показників досконалості безпілотних роботизованих комплексів

Описану методику також можна використовувати для розрахунку як для безпілотних літальних апаратів, так і для підводних роботизованих комплексів, змінюючи відповідні тактико-технічні характеристики, що аналізуються.

За результатами аналізу можуть бути надані практичні рекомендації щодо параметрів технічних характеристик перспективного (модернізованого) технічно досконалого зразка машини для розмінування, що дозволить визначити напрями розроблення нових і модернізації існуючих зразків з метою

підвищення рівня їхньої технічної досконалості.

Висновки. Враховуючи доцільність та необхідність дослідження і відбору найбільш пристосованих зразків безпілотних роботизованих комплексів для розмінування, запропонована та описана методика визначення показника технічної досконалості вказаних комплексів. Запропонований набір параметрів, найбільш актуальних при використанні безпілотних роботизованих комплексів. Запропонована за застосована градація порівняльного рівня технічної досконалості для безпілотних роботизованих комплексів. Визначені технічно найдосконаліші представники легкого та середнього класів безпілотних роботизованих комплексів для розмінування за сукупністю розглянутих параметрів. За результатами визначення рівня технічної досконалості складена порівняльна графічна гістограма.

Напрями подальших досліджень. Запропонована методика оцінки рівня технічної досконалості безпілотних роботизованих комплексів має перспективи до подальших досліджень. Одним з таких напрямків є введення додаткових параметрів та характеристик комплексів, що аналізуються, при розширенні вимог до умов використання даних комплексів, а також цілей, які перед ними ставляться. Також дану методику можна розширювати у напрямку дослідження рівня технічної досконалості для машин і механізмів, призначених для виконання інших завдань оборонного та гуманітарного призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Уряд схвалив Національну стратегію протимінної діяльності та Операційний план її реалізації на перші 3 роки. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-skhaliv-natsionalnu-strategiiu-protyminnoi-diiialnosti-ta-operatsiinyi-plan-ii-realizatsii-na-pershi-3-roky> (дата звернення: 24.03.2025).
2. A Handbook of Mechanical Demining. GICHD, Geneva, July 2010. URL: <https://www.gichd.org> (дата звернення: 24.03.2025).

3. Удосконалення методичного апарату експериментальних досліджень обладнання та засобів захисту у сфері протимінної діяльності (шифр "Основа"): звіт про НДР / Центр протимінної діяльності; наук. керівник Лаппо І.М., відп. викон. Журахов О.В. – Чернігів, 2023. – 242 с.
4. Русіло, П. О. Вибір рівня технічної досконалості і технічних характеристик перспективного зразка озброєння та військової техніки (на прикладі зразків броньованих ремонтно-евакуаційних машин) / П. О., В. В. Костюк, Ю. В. Варванець, О. М. Калінін, М. М. Шевцов // Військово-технічний збірник. Львів: НАСВ, 2017. – Вип. 16. – С. 48-53.
5. Нор, П. І. Методика комплексної порівняльної оцінки зразків озброєння та військової техніки / П. І. Нор, І. В. Борохвостов // Озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. – Вип. 3 (11). – С. 14-19.
6. Будяну, Р. Г. Обґрунтування тактико-технічних вимог для розроблення перспективних зразків і подальшої модернізації вітчизняних "легких" броньованих автомобілів / Р. Г. Будяну // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. – Вип. 25.3 – С. 156-165.
7. Спосіб оцінювання рівня технічної досконалості однотипних зразків озброєння та військової техніки: патент на корисну модель 88195: МПК G01N 27/27 (2006.01) / Грабчак В. І., Русіло П. О., Варванець Ю. В., Калінін О. М., Костюк В. В., Будяну Р. Г., власники: Академія сухопутних військ України імені Петра Сагайдачного. – № 201308548; заявл. 08.07.2013; публікація відомостей 11.03.2014, бюл. № 5. – 5 с.
8. Метрологія, стандартизація та управління якістю / Л.П. Клименко, Л.В. Пізінцалі, Н.І. Александровська, В.Д. Євдокимов – Миколаїв. : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011 – 207 с.
9. Машина інженерної розвідки та розмінування: патент на корисну модель 84430: МПК (2011.01) F41H 11/12 / Дачковський В. О., Кізяк Я. О., власники: Національний університет оборони України імені Івана Черняховського. – № 201303522; заявл. 22.03.2013; публікація відомостей 25.10.2013, бюл. № 20. – 8 с.
10. K. Koppetsch, Mechanical Demining Equipment Catalogue 2010, GICHD, Geneva, January 2010. Режим доступа: <https://www.gichd.org/>.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2025

Justification for the selection of an unmanned robotic demining complex by determining the level of technical perfection

Annotation

To achieve the strategic goal of the national mine action strategy, namely to free territories from the risks associated with the presence of explosive objects (EO), their safe and productive use, it is envisaged, in particular, to create a favorable environment for the introduction of innovations in the field

of mine action, as well as the development of national production of demining equipment and its technical maintenance in Ukraine. One such approach is the use of unmanned robotic complexes (URCs) for technical inspection and clearance of areas contaminated with EO.

The purpose of the article is to highlight the methodology for determining the level of technical perfection of URCs and its application to the most common models of light and medium class URCs.

A set of parameters most relevant to the use of URCs is proposed. A gradation of comparative technical perfection levels for URCs is proposed and applied. The most technically advanced representatives of the light and medium classes of URCs for mine clearance are identified based on a set of parameters considered. A comparative graphical histogram is compiled based on the results of determining the level of technical perfection.

This methodology makes it possible to improve the information support of demining units in terms of the application of innovative technologies for searching, detecting, identifying, and destroying (neutralizing) explosive remnants of war by developing scientifically based recommendations for the introduction of modern robotization technologies in the field of humanitarian and operational demining.

Keywords: unmanned robotic complex; technical perfection; mine countermeasures; demining.