

Аналіз факторів, що впливають на функціонування системи підтримки медичної техніки Збройних сил України на стадії життєвого циклу – експлуатування

Analysis of the Factors Influencing the Functioning of the Medical Equipment Support System of the Armed Forces of Ukraine at the Life Cycle Stage – Operation

Василь Поліщук

Corresponding author: кандидат військових наук, доцент, e-mail: polva@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

Олександр Хлипавка

ад'юнк, e-mail: hlupavka.85@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3298-0623>

Vasyl Polishchuk

Corresponding author: Candidate of Military Sciences, Associate Professor, e-mail: polva@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

Oleksandr Khlypavka

PhD student, e-mail: hlupavka.85@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3298-0623>

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: August 08, 2026 | Revised: August 27, 2026 | Accepted: August 31, 2026

УДК 355.72:615.47

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.4.21>

Мета роботи. Проаналізувати, систематизувати та кількісно оцінити фактори, що впливають на ефективність функціонування системи підтримки медичної техніки Збройних Сил України на стадії експлуатування, та обґрунтувати інтегральний критерій її оцінювання.

Методи дослідження. Застосовано системний аналіз, логічне й математичне моделювання, теорію надійності складних технічних систем, математичну статистику, експертне оцінювання та ентропійний підхід.

Результати дослідження. Визначено адміністративно-фінансові, організаційно-штатні, логістичні, техніко-експлуатаційні та середовищні фактори. Формалізовано їх у систему часткових показників, обґрунтовано використання індексу Шеннона та сформовано інтегральний критерій ефективності на основі функції бажаності Харрінгтона.

Теоретична цінність дослідження. Поглиблено науково-методичні засади оцінювання системи підтримки військової медичної техніки з урахуванням гетерогенності парку та умов експлуатації.

Практична цінність дослідження. Обґрунтовано створення мобільних ремонтно-відновлювальних підрозділів, введення посад біомедичних інженерів, модульний ремонт LRU та цифровізацію обліку.

Оригінальність/Цінність дослідження. Формалізовано проблему розсинхронізації життєвих циклів колісного шасі й медичного модуля та враховано дестабілізуючі фактори аеромедичної евакуації.

Обмеження дослідження/Майбутні дослідження. Обмеженням є використання відкритих джерел; перспективою — математичне моделювання оптимізації обмінного фонду ЗІП і чисельна верифікація запропонованого критерію.

Тип статті. Аналітико-теоретична з практичною спрямованістю.

Purpose. To analyze, systematize, and quantitatively assess the factors affecting the efficiency of the medical equipment support system of the Armed Forces of Ukraine during the operation stage and to substantiate an integral criterion for its evaluation.

Method. The study employs systems analysis, logical and mathematical modeling, reliability theory of complex technical systems, mathematical statistics, expert assessment, and an entropy-based approach.

Findings. Administrative-financial, organizational-staffing, logistical, technical-operational, and environmental factors were identified. They were formalized into a system of partial indicators; the use of the Shannon index was substantiated; and an integral efficiency criterion based on Harrington's desirability function was developed.

Theoretical implications. The scientific and methodological foundations for evaluating the military medical equipment support system were further developed, taking into account fleet heterogeneity and operating conditions.

Practical implications. The establishment of mobile repair and recovery units, the introduction of biomedical engineer positions, LRU-based modular repair, and digitalization of equipment accounting were substantiated.

Originality/Value. The problem of lifecycle desynchronization between wheeled chassis and integrated medical modules was formalized, while destabilizing factors affecting aeromedical evacuation were incorporated into the assessment framework.

Research Limitations/Future Research. The study is limited by the use of publicly available sources. Future research should focus on mathematical modeling of the spare parts, tools, and accessories exchange pool and numerical verification of the proposed criterion.

Paper type. Analytical-theoretical study with practical orientation.

Ключові слова медична техніка; життєвий цикл; стадія підтримки; стадія експлуатування; дестабілізуючі фактори; коефіцієнт технічної готовності; функція бажаності Харрінгтона; індекс Шеннона; інтенсивність відмов; ефективність.

Key words. Medical Equipment; Life Cycle; Support Stage; In-Service Stage; Destabilizing Factors; Technical Availability Factor; Harrington's Desirability Function; Shannon Index; Failure Rate; Efficiency.

Вступ

Сучасна парадигма ведення збройної боротьби характеризується безпрецедентним рівнем технологізації всіх аспектів забезпечення бойових дій [1, 5, 7]. У цьому контексті медичне забезпечення Збройних Сил України трансформувалося у високотехнологічну галузь, ефективність якої критично залежить від стану та працездатності парку медичного обладнання. Медична техніка Збройних Сил України (далі – МТ ЗСУ) сьогодні – це складні людино-машинні системи, що забезпечують моніторинг, діагностику та підтримку життєдіяльності в умовах екстремальних навантажень.

Проте стрімке насичення військ сучасними зразками висвітлює системну невідповідність між темпами оновлення парку техніки та спроможністю наявної інфраструктури забезпечувати її стабільне функціонування. Життєвий цикл медичної техніки за своєю структурою є складним ітераційним процесом, де стадія підтримки виступає фундаментом боєготовності [13, 14, 17]. В умовах повномасштабної агресії, коли інтенсивність експлуатації перевищує розрахункові норми у кілька разів, питання технічної готовності стає фактором стратегічного значення [2, 4, 20].

Особливо гостро ця проблема постає в Повітряних Силах ЗСУ. Специфіка аеромедичної евакуації передбачає інтеграцію медичного обладнання у борт авіаційних платформ (літаків Ан-26 “Віта”, гелікоптерів Мі-8), де воно піддається впливу агресивних факторів: вібрації, перепадів барометричного тиску та електромагнітних завад [6, 19]. За таких умов будь-яка несправність або вихід з ладу апарата ШВЛ чи монітора пацієнта не лише унеможливорює надання допомоги, а й ставить під загрозу виконання всього польотного завдання.

Окремим сегментом експлуатування є медична техніка, що змонтована на колісних шасі (мобільні рентген-кабінети, стоматологічні комплекси, пересувні лабораторії). На стадії їх експлуатування виникає унікальна проблема розсинхронізація життєвих циклів (далі – ЖЦ) двох різних систем: базового шасі, яке обслуговується за регламентами автомобільної служби, та медичного обладнання, яке підпорядковується медичній службі. На практиці це призводить до критичних збоїв у ефективності функціонування системи підтримки. Військовий ремонтний підрозділ може швидко відновити двигун автомобіля, але комплекс залишається недієздатним, якщо в ньому несправний медичний апарат. Оскільки медична служба не має власних майстерень, виникає ситуація, коли справне шасі тижнями простоє на території цивільного сервісного центру лише через тривалі процедури оплати ремонту внутрішньої медичної начинки.

Крім того, колісна медична техніка піддається інтенсивним динамічним навантаженням під час маршів по пересіченій місцевості, що викликає порушення юстування оптичних систем, передчасний вихід з ладу жорстких дисків (HDD) медичних робочих станцій та розгерметизацію пневматичних магістралей [16]. Такі системи критично залежать від стабільності параметрів електромережі бортових генераторів, де будь-яке відхилення частоти чи напруги в польових умовах миттєво виводить з ладу чутливу електроніку. Поточна модель взаємодії з цивільними підприємствами не вирішує ці проблеми, оскільки цивільні ремонтники перевіряють прилади від стаціонарної мережі “220В”, що не відображає реальних умов експлуатації в зоні бойових дій.

Отже, практична реалізація підтримки МТ ЗСУ зіткнулася з низкою невирішених проблем системного характеру:

По-перше, відсутність у штатах Медичних сил спеціалізованих підрозділів з ремонту та обслуговування медичної техніки. Медична служба позбавлена власного інженерно-технічного компонента, через що військовий медик залишається сам на сам з несправним високотехнологічним об’єктом.

По-друге, тотальна залежність від цивільного сектору та зовнішніх сервісних центрів. Процес відновлення в умовах воєнного стану перетворюється на складний бюрократичний

лабіринт: вихід з ладу – дефектовка – пошук підрядника – тендерні процедури – тривале очікування бюджетних асигнувань через казначейство – і лише потім ремонт. Тривалий простій техніки через очікування оплати став нормою [20].

По-третє, кваліфікаційний дефіцит. У Збройних Силах України практично відсутня посада «біомедичного інженера» у бойових підрозділах. Цивільні фахівці не мають доступу до районів виконання бойових завдань, а військові техніки суміжних спеціальностей не мають відповідних ліцензій та знань.

По-четверте, висока гетерогенність (різноманітність) парку. Отримання міжнародної допомоги призвело до появи сотень брендів обладнання, де кожен бренд вимагає окремого договору, унікальних запчастин та кодів доступу. Управління таким «зоопарком» техніки стає логістично неможливим.

Попри наявність ґрунтовної теоретичної бази управління ЖЦ складних систем [12, 14], практична реалізація системи підтримки МТ ЗСУ на стадії експлуатування зіткнулася з низкою системних деструктивних чинників:

Організаційно-штатна відсутність ремонтного компонента: На відміну від автомобільної чи авіаційної служб, у структурі Медичних сил повністю відсутні штатні ремонтно-відновлювальні органи (РВО) та посади біомедичних інженерів. Це залишає військового медика сам на сам з несправним приладом;

Тотальна залежність від цивільного аутсорсингу: Відновлення МТ відбувається через складну бюрократичну схему залучення комерційних підприємств. Очікування бюджетних асигнувань та тривалі цикли казначейського погодження кошторисів призводять до того, що від 30% до 40% дефіцитного парку МТ простоює місяцями у тилових сервісах у пасивному стані [20].

Специфіка авіаційної та колісної експлуатації: Під час аеромедичної евакуації (MEDEVAC) Повітряних Сил ЗСУ на борту Ан-26 “Віта” чи Мі-8 обладнання зазнає впливу вібрацій, барометричних перепадів тиску та електромагнітних завад. У колісних комплексах виникає розсинхронізація життєвих циклів шасі та медичного модуля, а динамічні навантаження маршів збивають юстування прецизійних оптичних систем та випалюють плати від нестабільних польових генераторів [16].

Логістична гетерогенність: Масове надходження різноманітних зразків МТ у межах міжнародної допомоги створило “зоопарк” брендів, кожен з яких вимагає окремих запчастин, унікальних кодів доступу та індивідуальних сервісних угод [18].

Таким чином, виникає гостра наукова та практична суперечність між необхідністю забезпечення високого рівня технічної готовності МТ ЗСУ та відсутністю обґрунтованої системи оцінювання та управління факторами, що впливають на функціонування системи її підтримки в умовах воєнного стану.

Мета дослідження — науковий аналіз, структурування та кількісна оцінка факторів, що впливають на ефективність функціонування системи підтримки МТ ЗСУ на стадії її експлуатування, для обґрунтування формалізованих показників та розробки концептуальної структури інтегрального критерію її оцінювання.

Огляд літератури

Питання управління життєвим циклом (Life Cycle Costing – LCC) та створення систем інтегрованої логістичної підтримки (Integrated Logistic Support – ILS) широко розроблені у фундаментальних працях В. S. Blanchard та W. J. Fabrycky [12, 13]. Нормативно-правові та процесуальні засади ЖЦ складних систем зафіксовані у міжнародних та вітчизняних оборонних стандартах ISO/IEC/IEEE 15288:2023 [14] та угодах НАТО зі стандартизації STANAG 4427 [18]. Питання технічного обслуговування клінічного та біомедичного обладнання детально висвітлені у міжнародних працях з Clinical Engineering та Healthcare Technology Management [21, 22, 23].

У працях вітчизняних військових науковців (П. В. Опенька, О. М. Певцова, В. В. Тюріна, В. В. Поліщука, С. П. Корнієнка) ґрунтовно досліджено науково-методичні підходи до оцінювання ефективності технічної експлуатації складних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) [15], розроблено математичні моделі функціонування систем відновлення автомобільної та спеціальної техніки Повітряних Сил [10], оцінки їх надійності [9] та визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування [11]. Логістичні засади підтримки наукомісткої військової продукції у своїх монографіях розкрив В. І. Ткаченко [17]. Загально стратегічний контекст застосування сил і засобів та оцінку логістичних ризиків під час бойових дій проаналізовано у працях [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

З іншого боку, представники військово-медичної науки (І. П. Хоменко, В. В. Стеблюк) детально аналізують тактику та організацію медичного забезпечення військ (ТССС, MEDEVAC) [19], а аналітичні доповіді Командування Медичних сил оцінюють загальний стан та динаміку оновлення парку МТ [20].

Разом з тим, між цими напрямками досліджень існує суттєвий розрив. Технічні науковці фокусуються переважно на авіації, засобах ППО чи автомобільній техніці [8, 10, 11], залишаючи специфіку медичного обладнання поза увагою. Натомість військово-медичні фахівці розглядають МТ переважно як “даність” — ресурси, справність яких має забезпечуватися за замовчуванням [19], не заглиблюючись у математико-інженерні алгоритми довготривалої підтримки техніки на стадії експлуатування.

Таким чином, проведений аналіз літератури дозволяє зробити висновок, що сучасні дослідження сформували значну емпіричну та теоретичну базу щодо оцінювання ефективності функціонування систем відновлення ОВТ. Проте питання, як саме забезпечується справність медичної техніки ЗСУ на стадії її експлуатування, залишається в науковому вакуумі. Існує значний розрив між технічними вимогами до експлуатації складних приладів та реальних логістичних можливостей Медичних сил щодо їх відновлення.

Методологія дослідження

Для досягнення поставленої мети та розв’язання визначених науково-практичних завдань у роботі застосовано комплексний методологічний апарат, який об’єднує методи системного аналізу, логічного і математичного моделювання, теорії надійності складних технічних систем та методи експертного оцінювання.

Системний підхід та системний аналіз. Системний підхід є фундаментальним інструментом даного дослідження. Систему підтримки медичної техніки (МТ) Збройних Сил України розглянуто як складну підсистему загальної структури матеріально-технічного (логістичного) забезпечення військ. Застосування системного аналізу дозволило:

дослідити взаємозв’язки між окремими стадіями життєвого циклу (ЖЦ) МТ – від первинних закупівель (насичення парку) до відновлення в умовах інтенсивних бойових дій [14];

виявити міжвідомчі суперечності (“вузькі місця”) між ремонтно-відновлювальною системою автомобільної (шасі) та медичної (кузов-модуль) служб [10];

оцінити вплив дестабілізуючих зовнішніх чинників (фінансово-бюрократичних процедур Державної казначейської служби, умов воєнного стану) на кінцевий показник боєготовності підрозділів аеромедичної евакуації (MEDEVAC) та медичних сил загалом [19, 20].

Метод логічного моделювання та формалізації процесів. Для декомпозиції процесів, що відбуваються на стадії життєвого циклу – *підтримка*, використано графічне та логічне моделювання бізнес-процесів відновлення МТ. Це дозволило формалізувати послідовний ланцюг проходження заявки на ремонт від моменту первинного виходу з ладу обладнання на лінії бойового зіткнення до повернення справного виробу в підрозділ. Шляхом хронометражу та моделювання логістичних маршрутів було розділено загальний час перебування МТ поза бойовою готовністю на дві складові:

час безпосереднього технічного відновлення;

адміністративно-логістичний час простою, що включає проведення дефектовки, пошук цивільного підрядника, тендерні процедури, казначейське погодження та транспортування [10, 20].

Економіко-математичні методи та теорія надійності. Для переходу від якісних характеристик дестабілізуючих факторів до їх кількісної оцінки застосовано математичний апарат теорії надійності складних технічних систем та математичної статистики [8, 9, 15, 16].

Емпіричний метод та експертні оцінки. Емпіричною базою дослідження слугували аналітичні та статистичні дані щодо технічного стану МТ ЗСУ за період 2022–2026 років [20].

Математичні розрахунки та первинну обробку даних здійснено із застосуванням табличного процесора Microsoft Excel.

Результати дослідження

Процес функціонування МТ ЗСУ підпорядковується закономірностям життєвого циклу, визначеним міжнародними стандартами (ISO/IEC/IEEE 15288:2023), де стадія підтримки є найтривалішою фазою. Ефективність функціонування системи підтримки (E_{sys}) визначається як здатність забезпечувати заданий рівень готовності парку при мінімальних часових та ресурсних витратах. Ключовим математичним показником є коефіцієнт технічної готовності МТ ($K_{ТГ}$) [9, 10, 15]:

$$K_{ТГ} = \frac{T_{с.б.р.}}{T_{с.б.р.} + T_{с.р.} + T_{адм}},$$

- де $T_{с.б.р.}$ – середній час безвідмовної роботи медичної техніки (показник надійності МТ);
 $T_{с.р.}$ – середній час безпосереднього ремонту (або технічного обслуговування);
 $T_{адм}$ – середній адміністративний час простою (очікування запчастин, фінансування, транспортування).

Аналіз показує, що для МТ ЗСУ параметр $T_{адм}$ є домінуючим і часто перевищує час безпосереднього відновлення, що свідчить про неефективність організаційних алгоритмів. Показник $T_{адм}$ містить у собі час очікування бюджетних асигнувань та проведення тендерних процедур, який у цивільному секторі триває від 30 до 90 діб. Комерційні підприємства працюють у ринкових умовах, тому алгоритм “заявка – договір – очікування казначейської оплати – ремонт” є інертним. Затримка платежів призводить до того, що підрядник не віддає справну техніку, а підрозділи на передовій або групи евакуації в ПС залишаються без критично важливого обладнання.

Для розрахунку $T_{адм}$ застосовується наступна формула:

$$T_{адм} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{поч}^{(i)} - t_{оф.акт}^{(i)}),$$

- де n – кількість направлень МТ на ремонт;
 $t_{оф.акт}^{(i)}$ – дата оформлення первинного акта дефектовки;
 $t_{поч}^{(i)}$ – дата фактичного початку виконання робіт.

На основі аналізу практичного досвіду експлуатації МТ у підрозділах ЗСУ в умовах інтенсивних бойових дій виділено п'ять ключових груп дестабілізуючих факторів, які безпосередньо впливають на боєздатність:

Адміністративно-фінансовий фактор, що обумовлений громіздкістю процедур цивільного аутсорсингу (проведення тендерів, оформлення договірної документації, казначейські затримки). Виступає основними часовими втратами у ланцюгу відновлення, тому

є головним керованим важелем для підвищення коефіцієнта технічної готовності ($K_{\text{ТГ}}$).

Організаційно-штатний фактор, який характеризується відсутністю у штаті бойових частин та військово-медичних клінічних центрів спеціалізованих підрозділів інженерно-технічного профілю. Це змушує передавати навіть незначні несправності зовнішнім підрядникам, що знижує коефіцієнт автономності відновлення.

Логістична гетерогенність, що викликана формуванням парку МТ за рахунок різномірної гуманітарної та міжнародної технічної допомоги. “Різновид” обладнання ускладнює постачання витратних матеріалів, комплектуючих та ЗІП [18], що формалізується через індекс різнотипності.

Фактори експлуатаційного середовища, які пов’язані з критичними механічними навантаженнями (вібрація, удари при транспортуванні) та нестабільністю живлення в умовах евакуації [6,16,19]. Для спрощення математичної моделі інтенсивність відмов під час евакуації прийнята як фіксована константа.

Техніко-експлуатаційний фактор, що обумовлений розсинхронізацією міжремонтних ресурсів медичного обладнання та базового автомобільного шасі (санітарного транспорту) [10].

Для переходу від якісного опису дестабілізуючих факторів до об’єктивного кількісного оцінювання системи підтримки МТ, кожен із виділених факторів у роботі детерміновано у вигляді відповідного математичного показника (табл. 1).

Таблиця 1: Матриця трансформації дестабілізуючих факторів у показники оцінювання системи підтримки МТ

Група факторів	Конкретний дестабілізуючий фактор	Формалізований показник	Статус у моделі
Організаційно-штатні	Відсутність штатних техніків у ланці “бригада (батальйон)”	Коефіцієнт автономності відновлення ($K_{\text{авт}}$)	Розрахунковий (динамічний)
Техніко-експлуатаційні	Розсинхронізація ЖЦ шасі та медичного модуля	Коефіцієнт парності технічної готовності ($K_{\text{пар}}$)	Прийнято $K_{\text{пар}} = 1,0$
Фактори середовища	Вплив вібрацій та нестабільності бортової мережі ПС	Інтенсивність відмов МТ під час евакуації ($\lambda_{\text{евак}}$)	Постійна величина, що дорівнює паспортній інтенсивності відмов виробника помноженій на коефіцієнт жорсткості умов експлуатації ($K_{\text{умов}} = 1,2 \dots 1,5$).
Логістична гетерогенність	Наявність “зоопарку” різнотипних брендів і моделей	Нормований Індекс різнотипності парку МТ ($\bar{I}_{\text{різн}}$)	Розрахунковий (статичний)
Адміністративно-фінансові	Бюрократичні затримки казначейських оплат	Середній адміністративний час очікування ($T_{\text{адм}}$)	Розрахунковий (входить до $K_{\text{ТГ}}$)

Джерело: розроблено авторами на основі [6, 10, 12, 17–20, 22, 24].

Коефіцієнт автономності відновлення ($K_{\text{авт}}$) розраховується за формулою:

$$K_{\text{авт}} = \frac{N_{\text{внутр.рем}}}{N_{\text{відм.заг}}},$$

де $N_{\text{внутр.рем}}$ – кількість ремонтів, виконаних власними силами без залучення комерційних структур;

$N_{\text{відм.заг}}$ – загальна кількість відмов [12, 17].

Для оцінки гетерогенності парку застосовується нормований індекс ентропії Шенона ($\bar{I}_{\text{різн}}$), який обчислюється за формулою:

$$\bar{I}_{\text{різн}} = \frac{I_{\text{різн}}}{m} = \frac{-\sum_{i=1}^m p_i \ln(p_i)}{\ln m}, \in [0; 1]$$

де m – кількість виробників однотипного обладнання;

p_i – частка i -го виробника в парку.

Нормування на $\ln m$ дозволяє звести показник до безрозмірної шкали $[0; 1]$, де 0 відповідає однотипному парку, 1 — максимальному хаосу [22, 24].

Аналіз зазначених факторів дозволив виділити основні показники для оцінювання ефективності системи підтримки МТ ЗСУ на етапі її експлуатування, тому для комплексного оцінювання ефективності системи (E_{sys}) запропоновано концептуальну структуру на основі функції бажаності Харрінгтона. З урахуванням прийнятих допущень ($K_{\text{пар}} = 1$; $\lambda_{\text{евак}} = \text{const}$) формула ефективності (E_{sys}) зводиться до тривимірної моделі без дублювання часових параметрів:

$$E_{\text{sys}} = \sqrt[3]{d(K_{\text{тр}}) \cdot d(K_{\text{авт}}) \cdot d(1 - \bar{I}_{\text{різн}})},$$

де $d(x) = \exp(-\exp(-y))$ – кількість виробників однотипного обладнання;

$(1 - \bar{I}_{\text{різн}})$ – виступає фактором корисності (чим менша гетерогенність, тим вища корисність).

Графічна інтерпретація функції Харрінгтона з розподілом на чотири цільові зони ефективності показана на рис. 1.

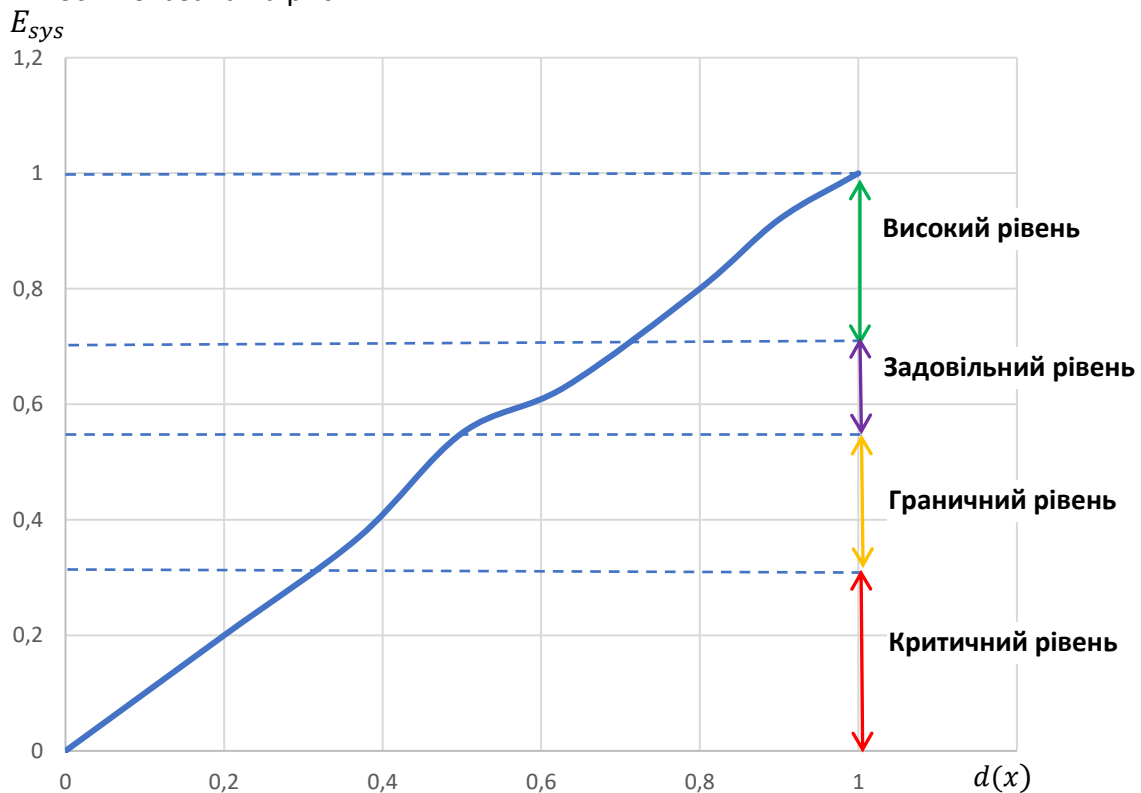


Рисунок 1: Концептуальна схема інтегрального оцінювання ефективності системи на основі функції бажаності Харрінгтона (шкала градації рівнів ефективності)

Джерело: розроблено авторами на основі [15, 20, 25].

Критеріальні значення та інтервали градації інтегрального показника E_{sys} базуються на класичній шкалі функцій бажаності Харрінгтона, а також на нормативно-технічних вимогах Міністерства оборони України щодо коефіцієнта технічної готовності ОБТ [15, 20].

Обговорення

Проведений аналіз факторів, що впливають на ЖЦ медичної техніки ЗСУ, а саме її підтримки в процесі експлуатування дозволив ідентифікувати критичний системний дисбаланс: існуюча система підтримки МТ ЗСУ орієнтована переважно на цивільний аутсорсинг, що генерує понаднормові адміністративно-логістичні затримки ($T_{адм}$) та знижує рівень автономності відновлення ($K_{авт}$) безпосередньо у військах [10, 20].

Сформована матриця трансформації якісних дестабілізуючих факторів у кількісно вимірювані показники ($K_{тг}$, $K_{авт}$, $T_{адм}$, $I_{різн}$) створює методологічне підґрунтя для переходу від описового характеру до детермінованого оцінювання ефективності системи підтримки МТ ЗСУ.

Зокрема, виявлена висока чутливість системи до фактора логістичної гетерогенності ($I_{різн}$). Для кількісного оцінювання цього фактора обґрунтовано застосування індексу різноманітності Шеннона (інформаційної ентропії), який дозволяє формалізувати ступінь декомпозиції та хаотичності парку МТ залежно від кількості брендів, моделей та типів сервісного обслуговування. В умовах відсутності єдиної технічної політики постачання “розмаїття” цивільних брендів без дотримання вимог стандартизації НАТО (зокрема, STANAG 4427 [18]) зростання ентропійного індексу Шеннона безпосередньо призводить до критичного збільшення часу очікування комплектуючих та зростання адміністративно-логістичного лагу ($T_{адм}$). Це підтверджує нагальну потребу концептуального перерозподілу функцій між цивільним сектором та військовою інженерною службою (табл.2).

Таблиця 2: Перерозподіл функцій між існуючою та пропонованою моделлю системи підтримки МТ ЗСУ за основними параметрами порівняння

Параметр порівняння	Існуюча модель (цивільний аутсорсинг)	Пропонована модель (військова інженерна служба)
Місце проведення ремонту	Територія цивільного підприємства (тил)	Район розгортання військ (мобільна майстерня)
Логістичний та адміністративний час простою	Високий (через тендери та цикли оплати)	Мінімальний (пряме бойове розпорядження)
Комплексність робіт	Тільки медична частина (автомобільна база – за межами компетенції)	Одночасне відновлення шасі та медичного модуля
Вартість стадії підтримки	Висока (комерційна маржа + логістика)	Оптимальна (за рахунок штатних ресурсів)
Стійкість до РЕБ/ЕМС	Не перевіряється	Контролюється військовими стандартами

Джерело: розроблено авторами на основі результатів дослідження та [10, 11, 17, 18, 20].

Виділення $T_{адм}$ як основного керованого параметра дозволяє обґрунтувати створення у складі Медичних Сил штатних мобільних груп інженерно-технічної підтримки (МГІТП), введення посад біомедичних інженерів до авіаційних бригад Повітряних Сил, а також перехід на агрегатний метод ремонту швидкозамінними блоками (LRU) з обмінного фонду [11] із цифровізацією обліку в системі LOGFAS [17].

Напрямок подальших досліджень. Отриманий формалізований набір показників на основі результату аналізу факторів є необхідним і достатнім базисом для розробки на наступному етапі *комплексної математичної моделі* в яку доцільним є синтез описаного критерію ефективності системи (E_{sys}) на основі нормування визначених параметрів за допомогою залучення апарату функцій корисності (зокрема, функції бажаності Харрінгтона). Це дозволить у подальших працях провести чисельне моделювання, визначити точні граничні значення коефіцієнтів та кількісно оцінити ефект від впровадження пропонованих організаційно-технічних заходів.

Висновки

На основі аналізу життєвого циклу медичної техніки Збройних Сил України науково доведено, що стадія експлуатування є найкритичнішою фазою її функціонування [14], а низька ефективність існуючої системи підтримки зумовлена відсутністю внутрішнього інженерно-технічного компонента у Медичних Силах та високою залежністю від цивільних бюрократичних процедур.

Систематизовано та детерміновано систему дестабілізуючих факторів, що впливають на готовність МТ, та розроблено концептуальну матрицю їх трансформації у кількісні оціночні показники. При цьому для формалізації індексу різнотипності обґрунтовано використання математичного апарату індексу Шеннона, що оцінює рівень ентропії та гетерогенності парку обладнання [18, 22].

Визначено та обґрунтовано специфічні вимоги до експлуатації та технічної підтримки МТ у Повітряних Силах ЗСУ в умовах аеромедичної евакуації (MEDEVAC) [19], що обумовлені дією вібраційних навантажень, перепадами барометричного тиску та необхідністю забезпечення електромагнітної сумісності з бортовим обладнанням авіаційних платформ [6].

Обґрунтовано потребу в концептуальному переході до створення штатних мобільних груп інженерно-технічної підтримки, запровадження модульного ремонту за стандартами НАТО [18] та інтеграції обліку через систему LOGFAS [17]. Сформована теоретико-методологічна база (поєднання індексу Шеннона та функції бажаності Харрінгтона) створює підґрунтя для наступного наукового результату – формалізації математичного апарату оцінювання інтегральної ефективності системи та проведення його чисельної верифікації.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Використання штучного інтелекту

Мовне редагування, переклад, технічна перевірка тексту.

Список використаних джерел

1. Bronk J., Reynolds N., Watling J. *The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence*. London : Royal United Services Institute, 2022. URL: <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/russian-air-war-and-ukrainian-requirements-air-defence> (дата звернення: 13.07.2026).
2. Jones S. G., McCabe R., Williams I. *Air and Missile Defense: The Role of Integrated Systems in Modern Warfare*. Washington, DC : Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2023.

3. Karako T., Williams I. *Ukraine's Air and Missile Defense: Lessons for the Future*. Washington, DC : Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2024.
4. Lynch K. F., Castle R., Drew J. G. et al. *Assessing Agile Combat Employment for the Pacific Air Forces: Estimating the Impacts of Distributed Maintenance Postures on Sortie Rate Potential*. Santa Monica, CA : RAND Corporation, 2024.
5. Deptula D. A. *Air Power in the 21st Century: Strategic and Operational Challenges*. Arlington, VA : Mitchell Institute for Aerospace Studies, 2023.
6. NATO Joint Air Power Competence Centre (JAPCC). *Transforming Joint Air Power: The Case for Distributed Operations and ACE*. *JAPCC Journal*. 2023. Vol. 32. P. 12–24.
7. Shlapak D. A. *Air and Missile Defense in a High-Intensity Conflict: Implications for Force Design*. Santa Monica, CA : RAND Corporation, 2024.
8. Openko P., Bychenkov V., Polischuk V., Pidhorodetskyi M., Salii A., Salii O. (2023). Development of mathematical models of process of change of the technical condition of samples of building technique is during realization of strategy of technical exploitation according to condition. *Strength of Materials and Theory of Structures*. No. 110. P. 375–392. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.375-392>.
9. Dyptan V., Yablonsky P., Avramenko O., Klymchuk V., Openko P., Polishchuk V. Reliability Assessment of Highly Reliable Samples Using the Tolerance Limits and the Weibull's Law. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development (ACASD 2024)*. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 992. Cham : Springer, 2024. P. 310–321. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_23.
10. Поліщук В. В., Салій А. Г., Целішев Ю. П. та ін. Обґрунтування математичної моделі функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки Повітряних Сил в умовах швидкої зміни обстановки. *Повітряна міць України*. Київ : НУОУ, 2022. С. 61–64. DOI: [https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1\(2\)-61-64](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1(2)-61-64)
11. Avramenko O. V., Matsko O. Y., Polishchuk V. V., Pidhorodetskyi M., Salii A., Salii O., Korshets O., Duzhyi R. Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2021. No. 107. P. 265–280. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.265-280>.
12. Blanchard B. S., Fabrycky W. J. *Systems Engineering and Analysis*. 5th ed. Upper Saddle River, N : Prentice Hall, 2011. URL: https://books.google.com/books/about/Systems_Engineering_and_Analysis.html?id=ZjYLOgAACAAJ (дата звернення: 13.07.2026).
13. Blanchard B. S. *Logistics Engineering and Management*. 6th ed. Upper Saddle River, NJ : Pearson Prentice Hall, 2004.
14. *Systems and software engineering — System life cycle processes*. ISO/IEC/IEEE 15288:2015. Geneva : International Organization for Standardization, 2015. URL: <https://www.iso.org/standard/63711.html> (дата звернення: 13.07.2026).
15. Певцов О. М., Опенько П. В., Корнієнко С. П. Науково-методичний підхід до оцінювання ефективності технічної експлуатації складних зразків озброєння. *Збірник наукових праць НУОУ*. 2023. № 2 (78). С. 45–52.
16. Тюрін В. В., Поліщук В. В. Аналіз впливу умов експлуатації на показники безвідмовності спеціальних технічних систем. *Труди Університету*. 2021. № 4 (162). С. 112–118.
17. Ткаченко В. І. *Логістика та інтегрована життєва підтримка наукомісткої військової продукції : монографія*. Харків : ХНУПС, 2020.
18. *Introduction of Allied Logistics Publication for Integrated Logistics Support (ALP-10)*. STANAG 4427. Brussels : NATO Standardization Office, 2014.
19. Хоменко І. П., Стеблюк В. В. Організація медичного забезпечення військ (сил) в умовах ведення сучасних бойових дій. *Військова медицина України*. 2023. Т. 23, № 1. С. 15–26.

20. Командування Медичних сил ЗСУ. Аналітична доповідь про стан та перспективи розвитку парку медичного обладнання Збройних Сил України за період 2022–2025 років. Київ : КМС, 2025.
21. Dyro J., ed. *Clinical Engineering Handbook*. Burlington, MA : Elsevier Academic Press, 2004. URL: <https://shop.elsevier.com/books/clinical-engineering-handbook/dyro/978-0-12-226570-9> (дата звернення: 13.07.2026).
22. Miniati E., Frosini M., Dori F. *Healthcare Technology Management Systems: Towards a New Organizational Model for Health Services Provision*. Academic Press, 2016.
23. World Health Organization. *Medical Equipment Maintenance Programme Overview*. WHO Medical Device Technical Series. Geneva : World Health Organization, 2011. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241501538> (дата звернення: 13.07.2026).
24. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27. P. 379–423, 623–656. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.
25. Harrington, E. C. (1965). The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 21(10), 494–498.

References

1. Bronk, J., Reynolds, N., & Watling, J. (2022). *The Russian air war and Ukrainian requirements for air defence*. Royal United Services Institute. <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/russian-air-war-and-ukrainian-requirements-air-defence>
2. Jones, S. G., McCabe, R., & Williams, I. (2023). *Air and missile defense: The role of integrated systems in modern warfare*. Center for Strategic and International Studies.
3. Karako, T., & Williams, I. (2024). *Ukraine's air and missile defense: Lessons for the future*. Center for Strategic and International Studies.
4. Lynch, K. F., Castle, R., Drew, J. G., et al. (2024). *Assessing agile combat employment for the Pacific Air Forces: Estimating the impacts of distributed maintenance postures on sortie rate potential*. RAND Corporation.
5. Deptula, D. A. (2023). *Air power in the 21st century: Strategic and operational challenges*. Mitchell Institute for Aerospace Studies.
6. NATO Joint Air Power Competence Centre. (2023). Transforming joint air power: The case for distributed operations and ACE. *JAPCC Journal*, 32, 12–24.
7. Shlapak, D. A. (2024). *Air and missile defense in a high-intensity conflict: Implications for force design*. RAND Corporation.
8. Openko, P., Bychenkov, V., Polischuk, V., Pidhorodetskyi, M., Salii, A., & Salii, O. (2023). Development of mathematical models of process of change of the technical condition of samples of building technique is during realization of strategy of technical exploitation according to condition. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 110, 375–392. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.375-392>
9. Dyptan, V., Yablonsky, P., Avramenko, O., Klymchuk, V., Openko, P., & Polishchuk, V. (2024). Reliability assessment of highly reliable samples using the tolerance limits and the Weibull's law. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development (ACASD 2024)* (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 992, pp. 310–321). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_23
10. Polishchuk, V. V., Salii, A. H., Tselishev, Yu. P., et al. (2022). Obgruntuvannia matematychnoi modeli funktsionuvannia systemy vidnovlennia avtomobilnoi i spetsialnoi tekhniki Povitrianykh Syl v umovakh shvydkoi zminy obstanovky [Substantiation of the mathematical model of functioning of the recovery system for automotive and special equipment of the

- Air Forces under rapidly changing conditions]. *Povitriana mits Ukrainy [Air Power of Ukraine]*, 61–64. [https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1\(2\)-61-64](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1(2)-61-64)
11. Avramenko, O. V., Matsko, O. Y., Polishchuk, V. V., Pidhorodetskyi, M., Salii, A., Salii, O., Korshets, O., & Duzhyi, R. (2021). Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 107, 265–280. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.265-280>
12. Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems engineering and analysis* (5th ed.). Prentice Hall. https://books.google.com/books/about/Systems_Engineering_and_Analysis.html?id=ZjYLOgAACAAJ
13. Blanchard, B. S. (2004). *Logistics engineering and management* (6th ed.). Pearson Prentice Hall.
14. International Organization for Standardization. (2015). *Systems and software engineering—System life cycle processes* (ISO/IEC/IEEE Standard No. 15288:2015). <https://www.iso.org/standard/63711.html>
15. Pievtsov, O. M., Openko, P. V., & Korniienko, S. P. (2023). Naukovo-metodychnyi pidkhid do otsiniuvannia efektyvnosti tekhnichnoi ekspluatatsii skladnykh zrazkiv ozbroiennia [Scientific and methodological approach to assessing the effectiveness of technical operation of complex weapon systems]. *Zbirnyk naukovykh prats NUOU [Collection of Scientific Papers of the National Defence University of Ukraine]*, 2(78), 45–52.
16. Tiurin, V. V., & Polishchuk, V. V. (2021). Analiz vplyvu umov ekspluatatsii na pokaznyky bezvidmovnosti spetsialnykh tekhnichnykh system [Analysis of the influence of operating conditions on the reliability indicators of special technical systems]. *Trudy Universytetu [Proceedings of the University]*, 4(162), 112–118.
17. Tkachenko, V. I. (2020). *Lohistyka ta integrovana zhyttieva pidtrymka naukomistkoi viiskovoi produktsii [Logistics and integrated life-cycle support of high-technology military products]*. KhNUPS.
18. NATO Standardization Office. (2014). *Introduction of Allied Logistics Publication for Integrated Logistics Support (ALP-10)* (STANAG 4427).
19. Khomenko, I. P., & Stebliuk, V. V. (2023). Orhanizatsiia medychnoho zabezpechennia viisk (syl) v umovakh vedennia suchasnykh boiovykh dii [Organization of medical support for troops (forces) under conditions of modern combat operations]. *Viiskova medytsyna Ukrainy [Military Medicine of Ukraine]*, 23(1), 15–26.
20. Komanduvannia Medychnykh syl ZSU. (2025). *Analychna dopovid pro stan ta perspektyvy rozvytku parku medychnoho obladnannia Zbroinykh Syl Ukrainy za period 2022–2025 rokiv [Analytical report on the state and prospects for development of the medical equipment fleet of the Armed Forces of Ukraine for 2022–2025]*.
21. Dyro, J. (Ed.). (2004). *Clinical engineering handbook*. Elsevier Academic Press. <https://shop.elsevier.com/books/clinical-engineering-handbook/dyro/978-0-12-226570-9>
22. Miniati, E., Frosini, M., & Dori, F. (2016). *Healthcare technology management systems: Towards a new organizational model for health services provision*. Academic Press.
23. World Health Organization. (2011). *Medical equipment maintenance programme overview* (WHO Medical Device Technical Series). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241501538>
24. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
25. Harrington, E. C. (1965). The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 21(10), 494–498.

