

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНО-КЕРОВАНИХ (РОБОТИЗОВАНИХ) ЗАСОБІВ (КОМПЛЕКСІВ) РОЗМІНУВАННЯ

Наведено результати теоретичних досліджень щодо вдосконалення класифікації дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування. Проведено аналіз наукових підходів до розроблення класифікації озброєння та військової техніки, зокрема наземних дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів). Визначено переваги і недоліки методів класифікації об'єктів, обґрунтовано доцільність їх застосування залежно від мети класифікації. На основі фасетного методу запропоновано вдосконалену класифікацію дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування.

Ключові слова: розмінування, класифікація, класифікаційні ознаки, методи класифікації, дистанційно-керовані (роботизовані) засоби (комплекси) розмінування.

Постановка проблеми. Конфлікти сучасності та війна Російської Федерації (РФ) проти України свідчать про постійно зростаючу роль мінної зброї, що висуває нові вимоги до засобів (комплексів) розмінування, які обумовлені передусім розширеним переліком завдань, що на них покладаються. Досвід ведення бойових дій під час контрнаступу Сил оборони України влітку 2023 р. показав, що одним з найскладніших завдань виявилось саме подолання глибокоешелонованої системи мінно-вибухових загороджень (МВЗ) противника, зокрема пророблення у них проходів [1]. Необхідно зауважити, що під час вогневого ураження противником саме засоби (комплекси) подолання МВЗ та групи розмінування наших підрозділів стали першочерговими їхніми цілями.

Однак є й інший бік застосування мінної зброї та інших боєприпасів – війна РФ проти України призвела до того, що наша держава виявилася однією з найзабрудненіших вибухонебезпечними предметами (ВНП) серед країн світу, близько третини території охоплює так зване «мінне забруднення» [2].

У розвинених країнах через те, що мінна небезпека стала світовою проблемою, пріоритетним питанням розвитку засобів протидії мінній зброї останніх двох десятиліть є створення дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування (ДКРЗКР), а також підвищення ефективності проведення розвідки на наявність ВНП та їх ідентифікації з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Реалізація зазначених вимог зумовлює виникнення нових поєднань властивостей і способів застосування ДКРЗКР, які повинні відображатися відповідними класифікаційними ознаками. Проте в Україні активний розвиток засобів розмінування почався лише з моменту широкомасштабної агресії РФ, і як наслідок, на сьогодні бракує прийнятих на озброєння вітчизняних ДКРЗКР, а також єдиної класифікації зазначених засобів.

Необхідно наголосити, що велика номенклатура наявних ДКРЗКР, які надані країнами партнерами, та перспективних ДКРЗКР обумовлює необхідність проведення їх групування за функціональним призначенням для подальшого забезпечення максимально можливої відповідності характеристик зразків їхньому функціональному призначенню. Таке узагальнення забезпечує визначення досягнутого рівня розвитку ДКРЗКР, виявляє структуру в загальній сукупності зразків та визначає їхнє місце у системі озброєння.

Таким чином, виникає необхідність удосконалення класифікації ДКРЗКР для урахування класифікаційних ознак, що відображають сутність завдань розмінування, які фактично вирішуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз доступних джерел інформації виявив, що питанню розроблення (уточнення) класифікації ДКРЗКР було приділено незначну увагу. Також це підтверджується браком такого класу озброєння та військової техніки (ОВТ) у керівних документах [3]. Основна увага була приділена загальній класифікації роботизованих комплексів, зокрема наземних [4–7]. Загалом треба зазначити, що на сьогодні бракує єдиного загальноприйнятого погляду стосовно класифікації роботизованих комплексів та понятійного апарату в сфері роботизації.

Так, у праці [4] під час класифікації роботизованих систем військового призначення, зокрема саперних, запропоновано матричний підхід у вигляді таблиці, що дає змогу розуміти та класифікувати роботів, для

того, щоб здійснювати більш збалансований підхід до їхнього використання у воєнних операціях. Однак така система може бути значно складнішою залежно від деталізації та важко сприйматися. У статті [5] на основі аналізу «Концепції застосування наземних роботизованих комплексів для виконання завдань Збройних Сил України на період до 2020 року та подальшу перспективу» загальна класифікація наземних роботизованих комплексів на першому етапі пропонується за принципом відомих «ідей ієрархії» з багатоступінчатим розподілом об'єктів, наприклад, на групи, класи, типи, модифікації. Надалі класифікацію наземних роботизованих комплексів пропонується провести на основі досліджень інтенціонального типу. В публікації [6] наведено класифікацію наземних роботів за програмою ROS (robot operating system) Стенфордського університету в розрізі масогабаритних характеристик та рівня автономності як основних характеристик та властивостей. У праці [7] питання класифікації бойових колісних машин запропоновано вирішити шляхом використання методів кластерного аналізу. Отже, аналіз робіт у зазначеній предметній галузі свідчить, що вони направлені в основному на загальну класифікацію роботизованих комплексів та не враховують специфіку їхнього функціонального призначення, зокрема розмінування, що обумовлює необхідність удосконалення класифікації наявних та перспективних ДКРЗКР.

Метою статті є розроблення пропозицій щодо вдосконалення класифікації дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування.

Виклад основного матеріалу. Виконання завдань з розмінування можна умовно поділити на три етапи: розвідка МВЗ (місцевості, об'єктів на наявність ВВП), пророблення проходів у МВЗ, суцільне розмінування місцевості (бойове, гуманітарне) [8].

У зв'язку з великою небезпекою особовому складу груп розмінування як під час ведення бойових дій, так і в мирний час, у світі особлива увага приділена створенню саме дистанційно-керованим (роботизованим) засобам (комплексам) розмінування. У цих умовах розробники ДКРЗКР постійно шукають їм місце у процесі виконання завдань з розмінування. З урахуванням зазначеного вище виникають завдання з розроблення та систематизації вимог до ДКРЗКР, одним з етапів яких є уточнення класифікації зазначеного типу ОВТ.

Слід зауважити, що класифікація – це, у загальному розумінні, розподіл об'єктів на групи за визначеними ознаками [9]. Під час класифікації певної групи об'єктів, зокрема ДКРЗКР, необхідно чітко окреслювати її мету і сферу застосування, наприклад облік, застосування або створення (конструктивно-функціональна класифікація) тощо. Також немаловажним чинником є глибина (деталізація) класифікації у межах «розумної» достатності, в іншому випадку цей процес може бути нескінченним. Найсуттєвішим чинником під час створення класифікації об'єктів є вибір методу класифікації.

Метод класифікації – це спосіб об'єднання об'єктів класифікації у класифікаційні угруповання, який повинен задовольняти певні вимоги [9]. На підставі проведеного аналізу праць щодо класифікації ДКРЗКР можна зазначити, що основними методами є ієрархічний, фасетний та кластерного аналізу.

Ієрархічний метод класифікації полягає у тому, що початкова множина об'єктів ДКРЗКР послідовно поділяється на угруповання (класи) першого рівня поділу, далі – на угруповання наступного рівня тощо. Особливістю ієрархічного методу є тісний зв'язок між окремими класифікаційними угрупованнями через спільність і розходження основних ознак. В основу розподілу множини на підмножини, за основною для цього етапу ознакою, покладено ступінь класифікації, тобто етап класифікації при ієрархічному методі, у результаті якого виходить сукупність класифікаційних угруповань. Кожен ступінь і угруповання виділені за своєю ознакою. Розходження між угрупованнями полягають у різних ознаках. У зв'язку з цим вибір основних ознак є відповідальною операцією розподілу множини, від якої багато в чому залежить кінцевий результат. В основу цього вибору повинно бути покладено цільове призначення класифікації. При цьому кількість ознак і ступенів визначає глибину класифікації. Приклад такої класифікації ДКРЗКР наведено на рис. 1.

На відміну від ієрархічного методу фасетний полягає у рівнобіжному поділі об'єктів на незалежні класифікаційні угруповання. Особливістю фасетного методу є те, що різні ознаки не пов'язані між собою. Завдяки цьому фасетна система відрізняється великою гнучкістю, можливістю обмежувати кількість ознак і угруповань, що створює визначені зручності під час використання. Разом з тим її інформаційна ємність може бути збільшена шляхом виділення загальних і часткових класифікаційних угруповань. Кожна ознака фасетної класифікації відповідає фасеті, що являє собою список значень найменованої ознаки класифікації. Отже, система класифікації може бути подана переліком незалежних фасетів (списків), які містять значення ознак класифікації.

Приклад класифікації ДКРЗКР фасетним методом наведено на рис. 2.



Рисунок 1 – Класифікація дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування ієрархічним методом



Рисунок 2 – Класифікація дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування фасетним методом

Необхідно зауважити, що зазначені методи належать до групи евристичних. Для отримання раціонального результату класифікації їхня реалізація вимагає залучення кваліфікованих експертів.

На відміну від ієрархічного та фасетного методів кластерний аналіз не вимагає апріорних припущень про визначення даних, не накладає обмеження, дає можливість аналізувати показники різних типів даних (інтервальні дані, частоти, бінарні дані) [7]. Водночас необхідно наголосити, що змінні повинні вимірюватися у порівнюваних шкалах. Критерієм для визначення схожості й відмінності кластерів є відстань між точками на діаграмі розсіювання, вона дорівнює відстані між точками на графіку. Способів визначення міри відстані між кластерами, яку називають ще мірою близькості, є небагато. Найпоширенішим способом є обчислення евклідової відстані (евклідової метрики) між двома точками i та j на площині, коли відомі їхні координати X і Y [7] :

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} . \quad (1)$$

Відстань між точками у тримірному просторі (рис. 3) визначається за таким виразом (евклідова метрика):

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} . \quad (2)$$

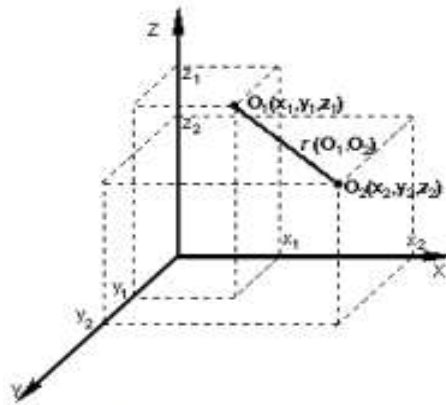


Рисунок 3 – Відстань між двома точками у просторі трьох вимірів

Є дві групи методів кластерного аналізу – ієрархічні (послідовні) та неієрархічні (нечіткі), які містять безліч підходів і алгоритмів. Використання різних методів кластерного аналізу дозволяє отримати різні рішення для одних і тих же даних, що є нормальним явищем.

Під час класифікації об'єктів ієрархічним методом у праці [7] аналіз даних пропонується провести послідовною кластеризацією та отримати дендрограму, яка однозначно описує матрицю відстаней між елементами. Якщо $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – множина зразків n зразків ДКРЗКР, кожен з яких характеризується m ознаками, то кожен зі зразків може розглядатися як точка у m -мірному просторі. У цьому випадку вихідні дані можна подати у вигляді матриці:

$$X = \begin{pmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n^1 & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де x_n^m – значення m -ї ознаки n -го зразка ДКРЗКР.

Блиькість між зразками множини X можуть бути зображені у вигляді матриці:

$$X = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{p1} & d_{p2} & \dots & d_{pn} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де d_{ij} – близькість зразків x_i та x_j .

За характеристику близькості прийнято евклідову метрику.

Для побудови дендрограми доцільно використати програмні продукти SPSS, STATISTICA – під час використання агломеративних методів (методи об'єднання) та STATGRAF – під час застосування дивизимних методів (методи поділу).

Для усунення зміщення, викликаного впливом тих ознак, які мають більший розмах значень, проводиться стандартизація змінних [7]:

$$x_i^{st} = (x_i - \bar{x}) / \left((n-1)^{-1} \sum_n [\bar{x} - x_i]^2 \right), \quad (5)$$

де $\bar{x} = n^{-1} \sum_n x_n$ – середнє значення ознаки.

Приклад групування ДКРЗКР методом кластерного аналізу з отриманням дендрограми наведено на рис. 4.

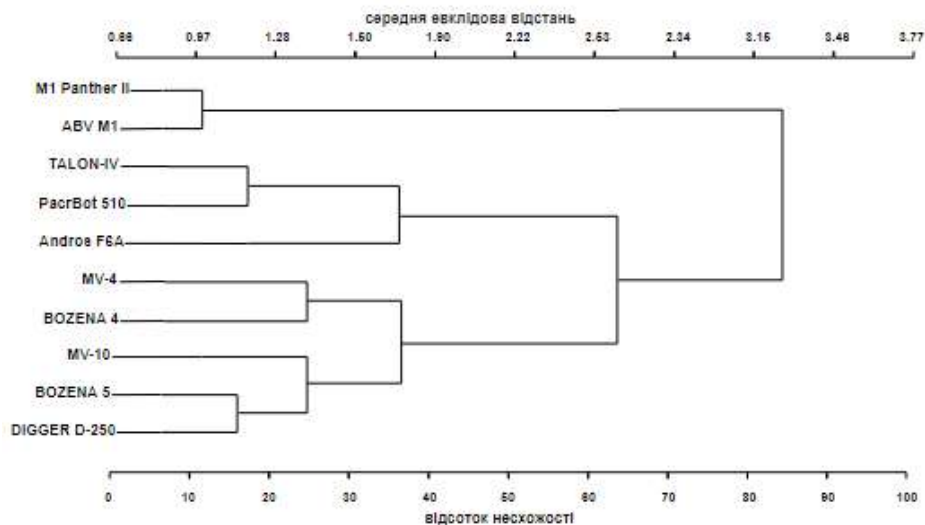


Рисунок 4 – Дендрограма для даних основних характеристик 10 зразків дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування

Проте результати, отримані у монографії [7] під час застосування ієрархічного методу, свідчать про некоректність отриманих результатів у дендрограмах, а саме поєднання зразків зі значними відмінностями у характеристиках і призначеннях. Усе це вимагає перегляду кількості кластерів, що можливо шляхом евристичних процедур та формальних тестів. У зв'язку з цим для отримання прийняттого результату після визначення кількості кластерів доцільно використати методи неієрархічної (нечіткої) кластеризації, які, на відміну від ієрархічної, послабляють жорстку вимогу однозначності кластеризації елементів (зразків). Кластеризація даних є ефективним методом підготовки даних для подальшого їх використання експертною групою.

Отже, розглянувши методи, які використовуються для класифікації об'єктів, зокрема і ДКРЗКР, можна зауважити, що вони мають як переваги, так і недоліки (табл. 1).

Таблиця 1 – Переваги та недоліки методів класифікації

Методи класифікації	Переваги	Недоліки
Ієрархічний	<ol style="list-style-type: none"> 1. Логічність побудови. 2. Чіткість визначення ознак, великий обсяг інформації. 3. Зручність використання, наочність. 4. Кожний щабель класифікації являє собою сукупність подібних за однією ознакою об'єктів. 5. Фіксуються відмінності між об'єктами на різних щаблях класифікації 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Жорстка структура. 2. Брак резервного обсягу. 3. За великої глибини: надмірна громіздкість, високі, не завжди обґрунтовані затрати, труднощі у використанні. 4. За невеликої глибини: інформаційна недостатність, неповне охоплення об'єктів і ознак
Фасетний	<ol style="list-style-type: none"> 1. Гнучкість структури побудови. 2. Можливість агрегації об'єктів. 3. Зручність використання. 4. Можливість обмеження кількості ознак без втрати достатності охоплення об'єктів 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неповне використання місткості. 2. Нетрадиційність, а інколи і складність використання. 3. Неможливість виділення спільності і різниці між об'єктами у різних класифікаційних угрупованнях
Кластерного аналізу	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наочність. 2. Дозволяє виявити схожість між об'єктами та поєднати їх у групу, що може бути корисним для подальшого аналізу. 3. Дає змогу зменшити розмірність даних, що полегшує їхній подальший аналіз. 4. Дає можливість виявити складні зв'язки між об'єктами, які можуть бути непомітними під час звичайного аналізу та бути використані для розроблення перспективних зразків 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чутливість до вибору початкових параметрів, що може призвести до різних результатів. 2. Чутливість до шуму в даних та викидів, що може призвести до неправильних результатів. 3. Відсутність можливості врахування якісного критерію під час реалізації на ЕОМ. 4. Необхідність перегляду результатів кваліфікованими експертами.

На підставі проведеного аналізу методів, які застосовуються під час класифікації об'єктів, автор статті пропонує алгоритм розроблення класифікації ДКРЗКР, наведений на рис. 5.

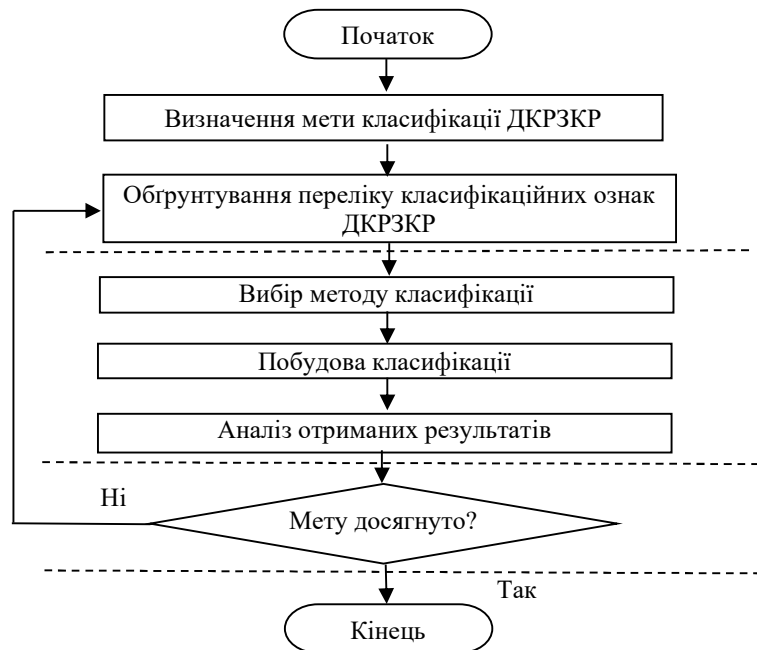


Рисунок 5 – Алгоритм розроблення класифікації дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування

Найповніше і найзмістовніше питання розвитку роботизованих зразків, їхні номенклатури, тактико-технічні параметри та бачення перспектив їхнього застосування відображено у керівних документах та програмах Міністерства оборони США [10].

Зважаючи на погляди та методи класифікації (їх переваги та недоліки) ДКРЗКР, у праці автор пропонує удосконалену класифікацію ДКРЗКР на основі фасетного методу (табл. 3), зображену у табличній формі.

Таблиця 3 – Класифікація наземних дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування

Група (клас)	Маса, кг	Маса корисного навантаження, кг	Спосіб доставки	Рівень захисту	Можливості виконання завдань *
I (легкі)	До 50	10 – 15 % від маси базової платформи	Переносні	Протиударний	1,2
II (середні)	50–1 500		Перевізні, самохідні	Локальний, протикульовий	1–5
III (важкі)	1 500–20 000	Від 200 до 7000	Самохідні	Протикульовий, протиосколковий, протимінний	1–5
IV (надважкі)	Більше 20 000	Понад 5000	Самохідні	Протикульовий, протиснарядний, протимінний	2–5

* Перелік можливостей ДКРЗКР

1. Ведення пошуку, виявлення та знищення мін, саморобних вибухових пристроїв та інших ВВП.
2. Перевірка та очищення від мін, саморобних вибухових пристроїв та інших ВВП маршрутів (шляхів) руху військ (сил).

3. Розмінування у районах ведення бойових дій та розташування підрозділів.
4. Забезпечення подолання МВЗ, пророблення проходів у мінних полях перед переднім краєм та у глибині оборони противника.

5. Гуманітарне та військове розмінування.

Для більшої деталізації можливо кожен клас (групу) поділити на підгрупи (підклас). Запропонована класифікація ДКРЗКР обґрунтовується такими положеннями:

– клас легких ДКРЗКР розмінування визначається можливістю транспортування спішеними військовослужбовцями під час ведення розвідки, пошуку, виявлення, обстеження та знищення мін, саморобних вибухових пристроїв та інших ВВП як у районах виконання частинами та підрозділами бойових завдань, так і на маршрутах руху військ;

– середні ДКРЗКР розмінування обумовлюються можливістю їхнього перевезення на наявних легкових автомобілях підвищеної прохідності (зокрема броньованих) та застосування для пошуку, обстеження і знешкодження ВВП, пророблення проходів у МВЗ противника вибуховим способом;

– важкі ДКРЗКР обумовлюються можливістю виконання завдань з ведення розвідки, пошуку та знешкодження ВВП на маршрутах руху військ, розмінування районів розташування військ (сил), пророблення проходів вибуховим способом;

– надважкі засоби розмінування обумовлюються необхідністю пророблення проходів у МВЗ противника у районах ведення бойових дій під час наступу (контрнаступу), а також для розвідки на невідомій місцевості.

Таким чином, на основі аналізу завдань, які виконуються підрозділами розмінування та аналізу наявних підходів класифікації ОВТ у статті запропоновано вдосконалену класифікацію ДКРЗКР на основі фасетного методу, що надалі дасть можливість обґрунтовувати потребу різних підрозділів розмінування у таких засобах.

Висновки

На підставі проведеного аналізу існуючих підходів до класифікації озброєння та військової техніки визначено основні методи: ієрархічний, фасетний та кластерного аналізу. Основою прийняття рішення на застосування зазначених методів є мета класифікації. Ієрархічний та фасетний методи або їхнє поєднання доцільно застосувати з метою подальшого врахування в облікових документах, презентаційних матеріалах, а методи кластерного аналізу – під час виявлення закономірностей при обґрунтуванні параметрів перспективних зразків.

У праці запропоновано удосконалену класифікацію дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування фасетним методом з урахуванням основних класифікаційних ознак: характеру завдань, що вирішуються, маси, ступеня захисту. Зазначена класифікація може бути використана для уточнення керівних документів з визначення номенклатури інженерного майна, а також потреби інженерних підрозділів Сил оборони у таких засобах.

Напрямом подальших досліджень може бути обґрунтування структури та параметрів перспективних дистанційно-керованих (роботизованих) засобів (комплексів) розмінування.

Перелік джерел посилання

1. General Valery Zaluzhny admits the war is at a stalemate. Ukraine's commander-in-chief on the breakthrough he needs to beat Russia : website. URL: <http://surl.li/mwrm1> (Accessed: 12.01.2024).

2. Ukraine is now the most mined country. It will take decades to make safe : website. URL: <http://surl.li/jtlva> (Accessed: 12.01.2024).

3. Про затвердження Порядку використання інженерного майна у Міністерстві оборони України та Збройних Силах України : наказ Міністра оборони України від 30.01.2018 р. № 35.

4. Засади розвитку роботизованих систем в Збройних Силах України : монографія / В. Ф. Залужний та ін. ; за заг. ред. проф. О. М. Семененка. Київ : 7БЦ, 2023. 348 с.

5. Чепков І. Б., Григор'єв О. П., Беліков В. Т., Ковалішин С. С. Класифікація бойових наземних робототехнічних комплексів – дієвий шлях до з'ясування сутності цієї категорії озброєння. *Наука і оборона*. 2017. № 3/4. С. 66–72.

6. Кириченко І. В. Наземні роботизовані комплекси: основи та майбутнє. *Молодий вчений*. 2021.

№ 12 (100). С. 16–20.

7. Голуб В. А. Балістичний та протимінний захист бойових колісних машин. Методологічні основи побудови : монографія. Львів : АСВ, 2014. 224 с.

8. Про затвердження Настанови з подолання (маркування) інженерних загороджень : наказ командувача Сил підтримки ЗСУ від 12.10.2020 р. № 67.

9. Про затвердження Порядку розроблення національних класифікаторів : наказ Міністерства економічного розвитку України від 11.01.2018 р. № 17.

10. Інтегрована дорожня карта Пентагону «Безпілотні системи» 2017–2042 : Website. URL: <http://surl.li/rlimx> (Accessed: 08.01.2024).

Стаття надійшла до редакції 08.02.2024 р.

UDC 358:623.3

V. Kryvtsyn

IMPROVEMENT OF THE EXISTING CLASSIFICATION OF REMOTELY OPERATED (ROBOTIC) DEMINING MEANS (COMPLEXES)

The paper presents the results of theoretical research on improving the existing classification of remotely controlled (robotic) demining means (complexes). An analysis of existing scientific approaches to the development of classification of weapons and military equipment, in particular ground-based remotely operated (robotic) vehicles (complexes), is carried out. The advantages and disadvantages of object classification methods are determined, the expediency of their application depending on the purpose of classification is substantiated. The features that must be taken into account when classifying remotely controlled (robotic) vehicles (complexes) during the performance of the main tasks of engineering reconnaissance of the area (objects) for the presence of explosive objects, overcoming minefields in the conditions of hostilities and during military or humanitarian demining are determined. It has been established that the existing classification is general and does not take into account the classification features that reflect the essence of combat tasks actually solved by remotely controlled (robotic) demining means (complexes) in modern military conflicts.

Based on the analysis of methods of classification of objects and features of the process of performing tasks to overcome enemy minefields and continuous demining, an improved classification of remotely controlled (robotic) demining means (complexes) is proposed based on the facet method. The factors influencing the classification features are taken into account, on the basis of which it is proposed to classify remotely controlled (robotic) demining means (complexes) into four categories: light, medium, heavy and super-heavy.

Keywords: *demining, classification, classification features, classification methods, remotely operated (robotic) demining means (complexes).*

Кривцун Володимир Іванович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
<https://orcid.org/0000-0002-3907-5320>