

Методика вибору пріоритетів оснащення ремонтних органів рухомими засобами технічного обслуговування і ремонту автомобільної та мототехніки

Methodology for Prioritizing the Provision of Repair Units with Mobile Maintenance and Repair Equipment for Motor Vehicles and Motorcycles

Богдан Черешушенко

Bohdan Chereushenko

ад'юнкнт, e-mail: bogdan3674@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7901-5939>

PhD student, e-mail: bogdan3674@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7901-5939>

Військова академія, м. Одеса, Україна

Military Academy, Odesa, Ukraine

Received: July 30, 2026 | Revised: August 27, 2026 | Accepted: August 31, 2026

УДК 623.437:629.3.083:355.415

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.4.24>

Мета роботи. Розробити методику вибору пріоритетів оснащення ремонтних органів рухомими засобами технічного обслуговування і ремонту, у якій обов'язкові вимоги не компенсуються перевагами за другорядними показниками, а суб'єктивні вагові коефіцієнти не застосовуються.

Методи дослідження. Використано системний і процесний підходи, порогову перевірку сумісності та безпечності, розрахунок потреби й пропускну спроможності, Парето-домінування, лексикографічне впорядкування та сценарний аналіз.

Результати дослідження. Сформовано дев'ятиетапну методичну послідовність: опис операційного контексту, визначення типових робіт, установлення порогових вимог, обчислення дефіцитів, формування допустимих конфігурацій, оцінювання граничного ефекту, лексикографічне порівняння, ітераційний розподіл засобів і сценарна перевірка результату. Критерії розподілено за чотирма рівнями пріоритету: критичні функції, своєчасність і пропускну спроможність, мобільність та автономність, витрати життєвого циклу. На умовному прикладі показано необхідність резервування спроможностей за несприятливого сценарію.

Теоретична цінність дослідження. Розвинуто засади некомпенсаційного оцінювання альтернатив шляхом поєднання порогової придатності, нормованого дефіциту та лексикографічного ранжування без інтегрального вагового показника.

Практична цінність дослідження. Методика придатна для обґрунтування закупівель, дооснащення, перепризначення рухомих засобів і формування програм випробувань.

Оригінальність/цінність дослідження. Запропоновано ітераційне повторне ранжування після кожного призначення засобу. Методика забезпечує прозорість причин формування пріоритетів, відтворюваність розрахунків і можливість оперативного перегляду рішення після зміни потреб, готовності обладнання або складу доступних засобів, що підвищує обґрунтованість управлінських рішень у системі ремонтного забезпечення військових формувань загалом.

Обмеження дослідження/майбутні дослідження. Обмеженням є відсутність репрезентативних відкритих даних військового ремонту. Подальші дослідження мають охопити калібрування порогів, валідацію методики та автоматизацію розрахунків.

Тип статті: теоретико-методична.

Purpose. To develop a methodology for prioritizing the provision of repair units with mobile maintenance and repair equipment, in which mandatory requirements cannot be compensated for by advantages in secondary criteria and subjective weighting coefficients are not applied.

Methods. The study employs systems and process approaches, threshold-based assessment of compatibility and safety, calculation of requirements and available throughput capacity, Pareto dominance, lexicographic ordering, and scenario analysis.

Results. A nine-stage methodological sequence is developed, comprising the description of the operational context, identification of typical maintenance and repair tasks, establishment of threshold requirements, calculation of capability deficits, formation of feasible configurations, assessment of marginal effects, lexicographic comparison, iterative allocation of equipment, and scenario-based verification of the results. The criteria are structured into four priority levels: critical functions; timeliness and throughput capacity; mobility and autonomy; and life-cycle costs. A hypothetical case demonstrates the need to maintain reserve capacity under adverse scenarios.

Theoretical implications. The principles of non-compensatory evaluation of alternatives are further developed by combining threshold-based feasibility, normalized capability deficits, and lexicographic ranking without using an integrated weighted score.

Practical implications. The methodology can be applied to justify procurement, additional equipment allocation, reallocation of mobile maintenance and repair equipment, and the development of equipment testing programs.

Originality/value. An iterative re-ranking procedure after each equipment allocation is proposed. The methodology ensures transparency in determining priorities, reproducibility of calculations, and the possibility of promptly revising decisions following changes in requirements, equipment readiness, or the composition of available assets, thereby improving the justification of managerial decisions within military maintenance and repair support systems.

Research limitations/future research. The study is limited by the lack of representative publicly available data on military maintenance and repair activities. Future research should focus on calibrating threshold values, validating the methodology, and automating the calculations.

Paper type: Theoretical and methodological paper.

Ключові слова рухомі засоби ремонту; ремонтно-відновлювальні органи; військова автомобільна техніка; мототехніка; пріоритет; пропускну спроможність; лексикографічне впорядкування.

Key words. Mobile Maintenance Assets; Repair and Recovery Units; Military Vehicles; Motorcycles; Priority; Throughput Capacity; Lexicographic Ordering.

Вступ

Своєчасне повернення техніки до виконання завдань залежить не лише від ремонтпридатності конкретного зразка, а й від наявності в ремонтно-відновлювального органу технологічно сумісного, мобільного та готового до застосування рухомого засобу технічного обслуговування і ремонту. У змішаному парку одночасно експлуатуються автомобілі різних вантажних класів, мотоцикли, електромотоцикли, квадроцикли, багі та інші легкі платформи. Кожна з цих груп потребує відповідних адаптерів, підйимального обладнання, засобів діагностування, шиномонтажного оснащення та визначеної номенклатури запасних частин. Тому однакова кількість ремонтних майстерень не означає однакового рівня ремонтної спроможності [12, 24].

Доктринальні підходи до підтримання операцій передбачають узгодження ремонту, евакуації, постачання, переміщення та інформаційного забезпечення, а технічні засоби мають розглядатися відповідно до їх функціонального призначення. Американська настанова з ремонтних операцій окремо наголошує на плануванні робочого навантаження, управлінні чергою та поверненні техніки до експлуатації, тоді як спільна доктрина Організації Північноатлантичного договору пов'язує ремонтну спроможність із загальною стійкістю логістичного забезпечення [5, 20].

Проблема визначення черговості оснащення виникає тоді, коли потреба перевищує доступний обсяг постачання. Одним із поширених підходів є зведення різномірних характеристик до інтегрального показника із застосуванням експертно визначених вагових коефіцієнтів. Однак такий підхід створює ризик небажаної компенсації: висока автономність або нижча вартість можуть математично компенсувати відсутність безпечного кріплення, технологічну несумісність із визначеним типом техніки чи недостатню пропускну спроможність. Дослідження з пріоритизації технічного обслуговування свідчать, що результати ранжування можуть бути чутливими до вибору вагових коефіцієнтів і способу агрегування критеріїв [16, 28].

Для військового ремонтного органу доцільнішим є застосування некомпенсаційної логіки. На першому етапі відсіюються конфігурації, які не відповідають обов'язковим вимогам. Далі порівнюється їхній внесок в усунення дефіцитів найвищого класу пріоритету, і лише за рівності результатів на цьому рівні аналізуються критерії наступних класів. Така постановка відповідає принципам лексикографічного впорядкування цілей і допускає поєднання з Парето-домінуванням у межах одного рівня пріоритету [13, 7].

Метою статті є розроблення методики вибору пріоритетів оснащення ремонтно-відновлювальних органів рухомими засобами технічного обслуговування та ремонту військової автомобільної та мототехніки. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання: формалізувати потребу у виконанні ремонтних робіт і наявну ремонтну спроможність; визначити обов'язкові умови придатності рухомих засобів; сформулювати класи пріоритету без застосування вагових коефіцієнтів; розробити алгоритм ітераційного розподілу засобів; перевірити його працездатність на умовному сценарії. Наукова новизна дослідження полягає у поєднанні порогового відбору, векторного оцінювання граничного ефекту та лексикографічного впорядкування для визначення пріоритетів оснащення ремонтно-відновлювальних органів, що забезпечують обслуговування змішаного автомобільно-мотоциклетного парку.

Огляд літератури

Українські дослідження формують кілька взаємодоповнювальних напрямів. Войтенко та Бабиш [33] розглядають планування технічного обслуговування і військового ремонту через узгодження переліку робіт та уніфікованих засобів. Кондратюк [12] показує невідповідність

частини наявного парку рухомих майстерень сучасній номенклатурі військової автомобільної техніки. Шишанов та ін. [29] пов'язують обґрунтування вимог до відновлюваності зі структурою системи, часом відновлення та ресурсним забезпеченням.

Оцінювання можливостей ремонтних органів досліджується як задача співвідношення потоку пошкоджених зразків і виробничої спроможності. Сампір [27] уточнює порядок оцінювання системи відновлення механізованої бригади, Старцев та ін. [30] формалізують можливості відновлення пошкодженої техніки, а Рікунов та ін. [26] звертають увагу на ремонт іноземних зразків і реальні обмеження виробничих можливостей. У цих працях закладено основу для кількісної оцінки дефіциту, але питання послідовного вибору саме конфігурацій рухомих засобів для автомобільної та мототехніки залишається окремо неформалізованим.

Розподіл пошкоджених зразків між спеціалізованими органами досліджено Майстренком та ін. [18]. Запропонований ними апарат враховує спеціалізацію виконавця і складність робіт, що підтверджує необхідність матриці «тип роботи - засіб - ремонтний орган». Раніше Майстренко та ін. [17] показали застосовність теорії масового обслуговування до виконання завдань військовим підрозділом. Для досліджуваної задачі це означає, що рішення про оснащення повинно оцінювати не тільки перелік інструментів, а й здатність опрацьовувати очікуваний потік заявок.

Сучасні публікації про рухомі засоби підтверджують потребу в модульності, уніфікованих інтерфейсах і пристосованості до різномірної техніки. Черешенко [2] систематизує напрями розвитку мобільних майстерень для автомобільної та мототехніки; Черненко та ін. [3] розглядають нові ремонтні майстерні як складову відновлення бронетанкової техніки; Партика [24] узагальнює вимоги до засобів ремонту й евакуації.

Питання технологічної гнучкості додатково розкривають дослідження тимчасових ремонтів у системах держав-членів НАТО та застосування адитивного виробництва для військового ремонту [31, 25]. Вони підтверджують, що оснащення має оцінюватися не ізольовано, а разом із технологічною документацією, підготовленим персоналом, контролем якості й системою постачання.

У цивільних системах управління активами сформовано значний масив методів пріоритизації. Ensafi et al. [6] виявили залежність пріоритету ремонтних заявок від повноти вихідних даних та досвіду диспетчерів. Consilvio et al. [4] запропонували поєднувати технічний стан і критичність наслідків. Nithin et al. [21] показали можливість автоматизувати частину рішень на основі даних, однак потреба у зрозумілій структурі критеріїв зберігається.

Підходи до планування ресурсів технічного обслуговування охоплюють компетентнісне призначення персоналу, наскрізну діагностику результативності та формування показників для цифрового середовища [1, 8, 14]. Їх спільною рисою є вимога простежуваності: кожний показник має походити з ідентифікованих технічних подій, а управлінське рішення - бути відтвореним.

Міжнародні стандарти доповнюють наукові підходи процесами життєвого циклу, управління активами та забезпечення ремонтпридатності. Система повинна узгоджувати вимоги зацікавлених сторін, перевірку сумісності, управління ризиками, конфігурацією і даними [10, 11, 9]. Отже, критерій пріоритету не може зводитися лише до ціни придбання або кількості робочих місць.

Проведений огляд виявив методичний розрив. Наявні військові праці описують потребу, можливості відновлення та спеціалізацію органів; дослідження з управління активами пропонують численні компенсаторні методи; стандарти визначають процесні вимоги. Водночас бракує методики, яка б послідовно відсікала непридатні конфігурації, розподіляла дефіцити за обов'язковими рівнями та формувала черговість оснащення без експертних ваг.

Методологія дослідження

Дослідження має теоретико-методичний характер. Об'єктом дослідження є процес оснащення ремонтно-відновлювальних органів рухомими засобами технічного обслуговування та ремонту. Предметом дослідження є сукупність моделей, критеріїв і процедур, на основі яких визначається черговість надання конкретної конфігурації рухомих засобів відповідному ремонтно-відновлювальному органу.

Ремонтний орган позначається індексом o , тип роботи – f , тип рухомого засобу – z , сценарій застосування – s . Змінна рішення $x_{o,z}$ є невід'ємним цілим числом і визначає кількість засобів типу z , призначених ремонтному органу o .

Вхідні дані поділено на п'ять груп: операційний контекст; структура парку; очікуваний потік робіт; характеристики кандидатних засобів; обов'язкові обмеження. Наведений числовий приклад є умовним і призначений виключно для перевірки внутрішньої несуперечливості запропонованих розрахунків.

Для усунення суб'єктивності під час визначення вагових коефіцієнтів застосовано дворівневу логіку оцінювання. На першому рівні використовується пороговий фільтр: невиконання хоча б однієї обов'язкової умови робить кандидата непридатним для виконання заданої ролі. На другому рівні допустимі кандидати порівнюються лексикографічно за ефектом усунення дефіцитів класів $H1$, $H2$, $H3$ і $H4$. У межах одного класу застосовується Парето-домінування. Якщо воно не дає змоги визначити єдиний варіант, послідовно застосовуються додаткові правила вибору між рівноцінними альтернативами.

Відтворюваність результатів забезпечується фіксованою послідовністю операцій, уніфікованими правилами нормування, документуванням джерела кожного показника та повторним виконанням розрахунків після кожного призначення. Загальну послідовність реалізації методики наведено на рисунку 1.

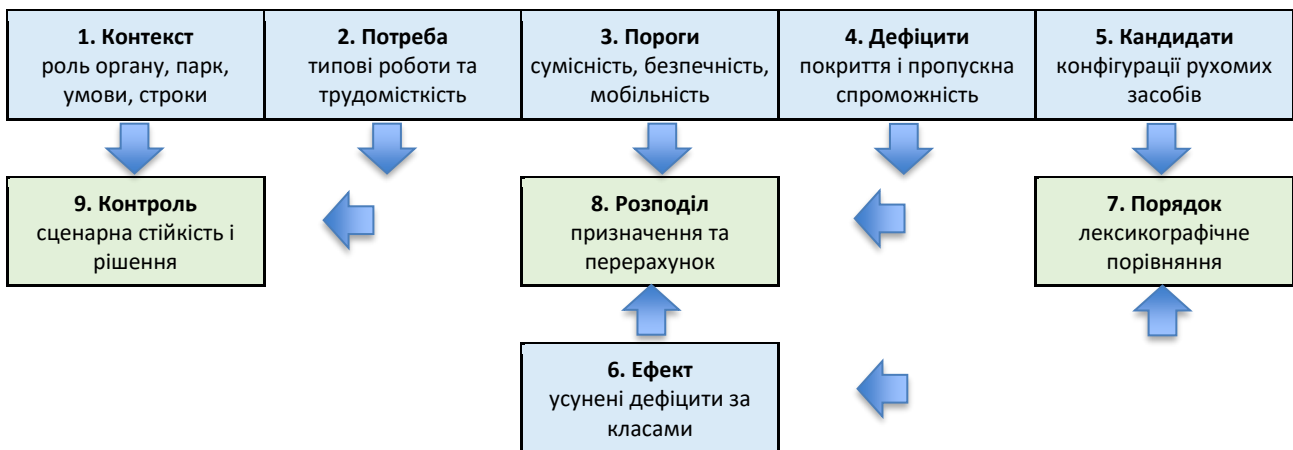


Рисунок 1: Послідовність вибору пріоритетів оснащення ремонтно-відновлювальних органів

Джерело: розроблено автором на основі підходів Войтенка та Бабича [33], Майстренка та ін. [18], NATO Standardization Office [20].

Склад і контроль вихідних даних, необхідних для повторення розрахунку, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1: Групи вихідних даних методики

Група	Основні дані	Джерело	Перевірка
Операційний контекст	роль органу, район і тривалість роботи, допустимий час реагування	завдання, програма випробувань	затвердження відповідальною посадовою особою

Група	Основні дані	Джерело	Перевірка
Парк	типи і кількість техніки, конструктивні інтерфейси, типові відмови	облік техніки, каталоги, журнали подій	усунення дублів і застарілих записів
Потік робіт	частота заявок, трудомісткість, строки, повторні роботи	наряди, заявки, акти виконання	зіставлення часу відкриття і закриття
Кандидатні засоби	функції, продуктивність, готовність обладнання, мобільність, автономність	формуляри, випробування, технічна документація	підтвердження однакових умов вимірювання
Обов'язкові обмеження	сумісність, безпечність, габарити, енергія, кваліфікація персоналу	технічні вимоги, настанови, стандарти	двійкова фіксація з доказом виконання

Джерело: систематизовано автором за ISO/IEC/IEEE [11], International Electrotechnical Commission [9] та Department of the Army [5].

Формалізація потреби та спроможності

Розрахункова потреба органу o у виконанні робіт типу f за період оцінювання визначається як сумарна трудомісткість потоку заявок:

$$Q_{of} = \sum_{t=1}^{T_s} \lambda_{oft} \cdot \tau_f, \quad (1)$$

- де Q_{of} – необхідна трудомісткість робіт типу f для органу o , нормо-год;
 λ_{oft} – прогнозована кількість заявок у часовому інтервалі t ;
 τ_f – нормативна або медіанна трудомісткість виконання однієї роботи, нормо-год;
 T_s – кількість часових інтервалів у межах сценарію s .

Формула (1) є авторською адаптацією підходу до розрахунку потоку робіт для розв'язання задачі оснащення [33, 17].

Наявна пропускна спроможність за відповідним видом робіт визначається з урахуванням кількості засобів, їх функціональної сумісності, фонду робочого часу, коефіцієнта використання та рівня готовності технологічного обладнання:

$$B_{of} = \sum_{z=1}^Z x_{oz} \cdot a_{zf} \cdot F_z \cdot K_{\text{вик},z} \cdot K_{\Gamma,z}. \quad (2)$$

- де B_{of} – наявна пропускна спроможність органу o щодо виконання робіт типу f ;
 x_{oz} – кількість засобів типу z , призначених органу o ;
 a_{zf} – ознака технологічної здатності засобу типу z виконувати роботу типу f ;
 F_z – фонд робочого часу засобу типу z ;
 $K_{\text{вик},z}$ – коефіцієнт використання фонду робочого часу;
 $K_{\Gamma,z}$ – коефіцієнт готовності критичного технологічного обладнання.

Формулу (2) розроблено автором на основі підходів до оцінювання виробничих можливостей ремонтних органів [30, 26].

Відношення наявної пропускної спроможності до потреби формує безрозмірний показник достатності:

$$R_{of} = \frac{B_{of}}{Q_{of}}, Q_{of} > 0. \quad (3)$$

де $K_{\text{д},of}$ – коефіцієнт достатності спроможності органу o щодо виконання робіт типу f .

Значення $K_{\partial,of} \geq 1$ означає розрахункове забезпечення потреби, тоді як значення $K_{\partial,of} < 1$ свідчить про наявність дефіциту спроможності. Формула (3) є авторським відносним показником, побудованим на основі зіставлення потреби у виконанні робіт із наявними можливостями ремонтного органу [27, 26].

Функціональне покриття обов'язкового переліку робіт визначається як частка функцій, для яких одночасно забезпечено технологічну можливість їх виконання та достатній рівень спроможності:

$$K_{\text{покp},o} = \frac{\sum_{f=1}^{|F|_o} b_{of}}{|F|_o}, b_{of} \in \{0; 1\}. \quad (4)$$

де $K_{\text{фп},o}$ – коефіцієнт функціонального покриття органу o ;

$N_{\text{об}}$ – кількість обов'язкових видів робіт;

двійкова змінна, що набуває значення 1, якщо виконання роботи типу f є

I_{of} – технологічно можливим і коефіцієнт достатності спроможності $K_{\partial,of} \geq 1$, та значення 0 – в іншому разі.

Формулу (4) сформовано автором за результатами декомпозиції функцій рухомих засобів технічного обслуговування і ремонту [12, 24].

Порогова придатність і класи пріоритету

До кількісного порівняння допускаються лише ті конфігурації, які відповідають усім обов'язковим умовам. Узагальнена ознака придатності визначається як мінімальне значення сукупності двійкових критеріїв:

$$C_{oz} = \min(c_{oz1}, c_{oz2}, \dots, c_{ozm}), c_{ozq} \in \{0; 1\}. \quad (5)$$

де C_{oz} – показник придатності засобу типу z для органу o ;

c_q – результат q -ї обов'язкової перевірки за критеріями сумісності, безпечності, умов розгортання, енергозабезпечення або підготовленості персоналу;

m – кількість обов'язкових перевірок.

Якщо $C_{oz} = 0$, відповідний варіант вважається непридатним і виключається з подальшого розгляду незалежно від його інших переваг. Формула (5) є авторською пороговою формалізацією системи обов'язкових обмежень [11, 32].

Нормований дефіцит спроможності для кожної функції обчислюється без застосування експертно визначених вагових коефіцієнтів:

$$d_{of} = \max\{0; 1 - R_{of}\}. \quad (6)$$

де D_{of} – частка непокритої потреби за роботою типу f .

Значення $D_{of} = 0$ означає відсутність дефіциту, а значення $0 < D_{of} \leq 1$ характеризує його відносну величину. Формулу (6) запропоновано автором як нормоване представлення результату, отриманого за формулою (3), що дає змогу порівнювати дефіцити за різнорідними видами робіт.

Для уникнення прихованої компенсації між функціональними показниками їх розподілено за класами пріоритету $H1-H4$. Клас $H1$ охоплює обов'язкові функції, без реалізації яких ремонтний орган не може виконувати визначену роль; $H2$ – дефіцити своєчасності та пропускну спроможності; $H3$ – забезпечувальні властивості; $H4$ – витратні характеристики, які враховуються лише після задоволення вимог класів вищого пріоритету. Склад класів пріоритету наведено в таблиці 2.

Таблиця 2: Класи критеріїв для лексикографічного порівняння

Клас	Зміст	Показники	Правило
Фільтр	юридична, технічна і безпекова допустимість	C_{oz}	$C_{oz} = 1$; інакше кандидат виключається

Клас	Зміст	Показники	Правило
H1	відновлення критичних функцій парку	кількість і частка усунених критичних дефіцитів	має безумовну перевагу над нижчими класами
H2	своєчасність і пропускна спроможність	R_{of} , мінімальний резерв, час завершення заявки	порівнюється після рівності за H1
H3	мобільність, автономність, розгортання, інформаційна сумісність	час прибуття, тривалість автономної роботи, повнота даних	порівнюється після рівності за H1 і H2
H4	витрати життєвого циклу і складність забезпечення	вартість, номенклатура запасів, потреба у персоналі	критерій розв'язання нічиєї

Джерело: розроблено автором за принципами Lai et al. [13], Gaspars-Wieloch and Gawroński [7] та ISO/IEC/IEEE [11].

Візуальне представлення некомпенсаційної ієрархії наведено на рисунку 2.

Обов'язковий фільтр	Сумісність, безпечність, призначення	$C_{oz} = 1$
Рівень H1	Відновлення критичних функцій парку	спочатку усуваються дефіцити H1
Рівень H2	Своєчасність і пропускна спроможність	далі усуваються дефіцити H2
Рівень H3	Мобільність, автономність, розгортання	порівнюються лише допустимі варіанти
Рівень H4	Витрати життєвого циклу	використовуються як критерій розв'язання нічиєї

Рисунок 2: Некомпенсаційна ієрархія критеріїв пріоритету

Джерело: розроблено автором на основі принципів порогового відбору та Парето-лексикографічного впорядкування [13, 7].

Оцінювання граничного ефекту та порядок вибору

Після порогового відбору для кожного допустимого кандидата визначається граничне зменшення дефіциту в межах кожного класу пріоритету. Для класу h цей показник визначається як сума змін нормованих дефіцитів, що виникають унаслідок умовного додавання одного засобу відповідного типу. Граничний ефект кандидата визначається за формулою:

$$\Delta_{oz}^h = \sum_{f \in F_h} [d_{of}(x) - d_{of}(x + e_{oz})]. \quad (7)$$

де Δ_{oz}^h – граничний ефект кандидата z для органу o щодо усунення дефіцитів класу пріоритету h ;
 F_h – множина робіт класу h ;
 x – поточний план розподілу;
 e_{oz} – одиничне збільшення кількості засобів типу z в органі o ;
 h – клас пріоритету, зокрема **H1**, **H2**, **H3**, **H4**.

Формула (7) розроблена автором на основі принципу оцінювання зміни дефіциту після призначення ресурсу [4, 18].

Для ранжування кандидатів формується вектор пріоритету, який не згортається до єдиного інтегрального бала, а зберігає ієрархічну послідовність рівнів пріоритету:

$$\Pi_{oz} = \langle C_{oz}; \Delta_{oz}^1; n_{oz}^1; \Delta_{oz}^2; n_{oz}^2; r_{min,oz}; -t_{poz,oz}; -LCC_{oz} \rangle. \quad (8)$$

де V_{oz} – вектор пріоритету кандидата z для органу o ;

$\Delta H1_{,oz}$ – величина зменшення дефіциту у класі пріоритету $H1$;

$\Delta H2_{,oz}$ – величина зменшення дефіциту у класі пріоритету $H2$;

$N_{ус,H1,oz}$ – кількість повністю усунених дефіцитів у класі пріоритету $H1$;

$N_{ус,H2,oz}$ – кількість повністю усунених дефіцитів у класі пріоритету $H2$;

$r_{min,oz}$ – мінімальне відношення спроможності до потреби після призначення засобу;

$t_{poz,oz}$ – час розгортання;

LCC_{oz} – оцінка витрат життєвого циклу.

Від'ємні знаки перед окремими компонентами вектора означають, що для відповідного критерію менше значення є кращим. Формула (8) є авторською конкретизацією вектора цільових показників для задачі ремонтного забезпечення.

Лексикографічна перевага кандидата A над кандидатом B визначається за першою компонентною вектора пріоритету, для якої значення кандидатів відрізняються:

$$A >_L B \Leftrightarrow \pi_k(A) > \pi_k(B), k = \min\{i: \pi_i(A) \neq \pi_i(B)\}. \quad (9)$$

де $>_L$ – відношення лексикографічної переваги;

π_i – i -та компонента вектора пріоритету;

k – номер першої компоненти, за якою порівнювані вектори відрізняються.

Формулу (9) адаптовано автором до задачі оснащення на основі теорії змішаних Парето-лексикографічних задач [13].

За формулою (10) визначається мінімальна кількість засобів, необхідна для усунення дефіциту. Якщо дефіцит за певною функцією планується усунути за рахунок однотипних засобів, їх мінімальна кількість визначається шляхом округлення розрахункового значення в більший бік:

$$N_{ozf} = \left\lceil \frac{\max(Q_{of} - B_{of}; 0)}{a_{zf} F_z K_{вик,z} K_{r,z}} \right\rceil. \quad (10)$$

де $n_{min,rzf}$ – мінімальна кількість засобів типу z , необхідна для усунення дефіциту в органі r за роботою типу f ;

B^{rf} – наявна спроможність органу r щодо виконання роботи типу f ;

a_{zf} – ознака технологічної здатності засобу типу z виконувати роботу типу f ;

F_z – фонд робочого часу засобу типу z ;

$K_{вик,z}$ – коефіцієнт використання фонду робочого часу;

$K_{r,z}$ – коефіцієнт готовності критичного технологічного обладнання.

Формула (10) є авторською адаптацією підходу до розрахунку кількості постів з урахуванням виробничої спроможності [33, 26].

Після кожного призначення матриця Bof оновлюється, дефіцити перераховуються, а кандидати повторно ранжуються. Такий ітераційний підхід запобігає надмірній концентрації засобів в одному ремонтному органі за наявності незабезпеченої критичної функції в іншому. Ітераційний контур реалізації методики наведено на рисунку 3.

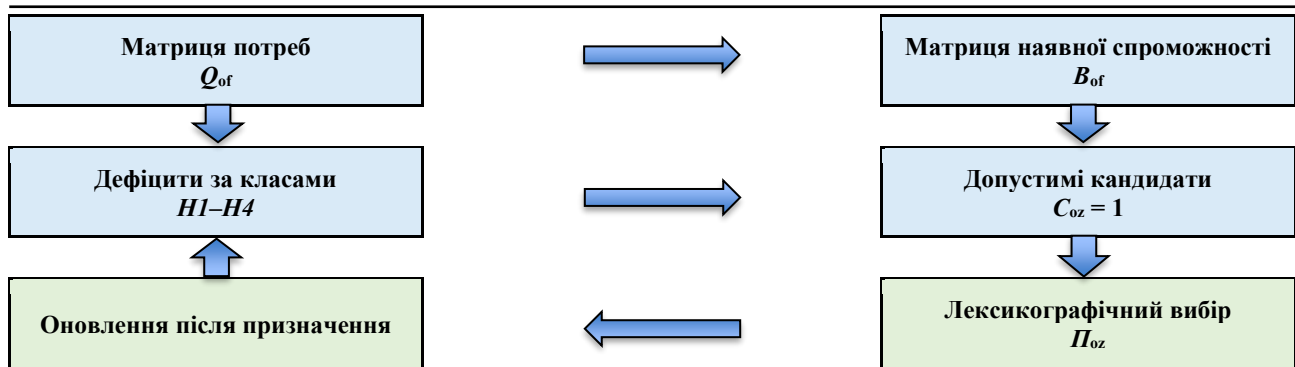


Рисунок 3: Ітераційний контур розподілу рухомих засобів

Джерело: розроблено автором на основі методів розподілу ремонтних завдань [18, 26].

Результати дослідження

Структура методики

Результатом дослідження є методика з дев'яти етапів, кожний з яких має визначений вхід, вихід і критерій переходу. Її застосування починається не з порівняння каталогів майстерень, а з опису ролі ремонтного органу й профілю робіт. Такий порядок запобігає ситуації, коли технічно досконалий засіб оцінюється поза контекстом завдань. Етапи наведено в таблиці 3.

Таблиця 3: Етапи застосування методики

Етап	Зміст робіт	Результат	Критерій переходу
1. Контекст	визначити роль органу, парк, умови та часові обмеження	паспорт сценарію	межі задачі погоджено
2. Роботи	сформувати перелік типових і критичних робіт	матриця «техніка - робота»	кожна робота має джерело потреби
3. Пороги	установити сумісність, безпечність, мобільність і автономність	перелік двійкових перевірок	пороги вимірювані
4. Дефіцити	обчислити Q_{of} , B_{of} , R_{of} і d_{of}	матриця дефіцитів	дані повні та зіставні
5. Кандидати	описати конфігурації та ресурси засобів	матриця «засіб - функція»	відомості підтверджено
6. Ефект	обчислити граничне зменшення дефіцитів	вектори P_{oz}	кожний ефект відтворюваний
7. Порядок	застосувати пороговий фільтр і лексикографічне порівняння	ранжований перелік	не залишилось невіршених нічиїх
8. Розподіл	призначити перший засіб і перерахувати дефіцити	оновлений план x	досягнуто порогів або вичерпано ресурс
9. Контроль	перевірити рішення за альтернативними сценаріями	висновок про стійкість	ризики й резерв задокументовано

Джерело: розроблено автором на основі Department of the Army [5], NATO Standardization Office [20] та Maistrenko et al. [18].

Методика передбачає чотири типові конфігурації, однак не обмежує їх номенклатуру. Кандидатом може бути як повноцінна майстерня, так і окремий модуль, що інтегрується з

наявною платформою. Початковий склад конфігурацій доцільно формувати відповідно до таблиці 4.

Таблиця 4. Типові кандидатні конфігурації рухомих засобів

Конфігурація	Основне призначення	Перевага	Обмеження
Універсальна автомобільно-мотоциклетна майстерня	діагностування, механічні, електротехнічні, шинні та енергетичні роботи	широке функціональне покриття	більша маса, час розгортання і потреба у персоналі
Легкий мотоадаптивний модуль	шини, електрика, приводи, регулювання й заміна типових вузлів мототехніки	швидке розгортання і спеціалізована оснастка	не виконує складний агрегатний ремонт
Діагностично-електротехнічний модуль	пошук несправностей, вимірювання, пускозарядні та кабельні роботи	зменшує час локалізації відмови	потребує актуальних адаптерів і калібрування
Контейнерно-модульний пункт	тривала робота з нарощеною кількістю постів	висока продуктивність на підготовленому майданчику	обмежена оперативна рухомість після розгортання
Ремонтно-евакуаційна група	технічна розвідка, евакуація та відновлення на визначеному рівні	узгодження ремонту з переміщенням нерухомої техніки	залежність від плеча евакуації та взаємодії елементів

Джерело: систематизовано автором за Кондратюком [12], Партикою [24], Švásta [31].

Умовна апробація методики

Для демонстрації прийнято один умовний ремонтний орган змішаного парку. Потреба задана за шістьма функціями, а наявна спроможність навмисно є недостатньою. Функції діагностування, механічного та електротехнічного ремонту віднесено до *H1*; шиномонтажні, мотоадаптивні та енергетично-зварювальні роботи – до *H2*. Усі величини є умовними нормо-годинами за один розрахунковий період.

Таблиця 5. Початкові дефіцити умовного ремонтного органу

Функція	Клас	Q_{of}	B_{of}	R_{of}	d_{of}
Діагностування	<i>H1</i>	70	56	0.80	0.20
Механічні роботи	<i>H1</i>	90	72	0.80	0.20
Електротехнічні роботи	<i>H1</i>	45	36	0.80	0.20
Шиномонтажні роботи	<i>H2</i>	30	24	0.80	0.20
Мотоадаптивні роботи	<i>H2</i>	40	16	0.40	0.60
Енергетично-зварювальні роботи	<i>H2</i>	35	28	0.80	0.20

Примітка: Числові значення є умовними та не характеризують конкретний підрозділ або реальну інтенсивність відмов.

Джерело: розраховано автором за формулами (1)-(6).

На першій ітерації пороговий фільтр виключив контейнерно-модульний пункт, оскільки він не виконав обов'язкову вимогу оперативної мобільності для заданої ролі. Серед допустимих кандидатів універсальна майстерня повністю усунула три дефіцити $H1$ і тому отримала перший пріоритет, хоча мотоадаптивний модуль мав коротший час розгортання та нижчу умовну вартість. Результати першої ітерації наведено в таблиці 6.

Таблиця 6: Лексикографічне ранжування кандидатів на першій ітерації

Кандидат	C_{oz}	$\Delta H1$	$nH1$	$\Delta H2$	$nH2$	r_{min}	Ранг
Універсальна майстерня	1	0.60	3	0.65	2	0.65	1
Мотоадаптивний модуль	1	0.53	2	0.80	2	0.80	2
Ремонтно-евакуаційна група	1	0.52	1	0.43	1	0.50	3
Діагностично-електротехнічний модуль	1	0.40	2	0.20	0	0.60	4
Контейнерно-модульний пункт	0	0.60	3	0.90	2	0.90	виключено

Примітка: Ранг встановлено послідовно за C_{oz} , $\Delta H1$, $nH1$, $\Delta H2$, $nH2$, мінімальним резервом, часом розгортання та витратами.

Джерело: розраховано автором за формулами (5)-(9).

Після призначення універсальної майстерні невиконаною залишилася мотоадаптивна функція: її коефіцієнт достатності становив 0,65. Повторний розрахунок поставив на перше місце мотоадаптивний модуль. Після другого призначення мінімальне значення R_{of} зросло до 1.43, а $K_{покp}$ досяг 1,00. Це демонструє, чому ранжування потрібно повторювати після кожного кроку: одноразовий список не врахував би зміну граничної корисності засобів.

Перевірка сценарної стійкості

Стійкість плану оцінюється за найменшим нормованим резервом у множині контрольних сценаріїв. За формулою (11) ми визначимо найгірший сценарний резерв. Для кожного сценарію змінюються тільки вхідні параметри потреби або готовності, а порядок формул залишається незмінним:

$$J_{min} = \min\{R_{of}^s : s \in S, f \in F_{обов}\}. \quad (11)$$

де J_{min} – показник найгіршого сценарного резерву;
 R_{of}^s – коефіцієнт достатності функції f в органі o за сценарію s ;
 S – множина контрольних сценаріїв;
 $F_{обов}$ – множина обов'язкових функцій.

Якщо $J_{min} \geq 1$, обрана конфігурація покриває всі обов'язкові функції в усіх розглянутих сценаріях; якщо $J_{min} < 1$ виявлено обмежувальну функцію, для якої потрібен організаційний, матеріальний або функціональний резерв.

Формула (11) є авторською мінімаксною перевіркою, що не потребує ваг і зберігає увагу до найслабшої функції [7].

Таблиця 7: Сценарна перевірка обраної конфігурації

Сценарій	J_{min}	Обмежувальна функція	Висновок
Базовий	1.43	Механічні роботи	стійке

Сценарій	J_{min}	Обмежувальна функція	Висновок
Зростання мотоциклетних заявок	1.16	Мотоадаптивні роботи	стійке
Зростання автомобільних заявок	1.19	Механічні роботи	стійке
Зниження готовності обладнання	1.22	Механічні роботи	стійке
Комбінований несприятливий	0.99	Мотоадаптивні роботи	потрібен резерв

Примітка: За комбінованого сценарію одночасно збільшено попит на шинні й мотоадаптивні роботи та знижено готовність обладнання до 0,85.

Джерело: розраховано автором за формулами (2), (3) та (11).

За базового та однофакторних сценаріїв обрана конфігурація зберігає порогову придатність. У комбінованому несприятливому сценарії J_{min} становить 0.99, тому рішення потребує організаційного або матеріального резерву. Ним може бути змінний комплект мотооснастки, взаємне підсилення сусіднім органом, резервний пост або гарантований термін відновлення критичного обладнання. Методика не наказує автоматично закуповувати ще один повний засіб, а локалізує конкретну обмежувальну функцію для наступного рішення.

Обговорення

Запропонований підхід відрізняється від компенсаторних методів тим, що не передбачає формування прихованого обмінного співвідношення між безпечністю, критичними функціями, мобільністю та вартістю. У дослідженнях Mahmoodian et al. [16] та Shahrivar et al. [28] застосування вагових коефіцієнтів дає змогу отримати зручний скалярний рейтинг, однак результат такого ранжування залежить від процедури експертного оцінювання. Для військового ремонтного органу така залежність є небажаною у випадках, коли частина вимог має характер обов'язкових обмежень.

Лексикографічна модель також не є універсальною. Її результати залежать від коректності формування класів пріоритету H1–H4. Якщо до класу H1 помилково віднести другорядну функцію, вона може блокувати суттєві переваги альтернатив за критеріями нижчих рівнів. Тому склад класів доцільно визначати на основі формалізованих вимог, критеріїв критичності та простежуваного зв'язку з функціональним призначенням ремонтного органу, переліком обов'язкових робіт і наслідками їх невиконання. Експертне оцінювання в такій процедурі може використовуватися як допоміжний інструмент, але не повинно підміняти формалізоване обґрунтування належності функцій до відповідних класів. Принципи системної інженерії та управління вимогами забезпечують необхідну простежуваність таких рішень [11, 32].

Порівняння з українськими методиками оцінювання ремонтно-відновлювальних можливостей свідчить про методичну спадкоємність у розрахунку потоку робіт і виробничих можливостей. Водночас відмінність запропонованого підходу полягає у перенесенні акценту з оцінювання вже сформованої системи на обґрунтування вибору самого складу засобів. Результати Рікунова та ін. [26] і Майстренка та ін. [18] обґрунтовують необхідність урахування спеціалізації та пропускнуєї спроможності, тоді як запропонована методика інтегрує ці характеристики у послідовний алгоритм визначення пріоритетів оснащення.

Урахування мотоадаптивної функції має практичне значення через конструктивні особливості легкої мототехніки, зокрема типорозміри шин, особливості точок піднімання та

фіксації, наявність ланцюгових і ремінних приводів, малогабаритних електричних систем і контролерів електротранспорту. Універсальна автомобільна майстерня може мати високу загальну продуктивність, однак без спеціалізованого комплексу обладнання не забезпечуватиме повного функціонального покриття відповідних робіт. Саме такий тип дефіциту було продемонстровано в умовному розрахунковому прикладі.

Цифровий облік у запропонованій методиці розглядається не як окремий допоміжний модуль, а як необхідна умова регулярного перерахунку показників. Дані про тип заявки, час очікування, трудомісткість робіт, причини повторного виконання робіт, використані матеріальні запаси та прості обладнання дають змогу актуалізувати параметри λ_{off} , t_f та $K_{r,z}$. Висновки Ge et al. [8] і Lambán et al. [14] узгоджуються з доцільністю наскрізного моніторингу та діагностики показників, тоді як Nunes et al. [22] звертають увагу на ризики переходу до складної аналітики за недостатньої якості вихідних даних.

Обмеження дослідження пов'язані з відсутністю у відкритому доступі репрезентативних масивів даних про події військового ремонту, відмінностями між організаційними структурами ремонтних органів і мінливістю умов їх застосування. Тому наведений умовний приклад не доводить переваги конкретної серійної майстерні, а лише демонструє працездатність запропонованої логіки та внутрішню несуперечливість розрахункового алгоритму. Перед практичним застосуванням методики необхідними є валідація переліку робіт, контроль якості вихідних даних, порівняльні випробування кандидатних засобів в однакових умовах, а також забезпечення належного захисту чутливої інформації.

Практичне впровадження методики доцільно здійснювати у формі електронної розрахункової матриці, в якій кожен показник і результат обчислення пов'язаний із відповідним первинним записом, а зміна сценарію не потребує ручного коригування системи критеріїв. При цьому автоматизація не повинна підміняти рішення відповідальної посадової особи. Інформаційна система має забезпечувати відтворюваний порядок розрахунків, відображати наявні обмеження та пояснювати логіку ранжування, однак оцінювання оперативного контексту і прийняття остаточного рішення залишаються у сфері відповідальності уповноваженої особи.

Висновки

Обґрунтовано, що вибір пріоритетів оснащення ремонтно-відновлювальних органів доцільно здійснювати як некомпенсаційну задачу. Сумісність, безпечність і відповідність функціональному призначенню мають розглядатися як порогові умови, невиконання яких не може бути компенсоване вищою продуктивністю, автономністю або нижчою вартістю засобу.

Розроблено формалізацію потреби, наявної спроможності, функціонального покриття, дефіциту та граничного ефекту кандидата. Запропонований підхід дає змогу порівнювати різномірні види робіт у безрозмірній формі без застосування експертно визначених вагових коефіцієнтів.

Запропоновано лексикографічний вектор пріоритету з послідовністю критеріїв: “придатність — усунення дефіцитів класу $H1$ — усунення дефіцитів класу $H2$ — мінімальний резерв спроможності — час розгортання — витрати життєвого циклу”. Така структура забезпечує прозорість формування рангу кожного кандидата та створює передумови для аудиту й відтворення результатів ранжування.

Результати умовної апробації підтвердили необхідність ітераційного перерахунку пріоритетів. Після призначення універсальної майстерні пріоритет змінився на користь мотоадаптивного модуля, оскільки саме він забезпечував усунення залишкового дефіциту. Отже, одноразове ранжування не відображає зміни структури дефіцитів після кожного наступного призначення.

Сценарна перевірка показала, що формально достатній базовий комплект може

втрачати здатність забезпечувати необхідний рівень спроможності за одночасного збільшення потоку заявок на обслуговування і ремонт мототехніки та зниження готовності технологічного обладнання. Тому рішення щодо оснащення має передбачати не лише перелік необхідних засобів, а й резервні заходи реагування на погіршення умов функціонування системи.

Перспективами подальших досліджень є калібрування порогових значень на основі знеособлених фактичних даних, розроблення довірчих інтервалів для параметрів λ_{oft} і τ_f , урахування просторового переміщення рухомих ремонтних засобів, а також створення програмного модуля для автоматизованого перерахунку пріоритетів оснащення.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Використання штучного інтелекту

Під час підготовки рукопису застосовувалися інструменти генеративного штучного інтелекту для структурування матеріалу та мовно-стилістичного редагування. Автором самостійно перевірено джерела, фактичні дані, формули, наукові положення та висновки. Відповідальність за зміст роботи несе автор.

Список використаних джерел

1. Войтенко С. С., Бабич О. О. Метод планування технічного обслуговування і військового ремонту озброєння та військової техніки в сучасних умовах. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2021. № 3(69). С. 50 – 54. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.06>
2. Єманов В. В. Проблемні питання систем експлуатації та відновлення автобронетанкової техніки Національної гвардії України. Честь і закон. 2022. № 2(81). С. 63 – 71. URL: https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF%2FChiz_2022_2_11.pdf&P21DBN=UJRN (дата звернення: 30.07.2026).
3. Кондратюк І. В. Аналіз розвитку рухомих засобів технічного обслуговування та ремонту військової автомобільної техніки. Social Development and Security. 2021. Т. 11, № 1. С. 52 – 69. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.1.6>
4. Ланецький Б. М., Коваль І. В., Лук'янчук В. В., Попов В. П., Трофіменко Ю. В. Методичний підхід щодо встановлення критеріїв технічного стану складних технічних систем. Системи озброєння і військова техніка. 2022. № 3(71). С. 35 – 42. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.05>
5. Майстренко О., Рижов Є., Хаустов Д., Цбуля С., Настішин Ю. Модель прийняття рішень щодо виконання завдань військовим підрозділом у термінах теорії масового обслуговування. Military Operations Research. 2021. Vol. 26, No. 1. Р. 59 – 69. DOI: <https://doi.org/10.5711/1082598326159>
6. Майстренко О. та ін. Розроблення науково-методичного апарату доцільного розподілу пошкодженого озброєння між спеціалізованими ремонтно-відновлювальними органами. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 2, No. 4(128). Р. 13 – 22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299969>
7. Партика С. П. Рухомі засоби технічного обслуговування та ремонту техніки як основна складова системи ремонту. Збірник наукових праць Національної академії Державної

- прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. 2025. Т. 97, № 4. С. 111 – 119. DOI: <https://doi.org/10.32453/3.v97i4.1602>
8. Рікунов О., Смагін О., Бісик В. Удосконалення методики оцінювання можливостей ремонтно-відновлювальних органів військових частин Національної гвардії України з проведення ремонту пошкоджених зразків озброєння та військової техніки. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2024. № 1(43). С. 101 – 105. DOI: <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/1/43/307908>
9. Сампір О. Удосконалена методика оцінювання системи відновлення озброєння та військової техніки окремої механізованої бригади. Social Development and Security. 2021. Т. 11, № 5. С. 165 – 178. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.16>
10. Старцев В., Третяк В., Михальова Л., Коломійцев О., Борщ В., Олійник Р. Основні положення методики оцінювання можливостей відновлення пошкодженого під час бойових дій озброєння та військової техніки Повітряних Сил України. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. № 3(13). С. 110 – 120. DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.13.2022.12>
11. Черешенко Б. В. Аналіз мобільних засобів технічного обслуговування і ремонту автомобільної та мототехніки у сучасних бойових умовах. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2025. № 2(24). DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2025.24.2>
12. Черненко П. В., Ніконенко А. М., Парій С. Г. Сучасні рухомі ремонтні майстерні автобронетанкової техніки – ключ до перемоги у війні. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2026. Т. 37(76), № 1. С. 402 – 408. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.1/50>
13. Шишанов М. О., Кондратюк І. В., Веретнов А. О. Методичні основи комплексного обґрунтування вимог до відновлювальності складних технічних систем. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2021. Т. 40, № 1. С. 85 – 94. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-85-94>
14. Ansari F., Kohl L., Sihn W. A competence-based planning methodology for optimizing human resource allocation in industrial maintenance. CIRP Annals. 2023. Vol. 72, No. 1. P. 389 – 392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2023.04.050>
15. Consilvio A., Vignola G., López Arévalo P., Gallo F., Borinato M., Crovetto C. A data-driven prioritisation framework to mitigate maintenance impact on passengers during metro line operation. European Transport Research Review. 2024. Vol. 16. Article 6. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00631-z>
16. Department of the Army. ATP 4-33: Maintenance Operations. Washington, DC : Headquarters, Department of the Army, 2024. URL: https://rdl.train.army.mil/catalog-aws/view/100.ATSC/B69FE202-B5E5-40CA-A376-67F23E6A2FE7-1398186941825/ATP4_33.pdf (дата звернення: 30.07.2026).
17. Ensafi M., Thabet W., Afsari K., Yang E. Challenges and gaps with user-led decision-making for prioritizing maintenance work orders. Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 66. Article 105840. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105840>
18. Gaspars-Wieloch H., Gawroński D. How can one improve SAW and max-min multi-criteria rankings based on uncertain decision rules? Operations Research and Decisions. 2024. Vol. 34, No. 1. P. 131 – 148. DOI: <https://doi.org/10.37190/ord240107>
9. Ge J., Sigsgaard K. V., Andersen B. S., Mortensen N. H., Agergaard J. K., Hansen K. B. An adaptable end-to-end maintenance performance diagnostic framework. International Journal of Quality & Reliability Management. 2024. Vol. 41, No. 2. P. 732 – 753. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2022-0071>

20. International Electrotechnical Commission. IEC 60300-3-10:2025. Dependability management - Part 3-10: Application guide - Maintainability and maintenance. Geneva : IEC, 2025. 149 p. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/65334> (дата звернення: 30.07.2026).
21. International Organization for Standardization. ISO 55000:2024. Asset management - Vocabulary, overview and principles. Geneva : ISO, 2024. URL: <https://www.iso.org/standard/83053.html> (дата звернення: 30.07.2026).
22. ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and software engineering - System life cycle processes. Geneva : ISO, 2023. 116 p. URL: <https://www.iso.org/standard/81702.html> (дата звернення: 30.07.2026).
23. Lai L., Fiaschi L., Cococcioni M., Deb K. Solving mixed Pareto-lexicographic multiobjective optimization problems: The case of priority levels. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2021. Vol. 25, No. 5. P. 971-985. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2021.3068816>
24. Lambán M. P., Morella P., Royo J., Sánchez J. C. Using Industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. Computers & Industrial Engineering. 2022. Vol. 171. Article 108400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108400>
25. Mahmoodian M., Shahrivar F., Li C. Maintenance prioritisation of irrigation infrastructure using a multi-criteria decision-making methodology under a fuzzy environment. Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 22. Article 14791. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142214791>
26. Mirnenko V., Yablonsky P., Tyurin V., Salii A., Avramenko O., Kasianenko M. Determination of efficiency of weapon systems maintenance as condition for DM distribution. Advances in Military Technology. 2022. Vol. 17, No. 2. P. 325-339. DOI: <https://doi.org/10.3849/aimt.01463>
27. NATO Standardization Office. AJP-4: Allied Joint Doctrine for Sustainment of Operations. Edition C, Version 1. Brussels : NATO Standardization Office, 2025. 134 p. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/allied-joint-doctrine-for-sustainment-of-operations-ajp-4> (дата звернення: 30.07.2026).
28. Nithin A. H., Hobbs M., Sriramula S., Sripada Y. An approach to improve asset maintenance and management priorities using machine learning techniques. Safety and Reliability. 2022. Vol. 41, No. 3. P. 151-169. DOI: <https://doi.org/10.1080/09617353.2022.2142011>
29. Nunes P., Santos J., Rocha E. Challenges in predictive maintenance - A review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2023. Vol. 40. P. 53-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.004>
30. Openko P., Mirnenko V. I., Turin V. V., Myronuk M. Yu., Doska O. M., Bulay A. M. Calculation method modification of spare parts quantity to restore operability of weapon systems. Advances in Military Technology. 2021. Vol. 16, No. 1. P. 121-132. DOI: <https://doi.org/10.3849/aimt.01479>
31. Rautio S., Valtonen I. Supporting military maintenance and repair with additive manufacturing. Journal of Military Studies. 2022. Vol. 11, No. 1. P. 23-36. DOI: <https://doi.org/10.2478/jms-2022-0003>
32. Shahrivar F., Mahmoodian M., Li C. Q. Comparative analysis of fuzzy multi-criteria decision-making methods in maintenance prioritisation of infrastructure assets. International Journal of Critical Infrastructures. 2022. Vol. 18, No. 2. P. 172-195. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJCIS.2022.123422>
33. Švásta A. Possibilities of implementation of the system of temporary repairs into the maintenance system in NATO armies. 2023 International Conference on Military Technologies. Brno : IEEE, 2023. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMT58149.2023.10171269>

34. U.S. Department of Defense. Systems Engineering Guidebook. Washington, DC : Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering, 2022. 240 p. URL: https://ac.cto.mil/wp-content/uploads/2022/05/Systems-Eng-Guidebook_Feb2022-Cleared.pdf (дата звернення: 30.07.2026).

References

1. Ansari, F., Kohl, L., & Sihn, W. (2023). A competence-based planning methodology for optimizing human resource allocation in industrial maintenance. *CIRP Annals*, 72(1), 389-392. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2023.04.050>
2. Chereushenko, B. V. (2025). Analiz mobilnykh zasobiv tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu avtomobilnoi ta mototekhniki u suchasnykh boiovykh umovakh [Analysis of mobile maintenance and repair assets for automotive and motorcycle vehicles in modern combat conditions]. *Collection of Scientific Works of Odesa Military Academy*, 2(24). <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2025.24.2>
3. Chernenko, P. V., Nikonenko, A. M., & Parii, S. H. (2026). Suchasni rukhomi remontni maisterni avtobronetankovoi tekhniki - kluch do peremohy u viini [Modern mobile armoured vehicle repair workshops as a key to victory]. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences*, 37(76)(1), 402-408. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.1/50>
4. Consilvio, A., Vignola, G., López Arévalo, P., Gallo, F., Borinato, M., & Crovetto, C. (2024). A data-driven prioritisation framework to mitigate maintenance impact on passengers during metro line operation. *European Transport Research Review*, 16, 6. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00631-z>
5. Department of the Army. (2024). ATP 4-33: Maintenance operations. Headquarters, Department of the Army. https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/B69FE202-B5E5-40CA-A376-67F23E6A2FE7-1398186941825/ATP4_33.pdf
6. Ensafi, M., Thabet, W., Afsari, K., & Yang, E. (2023). Challenges and gaps with user-led decision-making for prioritizing maintenance work orders. *Journal of Building Engineering*, 66, 105840. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105840>
7. Gaspars-Wieloch, H., & Gawroński, D. (2024). How can one improve SAW and max-min multi-criteria rankings based on uncertain decision rules? *Operations Research and Decisions*, 34(1), 131-148. <https://doi.org/10.37190/ord240107>
8. Ge, J., Sigsgaard, K. V., Andersen, B. S., Mortensen, N. H., Agergaard, J. K., & Hansen, K. B. (2024). An adaptable end-to-end maintenance performance diagnostic framework. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(2), 732-753. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2022-0071>
9. International Electrotechnical Commission. (2025). IEC 60300-3-10:2025: Dependability management - Part 3-10: Application guide - Maintainability and maintenance. <https://webstore.iec.ch/en/publication/65334>
10. International Organization for Standardization. (2024). ISO 55000:2024: Asset management - Vocabulary, overview and principles. <https://www.iso.org/standard/83053.html>
11. ISO/IEC/IEEE. (2023). ISO/IEC/IEEE 15288:2023: Systems and software engineering - System life cycle processes. <https://www.iso.org/standard/81702.html>
12. Kondratiuk, I. V. (2021). Analiz rozvytku rukhomykh zasobiv tekhnichnoho obsluhovuvannya ta remontu viiskovoi avtomobilnoi tekhniki [Analysis of the development of mobile maintenance and repair assets for military vehicles]. *Social Development and Security*, 11(1), 52-69. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.1.6>

13. Lai, L., Fiaschi, L., Cococcioni, M., & Deb, K. (2021). Solving mixed Pareto-lexicographic multiobjective optimization problems: The case of priority levels. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 25(5), 971-985. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2021.3068816>
14. Lambán, M. P., Morella, P., Royo, J., & Sánchez, J. C. (2022). Using Industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108400. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108400>
15. Lanetskyi, B. M., Koval, I. V., Lukianchuk, V. V., Popov, V. P., & Trofymenko, Yu. V. (2022). Metodichnyi pidkhid shchodo vstanovlennia kryteriiv tekhnichnoho stanu skladnykh tekhnichnykh system [A methodological approach to establishing technical-condition criteria for complex technical systems]. *Weapon Systems and Military Equipment*, 3(71), 35-42. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.05>
16. Mahmoodian, M., Shahriar, F., & Li, C. (2022). Maintenance prioritisation of irrigation infrastructure using a multi-criteria decision-making methodology under a fuzzy environment. *Sustainability*, 14(22), 14791. <https://doi.org/10.3390/su142214791>
17. Maistrenko, O., Ryzhov, Y., Khaustov, D., Tsubulia, S., & Nastishin, Y. (2021). Decision-making model for task execution by a military unit in terms of queuing theory. *Military Operations Research*, 26(1), 59-69. <https://doi.org/10.5711/1082598326159>
18. Maistrenko, O., Khoma, V., Kurban, V., Rakhmanyi, O., Shvets, M., Stehura, S., Horbenko, S., Pochynok, S., Isenko, V., & Kuznetsov, V. (2024). Devising a scientific-methodical apparatus for the appropriate distribution of damaged weapons among specialized repair and restore units. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(4(128)), 13-22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299969>
19. Mirnenko, V., Yablonsky, P., Tyurin, V., Salii, A., Avramenko, O., & Kasianenko, M. (2022). Determination of efficiency of weapon systems maintenance as condition for DM distribution. *Advances in Military Technology*, 17(2), 325-339. <https://doi.org/10.3849/aimt.01463>
20. NATO Standardization Office. (2025). AJP-4: Allied joint doctrine for sustainment of operations (Edition C, Version 1). <https://www.gov.uk/government/publications/allied-joint-doctrine-for-sustainment-of-operations-ajp-4>
21. Nithin, A. H., Hobbs, M., Sriramula, S., & Sripada, Y. (2022). An approach to improve asset maintenance and management priorities using machine learning techniques. *Safety and Reliability*, 41(3), 151-169. <https://doi.org/10.1080/09617353.2022.2142011>
22. Nunes, P., Santos, J., & Rocha, E. (2023). Challenges in predictive maintenance - A review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 40, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.004>
23. Openko, P., Mirnenko, V. I., Turin, V. V., Myronuk, M. Yu., Doska, O. M., & Bulay, A. M. (2021). Calculation method modification of spare parts quantity to restore operability of weapon systems. *Advances in Military Technology*, 16(1), 121-132. <https://doi.org/10.3849/aimt.01479>
24. Partyka, S. P. (2025). Rukhomi zasoby tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu tekhniki yak osnovna skladova systemy remontu [Mobile maintenance and repair assets as a major component of the repair system]. *Collection of Scientific Works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences*, 97(4), 111-119. <https://doi.org/10.32453/3.v97i4.1602>
25. Rautio, S., & Valtonen, I. (2022). Supporting military maintenance and repair with additive manufacturing. *Journal of Military Studies*, 11(1), 23-36. <https://doi.org/10.2478/jms-2022-0003>

26. Rikunov, O., Smahin, O., & Bisyk, V. (2024). Udoskonalennia metodyky otsiniuvannia mozhlyvosti remontno-vidnovliuvalnykh orhaniv viiskovykh chastyn Natsionalnoi hvardii Ukrainy [Improving the methodology for assessing repair and recovery unit capabilities]. Collection of Scientific Works of the National Academy of the National Guard of Ukraine, 1(43), 101-105. <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/1/43/307908>
27. Sampir, O. (2021). Udoskonalena metodyka otsiniuvannia systemy vidnovlennia ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky okremoi mekhanizovanoi bryhady [Improved methodology for assessing the weapon and military equipment recovery system of a separate mechanized brigade]. Social Development and Security, 11(5), 165 – 178. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.5.16>
28. Shahrivar, F., Mahmoodian, M., & Li, C. Q. (2022). Comparative analysis of fuzzy multi-criteria decision-making methods in maintenance prioritisation of infrastructure assets. International Journal of Critical Infrastructures, 18(2), 172 – 195. <https://doi.org/10.1504/IJCIS.2022.123422>
29. Shyshanov, M. O., Kondratiuk, I. V., & Veretnov, A. O. (2021). Metodychni osnovy kompleksnoho obgruntuvannia vymoh do vidnovliuvanosti skladnykh tekhnichnykh system [Methodological foundations for comprehensive substantiation of recoverability requirements for complex technical systems]. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, 40(1), 85 – 94. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-85-94>
30. Startsev, V., Tretiak, V., Michalyova, L., Kolomiitsev, O., Borshch, V., & Oliynik, R. (2022). Main provisions of the methodology for assessing the possibilities of restoring weapons and military equipment of the Air Forces of Ukraine damaged during combat operations. Scientific Works of the State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, 3(13), 110 – 120. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.13.2022.12>
31. Švásta, A. (2023). Possibilities of implementation of the system of temporary repairs into the maintenance system in NATO armies. In 2023 International Conference on Military Technologies (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMT58149.2023.10171269>
32. U.S. Department of Defense. (2022). Systems engineering guidebook. Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering. https://ac.cto.mil/wp-content/uploads/2022/05/Systems-Eng-Guidebook_Feb2022-Cleared.pdf
33. Voitenko, S. S., & Babych, O. O. (2021). Metod planuvannia tekhnichnoho obsluhovuvannia i viiskovoho remontu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky v suchasnykh umovakh [A method for planning maintenance and military repair of weapons and military equipment under modern conditions]. Scientific Works of Kharkiv National Air Force University, 3(69), 50 – 54. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.06>
34. Yemanov, V. V. (2022). Problemni pytannia system ekspluatatsii ta vidnovlennia avtobronetankovoi tekhniky Natsionalnoi hvardii Ukrainy [Problematic issues in the operation and recovery systems of armoured vehicles of the National Guard of Ukraine]. Honor and Law, 2(81), 63 – 71. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF%2FChiz_2022_2_11.pdf&P21DBN=UJRN

