Методика оцінювання ефективності застосування безекіпажних наземних комплексів для виконання завдань логістичного забезпечення

Method of Assessing the Effectiveness of Using Unmanned Ground Systems for Logistics Tasks

Олександр Шкварський [A]

Corresponding author: кандидат технічних наук, начальник кафедри військової підготовки, e-mail: 16.04.1982@ukr.net, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6964-5497

Анатолій Островський [B]

старший викладач кафедри технічного забезпечення інституту логістики та підтримки військ (сил), e-mail: 0939385336@gmeil.com, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-9046-581X

Сергій Копашинський [B]

старший науковий співробітник, доцент кафедри технічного забезпечення інституту логістики та підтримки військ (сил), e-mail: kopashinskysa@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8607-1309

Олександр Ярошенко [B]

старший викладач кафедри технічного забезпечення інституту логістики та підтримки військ (сил), e-mail: Kss2014@ukr.net, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9497-2262

Oleksandr Shkvarsky [A]

Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Military Training, e-mail: 16.04.1982@ukr.net, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6964-5497

Anatolii Ostrovskyi [B]

Senior Researcher, Associate Professor, Department of Technical Support, Institute of Logistics and Support of Troops (Forces), e-mail: 0939385336@gmeil.com, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-9046-581X

Serhii Kopashynskyi [B]

Senior Researcher, Associate Professor, Department of Technical Support, Institute of Logistics and Support of Troops (Forces), e-mail: kopashinskysa@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8607-1309

Oleksandr Yaroshenko [B]

Senior Lecturer, Department of Technical Support, Institute of Logistics and Support of Troops (Forces), e-mail: Kss2014@ukr.net, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9497-2262

[A] Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський, Україна
[B] Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

[A] Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine
[B] National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: September 9, 2026 | Revised: October 20, 2026 | Accepted: October 31, 2026

УДК 623.746-519:355.4:355.41:355.6

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.5.29

Мета роботи. Обґрунтування методики оцінювання ефективності застосування безекіпажних наземних комплексів за результатами їх випробувань під час виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації.

Методи дослідження. Системний аналіз, експертне оцінювання, математичне моделювання та статистичний аналіз результатів випробувань.

Результати дослідження. Розроблено методику оцінювання ефективності застосування безекіпажних наземних комплексів, що передбачає визначення специфічних показників ефективності під час виконання завдань логістичного забезпечення та медичної евакуації. Запропоновано послідовність проведення випробувань, яка охоплює планування, підготовку полігону та вимірювальної апаратури, фіксацію умов навколишнього середовища, проведення випробувань і статистичне опрацювання отриманих результатів. Обґрунтовано використання математичного моделювання для розширення обсягу статистичних даних за умови узгодженості результатів моделювання з результатами натурних випробувань. Методика дає змогу оцінювати результативність виконання логістичних та евакуаційних завдань, створювати передумови для зниження невизначеності під час ухвалення рішень щодо прийняття зразків на озброєння та раціоналізації програми випробувань; ці ефекти потребують експериментального підтвердження.

Теоретична цінність дослідження. Удосконалено науково-методичний підхід до оцінювання ефективності безекіпажних наземних

Purpose. To substantiate a methodology for evaluating the effectiveness of unmanned ground systems based on test results obtained during logistics support and medical evacuation missions in combat operations.

Method. Systems analysis, expert assessment, mathematical modeling, and statistical analysis of test results.

Findings. A methodology for evaluating the effectiveness of unmanned ground systems was developed, incorporating mission-specific performance indicators for logistics support and medical evacuation. A structured testing procedure was proposed, including test planning, preparation of the test site and measuring equipment, recording of environmental conditions, test execution, and statistical processing of the obtained data. The use of mathematical modeling was substantiated as a means of expanding the statistical dataset, provided that simulation results are consistent with empirical test data. The proposed methodology enables the assessment of logistics and evacuation mission performance, may help reduce uncertainty in decision-making concerning adoption into service and rationalize testing procedures; these expected effects require experimental validation.

Theoretical implications. The scientific and methodological approach to evaluating the effectiveness of unmanned ground systems was improved by integrating experimental testing, mathematical modeling, and statistical analysis.

Practical implications. The developed methodology can be applied to refine operational and tactical requirements, compare advanced unmanned ground systems, and substantiate decisions regarding

комплексів шляхом поєднання результатів випробувань, математичного моделювання та статистичного аналізу.

Практична цінність дослідження. Розроблена методика може бути використана для вдосконалення оперативно-тактичних вимог, порівняння перспективних безекіпажних наземних комплексів та обґрунтування рішень щодо їх вибору, випробування і прийняття на озброєння Сил оборони України.

Тип статті. Науково-методична.

Ключові слова безекіпажний наземний комплекс; безпілотна система; методика; випробування; показники ефективності; логістичне забезпечення; медичне забезпечення.

their selection, testing, and adoption into service by the Defence Forces of Ukraine.

Paper type. Methodological research article.

Key words. Unmanned Ground System; Ground Robotic Complex; Methodology; Testing; Performance Indicators; Logistical Support; Medical Support.

Вступ

Сучасний розвиток озброєння та військової техніки (далі – ОВТ) супроводжується вдосконаленням підходів до управління їхнім життєвим циклом, зокрема до організації та проведення випробувань. Нормативною основою розроблення програм і методик випробувань ОВТ є відповідні положення національних стандартів [1]. Водночас європейська та євроатлантична інтеграція України зумовлюють необхідність гармонізації національних підходів до випробувань і оцінювання відповідності ОВТ із відповідними стандартами НАТО [2]. Важливу роль у цьому процесі відіграє Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, до завдань якого належать науково-методичне забезпечення випробувань, розроблення відповідної документації та проведення робіт з оцінювання відповідності зразків ОВТ [3].

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасного озброєння та військової техніки є створення й упровадження безпілотних систем, зокрема безекіпажних наземних комплексів (далі – БеНК). Розширення функціональних можливостей таких комплексів створює передумови для їх застосування під час виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації. Основні тенденції розвитку наземних роботизованих комплексів, удосконалення їхніх технічних характеристик і розширення сфер застосування розглянуто в дослідженні [5].

Наявні методики випробувань БеНК [4] передбачають визначення та контроль показників, установлених відповідними тактико-технічними завданнями. Водночас оцінювання ефективності застосування таких комплексів під час виконання конкретних логістичних та евакуаційних завдань потребує врахування додаткових специфічних показників ефективності (далі – СПЕ), які характеризують результативність виконання місій, часові та енергетичні витрати, стійкість до впливу зовнішніх чинників, а також надійність і безпеку їхньої роботи.

У дослідженні [6] обґрунтовано значення СПЕ для визначення спроможності наземних роботизованих комплексів виконувати завдання логістичного та медичного забезпечення операцій (бойових дій). Методичні підходи до обґрунтування тактико-технічних вимог до технічних засобів з урахуванням їх функціонального призначення та умов застосування також розглянуто у працях [7, 8]. Зокрема, у дослідженні [7] запропоновано методику обґрунтування тактико-технічних вимог до рухомих засобів ремонту ОВТ, а в роботі [8] — до засобів технічної розвідки. Зазначені підходи формують методологічне підґрунтя для визначення вимог до технічних засобів і розроблення системи показників для оцінювання їхньої ефективності.

Проте аналіз розглянутих досліджень і нормативних документів свідчить про необхідність подальшого розвитку методичних підходів до оцінювання ефективності застосування БеНК з урахуванням специфіки логістичних і евакуаційних завдань. Зокрема, потребують уточнення процедури визначення СПЕ за результатами випробувань, порядку статистичного опрацювання отриманих даних та умов використання математичного моделювання для доповнення результатів натурних експериментів.

Отже, наукове завдання полягає в удосконаленні методичного забезпечення оцінювання ефективності застосування БеНК шляхом формування взаємопов'язаної системи специфічних показників, визначення процедур їх експериментального оцінювання та математико-статистичного опрацювання результатів випробувань.

Метою дослідження є обґрунтування методики оцінювання ефективності застосування безекіпажних наземних комплексів під час виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації на основі визначення специфічних показників ефективності, розроблення процедур випробувань і застосування математико-статистичних методів опрацювання їх результатів.

Огляд літератури

Науково-методичне забезпечення випробувань БеНК ґрунтується на використанні нормативних документів, міжнародних стандартів і результатів досліджень, присвячених оцінюванню технічних характеристик, функціональних можливостей та ефективності застосування роботизованих систем. Особливого значення набувають підходи, які забезпечують відтворюваність результатів випробувань, порівнянність характеристик різних зразків і враховують умови їх практичного застосування.

Важливе місце в системі стандартизації випробувань роботизованих систем посідають документи технічного комітету ASTM F45, діяльність якого спрямована на розроблення стандартів у сфері робототехніки, автоматизації та автономних систем [9]. Зазначені стандарти формують методичну основу для оцінювання окремих функціональних характеристик роботизованих платформ, зокрема їхніх навігаційних можливостей, здатності долати перешкоди та виконувати визначені операції в контрольованих умовах.

У контексті розроблення методики оцінювання ефективності БеНК практичне значення мають стандартизовані процедури випробувань, представлені в документах ASTM F3244 [10] та ASTM F3265 [11]. Їхнє використання створює передумови для формування відтворюваних сценаріїв оцінювання окремих функціональних характеристик роботизованих систем. Водночас безпосереднє застосування таких процедур до військових БеНК потребує врахування особливостей виконання логістичних та евакуаційних завдань, зокрема характеристик маршруту, транспортного навантаження, стану дорожнього покриття та можливих обмежень у роботі системи управління.

Важливу роль у розвитку методів випробувань роботизованих систем відіграє Національний інститут стандартів і технологій США (National Institute of Standards and Technology, NIST). Розроблення стандартизованих випробувальних сценаріїв і підходів до вимірювання функціональних характеристик роботизованих платформ сприяє підвищенню об'єктивності оцінювання та порівнянності результатів. Для дослідження БеНК ці підходи становлять інтерес насамперед з погляду організації випробувань, визначення контрольованих умов і забезпечення повторюваності вимірювань.

Водночас стандартизовані функціональні випробування не охоплюють повною мірою специфіку застосування БеНК під час логістичного забезпечення бойових дій і медичної евакуації. Зокрема, оцінювання результативності таких завдань потребує визначення показників успішності завершення місії, тривалості транспортного циклу, пропускної здатності, енерговитрат, стійкості до втрати зв'язку та безпеки транспортування вантажів або умовно поранених.

Окремий напрям нормативного забезпечення випробувань ОВТ пов'язаний із застосуванням стандартів НАТО, які регламентують визначення умов експлуатації та перевірку стійкості технічних засобів до впливу зовнішніх чинників. До таких документів належить STANAG 4370 “Environmental Testing”, положення якого реалізуються через комплекс Allied Environmental Conditions and Test Publications (AECTP).

В Україні відповідні положення впроваджено через систему військових стандартів, зокрема:

- ВСТ 01.055.006–2021 (01) — умови навколишнього середовища (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-200 Edition 4, Environmental Conditions, IDT) [12];
- ВСТ 01.055.007–2021 (01) — кліматичні умови (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-230 Edition 1, Climatic Conditions, IDT) [13];
- ВСТ 01.055.008–2021 (01) — механічні умови (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-240 Edition 1, Mechanical Conditions, IDT) [14];
- ВСТ 01.055.010–2021 (01) — методи проведення кліматичних випробувань (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-300 Edition D, Climatic Environmental Tests, IDT) [15];
- ВСТ 01.055.011–2021 (01) — методи проведення механічних випробувань (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-400 Edition D, Mechanical Environmental Tests, IDT) [16].

Зазначені нормативні документи визначають підходи до встановлення умов випробувань і перевірки стійкості ОВТ до впливу кліматичних і механічних чинників. Їх застосування під час оцінювання БеНК дозволяє враховувати вплив температури, вологості, механічних навантажень та інших характеристик середовища на роботу функціонуючих роботизованих платформ.

У дослідженнях [2, 17] розглянуто особливості застосування стандартів НАТО та національних нормативних документів під час випробувань ОВТ на вплив кліматичних і механічних чинників. Результати цих праць підтверджують важливість нормативного забезпечення випробувань, проте не розв'язують безпосередньо завдання комплексного оцінювання результативності виконання БеНК логістичних і евакуаційних місій.

Додаткового значення для формування системи показників ефективності набувають вимоги до безпечного функціонування роботизованих платформ і забезпечення їхньої сумісності із засобами управління та зв'язку. Зокрема, положення ДСТУ EN ISO 3691-4:2024 [18] можуть використовуватися як нормативний орієнтир під час формування окремих сценаріїв перевірки безпечності руху БеНК поблизу особового складу. Водночас специфіка військового застосування потребує додаткового обґрунтування відповідних критеріїв безпеки.

Питання функціональної сумісності наземних роботизованих систем також розглядаються в документах, присвячених профілю взаємодії UGV Interoperability Profile (IOP) [19] та архітектурі NATO Generic Vehicle Architecture (NGVA) [20]. Використання положень цих документів створює методичні передумови для оцінювання можливостей інтеграції БеНК із засобами управління, зв'язку та іншими технічними системами. При цьому перевірка сумісності має враховувати конкретні функції, інтерфейси та вимоги, установлені для відповідного зразка.

Отже, аналіз нормативних документів і наукових публікацій засвідчує наявність розвиненої методичної бази для оцінювання окремих технічних, функціональних, кліматичних і механічних характеристик роботизованих систем. Проте розглянуті підходи не забезпечують у межах єдиної процедури повного оцінювання ефективності виконання БеНК логістичних та евакуаційних завдань за сукупністю специфічних показників, що характеризують результативність місії, часові та енергетичні витрати, стійкість до технічних відмов, безпеку та функціональну сумісність.

У зв'язку з цим подальшого методичного обґрунтування потребує процедура комплексного оцінювання ефективності БеНК, яка поєднуватиме визначення специфічних показників, формування стандартизованих сценаріїв випробувань, статистичне опрацювання результатів і використання математичного моделювання за умови перевірки його адекватності. Представлене дослідження спрямоване саме на розв'язання зазначеного наукового завдання.

Методологія дослідження

Методологічну основу дослідження становлять системний і структурно-функціональний аналіз, порівняльний аналіз нормативних документів і методик випробувань, математичне моделювання та методи математичної статистики. Їх комплексне використання спрямоване на обґрунтування методики оцінювання ефективності застосування БеНК під час виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації.

Системний аналіз використано для визначення складу СПЕ та встановлення їх взаємозв'язку з функціональним призначенням БеНК. Формування системи показників ґрунтується на врахуванні результативності виконання завдань, часових і енергетичних характеристик, прохідності, стійкості до порушення зв'язку та технічних відмов, безпечності функціонування і сумісності із засобами управління та зв'язку.

Структурно-функціональний аналіз застосовано для декомпозиції процесу виконання логістичних та евакуаційних завдань на окремі функціональні етапи: підготовку до виконання завдання, рух за визначеним маршрутом, виконання операцій із вантажем або умовно пораненим, завершення завдання та повернення БеНК або передачу вантажу чи умовно пораненого в пункті призначення. Такий підхід дозволяє визначити показники ефективності для окремих етапів і встановити їхні значення для оцінювання загальної результативності виконання завдання.

Порівняльний аналіз використано для зіставлення наявних підходів до випробувань роботизованих систем із положеннями стандартів ASTM F45, STANAG 4370/AECTP, ISO 3691-4, UGV IOP/JAUS та NGVA. За результатами аналізу визначено нормативні й методичні положення, які можуть бути використані під час формування сценаріїв випробувань БеНК, забезпечення відтворюваності вимірювань та оцінювання їхніх функціональних характеристик.

Методика передбачає визначення СПЕ за результатами випробувань БеНК у встановлених умовах виконання логістичних і евакуаційних завдань. Для цього формуються типові сценарії випробувань, визначаються характеристики маршрутів, умови навколишнього середовища, транспортне навантаження, склад вимірювальної апаратури та порядок реєстрації результатів. Оцінювання здійснюється за окремими показниками з урахуванням їхнього фізичного змісту, одиниць вимірювання та встановлених вимог до функціонування БеНК.

Для показників, що характеризують частку успішно виконаних завдань, зокрема успішність логістичної місії (MSR), передбачено використання відношення кількості успішно виконаних завдань до загальної кількості проведених випробувань. Для часових, енергетичних та інших кількісних характеристик застосовуються методи описової статистики, зокрема визначення середніх значень, мінімальних і максимальних значень, а також характеристик розсіювання результатів.

Окрему увагу приділено обґрунтуванню кількості повторів випробувань. Для первинного функціонального оцінювання запропоновано проведення не менше п'яти повторів, а для визначення частки успішних виконань завдання в установлених сценаріях – не менше десяти прогонів. Зазначені значення розглядаються як мінімальні орієнтири для попереднього оцінювання, а не як універсально достатній обсяг статистичної вибірки. Необхідну кількість повторів для прийняття остаточних рішень слід визначати залежно від характеру СПЕ, очікуваного розсіювання результатів, допустимої похибки та необхідного рівня довіри.

Для оцінювання часових характеристик допускається визначення 95-го перцентиля як додаткової описової характеристики розподілу результатів. Водночас за обсягу вибірки менше 20 спостережень така оцінка характеризується значною статистичною невизначеністю та не може самостійно використовуватися як достатнє обґрунтування відповідності встановленим вимогам. Застосування перцентильних оцінок під час прийняття рішень потребує окремого визначення необхідного обсягу вибірки та оцінювання точності отриманих результатів.

Математичне моделювання розглядається як допоміжний інструмент для розширення діапазону досліджуваних умов застосування БеНК та отримання додаткових розрахункових оцінок СПЕ. Його використання для спільного опрацювання з результатами натурних випробувань передбачає попередню перевірку адекватності моделі на основі експериментальних даних. При цьому необхідно враховувати не лише кореляційний зв'язок між модельними та експериментальними результатами, а й можливі систематичні відхилення, характеристики розсіювання та невизначеність отриманих оцінок.

Математико-статистичний апарат методики передбачає використання імовірнісних характеристик, кореляційних матриць і процедур оцінювання розподілів параметрів для аналізу результатів різних видів випробувань. Його застосування спрямоване на формування узгоджених статистичних оцінок СПЕ за умови виконання відповідних математичних припущень щодо характеристик вихідних даних і похибок оцінювання.

Оцінювання ефективності БеНК передбачає окреме зіставлення кожного СПЕ з пороговими вимогами, якщо такі встановлені в оперативно-тактичних або тактико-технічних вимогах до відповідного зразка. Запропонована методика не передбачає автоматичного обчислення єдиного інтегрального показника ефективності: без обґрунтованих ваг і правил агрегування різнорідні СПЕ не слід підсумовувати. За відсутності порогових значень результати можуть використовуватися для порівняльного аналізу, але не є самостійною підставою для висновку про відповідність установленим вимогам.

Таким чином, запропонована методологія поєднує системне визначення СПЕ, формування сценаріїв випробувань і математико-статистичні процедури опрацювання результатів. Її застосування створює методичні передумови для комплексного оцінювання ефективності БеНК з урахуванням специфіки логістичних і евакуаційних завдань. Експериментальна перевірка результативності запропонованої методики є окремим напрямом подальших досліджень.

Для інтерпретації результатів СПЕ доцільно групувати їх за функціональним призначенням: результативність місії, продуктивність і часові характеристики, ресурсна ефективність, надійність і безпека, експлуатаційна придатність та функціональна сумісність. Кожен показник оцінюється окремо за визначеним сценарієм; у разі невідповідності хоча б одному обов’язковому критерію рішення про відповідність усього зразка не може ґрунтуватися лише на високих значеннях інших СПЕ.

Результати дослідження

Методи випробувань БеНК, призначених для виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації, мають ґрунтуватися на таких основних принципах:

1. **Максимальне наближення до реальних умов застосування**, що передбачає врахування характеру рельєфу місцевості, типу та стану дорожнього покриття, наявності природних і штучних перешкод, транспортного навантаження, а також можливого впливу засобів радіоелектронної боротьби.
2. **Забезпечення відтворюваності результатів випробувань**, що досягається шляхом визначення контрольованих умов проведення експериментів, використання встановлених маршрутів, стандартизованих сценаріїв випробувань і відповідної вимірювальної апаратури.
3. **Єдність методичних підходів до випробувань різних зразків БеНК**, що передбачає застосування порівняльних умов випробувань, однакових критеріїв оцінювання та узгодженої кількості повторів для відповідних сценаріїв.

Реалізація зазначених принципів передбачає послідовне виконання взаємопов'язаних етапів випробувань: планування, підготовки полігону та вимірювальної апаратури, фіксації умов навколишнього середовища, проведення випробувань і статистичного опрацювання отриманих результатів.

На етапі планування визначаються типові маршрути виконання логістичних та евакуаційних завдань з урахуванням їхньої протяжності, особливостей рельєфу місцевості, наявності укриттів, будівель та інших об'єктів. Для кожного сценарію встановлюються СПЕ, які визначаються під час випробувань.

На етапі підготовки полігону здійснюється розмітка контрольних точок маршруту, зокрема початкових, проміжних і кінцевих точок, укриттів та пунктів евакуації. За необхідності облаштовуються ділянки зі штучними перешкодами, ухилами, бордюрами, траншеями та нерівним дорожнім покриттям. Формується карта маршруту із зазначенням ділянок, на яких визначаються відповідні СПЕ.

Одночасно здійснюється підготовка вимірювальної апаратури, зокрема засобів супутникового позиціонування, шумомірів, акселерометрів, температурних датчиків і засобів реєстрації телеметричних даних.

На етапі планування відповідно до положень нормативного документа [1] розробляються програма та методики випробувань з урахуванням їх виду й призначення. Залежно від установленого порядку можуть проводитися дослідні, попередні, міжвідомчі, визначальні відомчі та державні випробування. На етапі проведення випробувань реалізуються затверджені сценарії та реєструються результати вимірювань.

Для кожного сценарію фіксуються умови навколишнього середовища, зокрема температура повітря, погодні умови, стан дорожнього покриття (сухе, вологе, забруднене, засніжене), час доби та рівень освітленості.

Для первинного функціонального оцінювання передбачається проведення не менше 5 повторів кожного сценарію. Водночас кількість повторів, необхідна для отримання статистично обґрунтованих оцінок СПЕ, має визначатися з урахуванням характеру показника, варіативності результатів, допустимої похибки та необхідного рівня довіри.

Результати кожного випробування реєструються у протоколах за єдиною формою, що забезпечує можливість їх подальшого зіставлення та статистичного опрацювання.

На етапі опрацювання результатів для кількісних СПЕ визначаються середні значення, мінімальні та максимальні значення, а за необхідності — характеристики розсіювання результатів. Для часових показників додатково може визначатися 95-й перцентиль, який характеризує значення, що не перевищується приблизно у 95 % спостережень відповідного розподілу.

При цьому для малих вибірок оцінка 95-го перцентиля має переважно описове значення, оскільки характеризується значною статистичною невизначеністю. Її використання для прийняття рішень щодо відповідності встановленим вимогам потребує окремого статистичного обґрунтування.

Для показників, що характеризують частку успішно виконаних завдань, визначається відношення кількості успішно виконаних завдань до загальної кількості проведених випробувань.

За результатами опрацювання отриманих даних формуються висновки щодо кожного СПЕ з урахуванням установлених порогових вимог, якщо такі передбачені оперативно-тактичними або тактико-технічними вимогами до відповідного зразка БеНК.

Випробування БеНК за СПЕ логістичного забезпечення

Показник “Успішність логістичної місії (далі – MSR)”.

Показник характеризує частку успішно виконаних логістичних місій у загальній кількості проведених випробувань.

Сценарій випробування передбачає виконання БеНК із визначеним вантажем рейсу від пункту завантаження до пункту призначення з подальшим поверненням у початкову або іншу встановлену точку маршруту.

Для попереднього оцінювання передбачається проведення не менше 10 повторів випробування. Критеріями успішності місії є доставка вантажу до визначеного пункту без пошкоджень, збереження керованості БеНК, відсутність критичних технічних відмов і завершення маршруту відповідно до встановленого сценарію.

Успішність логістичної місії визначається за формулою (1):

$$MSR = \frac{N_{g_{ucc}}}{N_{tot}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де N_{succ} – кількість успішних місій;

$N_{tot} \geq 10$ – загальна кількість місій.

Отримане значення MSR характеризує емпіричну частку успішних місій за визначених умов випробувань. Для прийняття рішень щодо відповідності встановленим вимогам необхідно враховувати статистичну невизначеність оцінки.

Показник "Час логістичного циклу (LCT)".

Показник характеризує тривалість виконання повного логістичного циклу БеНК, що охоплює рух від початкової точки до пункту призначення, розвантаження та повернення до визначеної кінцевої точки.

Під час випробування реєструються моменти початку руху, прибуття до пункту призначення, завершення розвантаження та завершення логістичного циклу.

Тривалість окремого логістичного циклу визначається за формулою (2):

$$LCT_i = t_{endi} - t_{starti}, \quad (2)$$

Середня тривалість логістичного циклу визначається за формулою (3):

$$\overline{LCT} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} LCT_i, \quad (3)$$

де n – кількість виміряних логістичних циклів (кількість рейсів).

Для оцінювання варіативності тривалості виконання завдань додатково можуть визначатися мінімальне та максимальне значення, стандартне відхилення і 95-й перцентиль. Використання перцентильної оцінки для прийняття рішень потребує врахування обсягу вибірки та статистичної невизначеності.

Показник "Пропускна здатність за масою (PDR)".

Показник характеризує масу вантажу, фактично доставленого БеНК до пункту призначення за одиницю часу під час виконання логістичних завдань.

Для окремого логістичного циклу показник визначається за формулою (4):

$$PDR_i = \frac{m_{payloadi}}{LCT_i}, \quad (4)$$

Для узагальненого оцінювання пропускної здатності за результатами декількох логістичних циклів доцільно використовувати формулу (5):

$$\overline{PDR} = \frac{\sum_{n=1}^{n} m_{payloadi}}{\sum_{n=1}^{n} LCTi}, \quad (5)$$

де $m_{payloadi}$ – маса вантажу, перевезена за один цикл, кг.

Отриманий показник характеризує середню масу вантажу, доставленого за одиницю сумарного часу виконання логістичних циклів, кг/год.

Під час визначення PDR необхідно враховувати масу фактично доставленого вантажу, включаючи результати невдалих місій відповідно до встановлених критеріїв їх завершення. Це дозволяє уникнути завищення продуктивності внаслідок урахування лише успішних рейсів.

Показник "Питома енерговитрата (SEC)".

Показник характеризує кількість енергії, витраченої БеНК на транспортування одиниці маси вантажу на одиницю відстані.

Під час випробувань визначають витрачену енергію, масу фактично доставленого вантажу та довжину маршруту транспортування.

Для окремого логістичного циклу питома енерговитрата визначається за формулою (6):

$$SEC_i = \frac{E_i}{m_{payloadi} \cdot L_{routei}}, \quad (6)$$

Одиниця вимірювання SEC — Вт·год/(кг·км).

Для узагальненого оцінювання питомої енерговитрати за результатами декількох логістичних циклів може використовуватися формула (7):

$$\overline{SEC} = \frac{\sum_{n=1}^{n} E_i}{\sum_{n=1}^{n} (m_{payloadi} \cdot L_{routei})}, \quad (7)$$

де E_i – енергія, витрачена БеНК від початку до завершення одного циклу виконання завдання, Вт·год;

L_{routei} – довжина маршруту циклу, км.

Використання цього показника потребує однакового визначення відстані для всіх порівнюваних зразків БеНК. Зокрема, необхідно встановити, чи враховується повна довжина логістичного циклу, включаючи зворотний рух, чи лише відстань транспортування вантажу.

Для невдалих місій окремо реєструються витрачена енергія, фактично доставлена маса вантажу та тривалість циклу. Якщо маса доставленого вантажу дорівнює нулю, SEC для відповідного циклу математично не визначається; такі цикли не можна довільно вилучати з аналізу загальних енерговитрат. Частку невдалих місій та енергію, витрачену на них, подають окремо разом із SEC для циклів із додатною масою доставки.

Результати визначення MSR, LCT, PDR і SEC використовуються для оцінювання результативності, часових характеристик, транспортної продуктивності та енергетичної ефективності БеНК за встановлених умов виконання логістичних завдань.

Показник "Прохідність із вантажем".

Показник характеризує здатність БеНК долати природні та штучні перешкоди під час транспортування вантажу визначеної маси без втрати стійкості, керованості та пошкодження вантажу.

Для проведення випробувань готуються контрольні ділянки маршруту, які включають ухили різної крутизни, бордюри, траншеї, нерівні ґрунтові ділянки та інші перешкоди, характерні для передбачуваних умов застосування БеНК.

Під час випробувань БеНК із типовим вантажем послідовно долає визначені перешкоди. При цьому фіксуються факти успішного подолання перешкод, збереження стійкості платформи та вантажу, максимальні значення подоланих ухилів, висота вертикальних перешкод і глибина подоланих нерівностей.

Результати оцінювання подаються у вигляді кількісних характеристик прохідності та відомостей про успішність подолання кожного типу перешкод за встановлених умов випробувань.

Показник "Точність дотримання маршруту".

Показник характеризує здатність БеНК рухатися за визначеним маршрутом із допустимими відхиленнями від заданої траєкторії.

Для визначення показника використовуються засоби супутникового позиціонування GPS/RTK або інші системи точного визначення координат, придатні для відповідних умов випробувань.

Під час випробувань фактична траєкторія руху БеНК порівнюється із заданою. У контрольних точках маршруту визначають відхилення фактичного положення платформи від встановленої траєкторії.

За результатами вимірювань визначаються середнє та максимальне відхилення, м. Для ділянок з обмеженим простором маневрування, зокрема вузьких проходів, результати оцінювання фіксуються окремо.

Отримані значення використовуються для оцінювання точності дотримання маршруту за визначених умов руху.

Показник "Стійкість до втрати або погіршення зв'язку".

Показник характеризує здатність БеНК зберігати безпечний режим функціонування та виконувати передбачені алгоритмом дії в умовах втрати або погіршення зв'язку з оператором.

Під час випробувань на визначених ділянках маршруту моделюються повна втрата зв'язку, затримки передавання команд або їх спотворення.

Залежно від установленої логіки функціонування БеНК перевіряється здатність платформи здійснювати безпечну зупинку, автономно завершувати виконання завдання або переміщуватися до визначеної безпечної зони.

Результативність оцінюється за часткою випробувань, під час яких БеНК виконав передбачену алгоритмом реакцію на втрату або погіршення зв'язку.

При цьому успішність виконання алгоритму реагування необхідно відрізняти від успішності завершення логістичної місії, оскільки безпечна зупинка платформи може відповідати встановленим вимогам безпеки, але не означати завершення транспортування вантажу.

Показник "Скритність під час виконання логістичної місії".

Показник характеризує окремі характеристики помітності БеНК під час виконання логістичних завдань, зокрема рівень акустичного випромінювання та теплової помітності.

Для оцінювання акустичної помітності за допомогою шумоміра визначається рівень звуку, створюваного БеНК на встановлених відстанях і за визначених режимів руху. Результати вимірювань фіксуються в дБА із зазначенням швидкості руху, відстані до засобу вимірювання та умов навколишнього середовища.

Для оцінювання теплової помітності використовується тепловізійна апаратура, за допомогою якої визначаються характеристики інфрачервоного контрасту БеНК у різних режимах функціонування.

Результати подаються у вигляді кількісних характеристик акустичної помітності та якісних або кількісних оцінок теплової помітності.

При цьому отримані значення характеризують окремі демаскувальні ознаки БеНК і не можуть самостійно розглядатися як комплексна оцінка його скритності в умовах бойового застосування.

Показник "Живучість у разі пошкоджень".

Показник характеризує здатність БеНК зберігати функціональну спроможність або переходити до безпечного режиму функціонування за умов виникнення визначених технічних пошкоджень чи відмов.

Під час випробувань моделюються окремі сценарії пошкоджень, зокрема відмова одного колеса, модуля приводу або основного сенсора, що використовується під час виконання логістичного завдання.

Для кожного сценарію перевіряється здатність БеНК завершити поточну місію або здійснити контрольований відхід до безпечної зони.

Показник визначається як частка успішно завершених логістичних місій за встановлених сценаріїв пошкоджень.

Результати оцінювання доцільно подавати окремо для кожного типу пошкодження, оскільки різні відмови можуть мати неоднаковий вплив на функціональну спроможність БеНК.

Показник "Час заміни батареї в польових умовах".

Показник характеризує тривалість виконання операції із заміни акумуляторної батареї БеНК в умовах, наближених до польових.

Випробування проводяться із залученням розрахунку у складі двох-трьох військовослужбовців. Передбачається виконання не менше трьох повторів операції із заміни батареї.

Під час випробувань фіксується час від початку виконання операції із заміни батареї до завершення її встановлення та підтвердження готовності БеНК до подальшого функціонування.

За результатами випробувань визначається середня тривалість заміни батареї, хв, а також виявляються чинники, які можуть ускладнювати виконання операції, зокрема маса батареї, доступність місця встановлення та особливості її кріплення.

Показник "Безпека під час роботи поряд з особовим складом".

Показник характеризує здатність БеНК забезпечувати безпечне функціонування під час руху та маневрування поблизу особового складу.

Під час формування сценаріїв випробувань можуть враховуватися окремі положення ДСТУ EN ISO 3691-4:2024 [18] щодо безпеки самохідних транспортних засобів. Водночас застосування зазначеного стандарту до військових БеНК потребує врахування їх функціонального призначення та специфічних умов експлуатації.

Сценарії випробувань передбачають моделювання ситуацій появи людини в зоні руху БеНК, перетинання нею траєкторії руху платформи та перебування поблизу БеНК під час маневрування заднім ходом.

Під час випробувань оцінюються правильність функціонування систем виявлення перешкод, своєчасність спрацювання систем гальмування та дотримання встановлених безпечних відстаней.

Результати випробувань використовуються для визначення відповідності функціонування БеНК установленим вимогам безпеки за відповідними сценаріями.

Випробування БеНК за СПЕ медичної евакуації

Показник "Успішність медичної евакуації".

Показник характеризує частку успішно виконаних завдань медичної евакуації із застосуванням БеНК за встановлених умов випробувань.

Сценарій передбачає використання БеНК, обладнаного ношами, на яких розміщується ваговий макет або манекен, що імітує пораненого. БеНК здійснює переміщення від визначеної точки евакуації до укриття або пункту надання медичної допомоги.

Для попереднього оцінювання передбачається проведення не менше 10 повторів випробування.

Критеріями успішного виконання завдання є доставка умовно пораненого до визначеного пункту, збереження працездатності БеНК, надійність фіксації нош і відсутність неконтрольованих ситуацій, зокрема падіння нош або втрати стійкості платформи.

Успішність медичної евакуації визначається як відношення кількості успішно завершених евакуацій до загальної кількості проведених випробувань, виражене у відсотках.

Отримане значення характеризує результативність виконання евакуаційних завдань за встановлених умов. Для статистично обґрунтованого оцінювання необхідно враховувати кількість повторів і невизначеність отриманої оцінки.

Показник "Час доставки умовно пораненого до укриття або пункту медичної допомоги".

Показник характеризує тривалість транспортування умовно пораненого від завершення його завантаження та фіксації на БеНК до прибуття платформи в пункт призначення. Час завантаження, вивантаження та передачі умовно пораненого реєструється окремо і не включається до цього показника.

Під час випробувань за допомогою секундоміра або засобів автоматичної реєстрації фіксують момент початку руху після завантаження та момент прибуття в пункт призначення. Загальна тривалість евакуаційного циклу, якщо її визначають додатково, також охоплює час підготовчих і завершальних операцій без подвійного зарахування.

За результатами повторних випробувань визначаються середня тривалість евакуації, мінімальне та максимальне значення, а за достатнього обсягу статистичних даних — 95-й перцентиль.

Отримані характеристики використовуються для оцінювання часових параметрів медичної евакуації за визначених умов маршруту, транспортного навантаження та режиму функціонування БеНК.

При цьому 95-й перцентиль характеризує верхню частину розподілу тривалості евакуації, однак не є безпосередньою оцінкою найгіршого можливого випадку.

Показник "Час завантаження та вивантаження нош з умовно пораненим".

Показник характеризує тривалість виконання операцій зі зняття, встановлення та фіксації нош на БеНК під час підготовки до медичної евакуації та її завершення.

Для проведення випробувань БеНК із ношами розміщується поблизу точки, у якій перебуває умовно поранений. Двоє військовослужбовців знімають ноші з платформи, розміщують на них умовно пораненого, здійснюють завантаження нош на БеНК та їх фіксацію.

Після завершення транспортування виконується зворотна операція — зняття нош з умовно пораненого з платформи.

Окремо визначається тривалість:

- зняття нош із БеНК та підготовка їх до розміщення умовно пораненого;
- завантаження й фіксації нош з умовно пораненим на БеНК;
- вивантаження нош з умовно пораненим після завершення транспортування.

За результатами випробувань визначаються тривалість кожної операції та загальний час завантаження й вивантаження.

Критерієм ефективності є скорочення тривалості зазначених операцій за умови дотримання встановлених вимог безпеки та надійності фіксації нош.

Показник "Стійкість БеНК до втрати зв'язку під час медичної евакуації".

Показник характеризує здатність БеНК виконувати передбачені алгоритмом дії в умовах втрати зв'язку з оператором під час транспортування умовно пораненого.

У процесі випробувань на визначеній ділянці маршруту моделюється втрата зв'язку між БеНК та оператором.

Залежно від установленої логіки функціонування перевіряється здатність БеНК продовжувати автономний рух за маршрутом, здійснювати безпечну зупинку або виконувати інші передбачені алгоритмом дії.

Результати оцінюються за часткою випробувань, під час яких БеНК правильно відреагував на втрату зв'язку.

Окремо визначається частка евакуацій, успішно завершених після відновлення зв'язку або в автономному режимі.

Такий підхід дозволяє розмежувати безпечність реагування на втрату зв'язку та результативність завершення евакуаційного завдання.

Показник "Живучість у разі пошкоджень під час медичної евакуації".

Показник характеризує здатність БеНК зберігати функціональну спроможність під час транспортування умовно пораненого за визначених сценаріїв технічних пошкоджень або відмов.

Під час випробувань моделюються окремі відмови елементів ходової частини та сенсорів, задіяних у виконанні евакуаційного завдання.

Для кожного сценарію перевіряється здатність БеНК безпечно завершити транспортування умовно пораненого або виконати контрольоване переміщення до визначеної безпечної зони.

Результативність визначається як частка успішно завершених евакуацій за встановлених сценаріїв пошкоджень.

Випадки безпечного припинення руху без завершення евакуації реєструються окремо, оскільки вони свідчать про правильне функціонування захисних алгоритмів, але не підтверджують успішного виконання евакуаційного завдання.

Показник "Підтримка медичної телеметрії" (за наявності).

Показник характеризує здатність БеНК забезпечувати передавання медичних даних від засобів контролю стану умовно пораненого до пункту медичної допомоги або стаціонарного приймального обладнання під час руху.

Випробування проводяться за умови оснащення БеНК відповідними засобами медичної телеметрії та передавання даних.

Під час руху за визначеним маршрутом перевіряються безперервність передавання даних, наявність перерв зв'язку та їх тривалість.

Результативність оцінюється за часткою часу, протягом якого забезпечувалося передавання медичних даних без перерв, що перевищують установлені допустимі значення.

Критичність перерв визначається залежно від характеристик медичних параметрів, що передаються, та вимог до відповідного обладнання.

За відсутності засобів медичної телеметрії показник не визначається, а відповідна обставина зазначається в матеріалах випробувань.

Показник "Взаємна сумісність".

Показник характеризує здатність БеНК взаємодіяти зі штатними засобами управління та зв'язку підрозділу через передбачені інтерфейси й сервіси обміну даними.

Для проведення випробувань використовується лабораторний комплекс, до якого підключаються БеНК та відповідні засоби управління і зв'язку.

Перевірка здійснюється з урахуванням положень профілю UGV IOP/JAUS [19]. Послідовно тестуються сервіси керування рухом, отримання інформації про стан платформи та управління корисним навантаженням.

Для кожного сервісу фіксуються результат виконання операції, час реакції системи та виявлені помилки.

Додатково, за необхідності, оцінюються можливості інтеграції БеНК відповідно до архітектурних підходів NGVA [20], зокрема наявність інтерфейсів передавання даних, відеоінформації та синхронізації часу.

Результати оцінювання подаються у вигляді частки успішно реалізованих сервісів із переліку передбачених вимогами, орієнтовної трудомісткості інтеграції (людино-години) та відомостей про наявність протоколів випробувань.

Отримані результати характеризують функціональну сумісність БеНК із визначеними засобами управління та зв'язку за встановлених умов перевірки.

Результати випробувань БеНК за специфічними показниками ефективності логістичного забезпечення та медичної евакуації підлягають статистичному опрацюванню й оформленню у вигляді карт оцінювання.

Для кожного СПЕ залежно від його змісту та способу вимірювання визначаються:

1. Середнє значення показника.
2. Мінімальне та максимальне значення.
3. Характеристики варіативності результатів.
4. 95-й перцентиль для показників, щодо яких його використання є методологічно обґрунтованим.

5. Відповідність або невідповідність установленим пороговим вимогам, якщо такі визначені оперативно-тактичними або тактико-технічними вимогами до БеНК.

Порядок інтерпретації результатів: (1) перевірити повноту протоколів та зіставність умов випробувань; (2) розрахувати кожний СПЕ з урахуванням невдалих місій та невизначеності оцінок; (3) зіставити результати з установленими для відповідного сценарію порогами; (4) окремо позначити показники, для яких пороги не визначено або статистичних даних недостатньо; (5) сформулювати висновок за кожним показником і загальний описовий висновок без необґрунтованого інтегрального бала. Остаточне рішення про відповідність зразка ухвалюється згідно з чинною програмою та методикою випробувань.

Оцінювання СПЕ БеНК потребує достатнього обсягу статистичних даних і відповідного випробувального обладнання. Водночас проведення повного комплексу натурних випробувань може обмежуватися наявністю спеціально обладнаного полігону, ресурсними витратами та складністю відтворення окремих умов застосування.

За таких обставин результати натурних випробувань доцільно доповнювати результатами математичного моделювання, що дозволяє досліджувати функціонування БеНК у ширшому діапазоні умов і факторів впливу [21].

Необхідною умовою використання результатів математичного моделювання є перевірка адекватності моделі шляхом зіставлення розрахункових значень СПЕ з відповідними експериментальними даними. Таке зіставлення має враховувати не лише статистичний зв'язок між результатами, а й можливі систематичні відхилення, похибки вимірювання та невизначеність оцінок.

Відповідно до нормативних положень щодо організації випробувань озброєння та військової техніки [1], результати попередніх і державних випробувань можуть використовуватися як експериментальна основа для оцінювання адекватності математичних моделей за умови зіставності сценаріїв та умов їх проведення.

Для спільного опрацювання результатів різних видів випробувань можуть застосовуватися комбінаційні методи визначення імовірнісних характеристик [22].

Використання зазначених методів передбачає формування статистичних оцінок параметрів досліджуваної системи та їх еталонного представлення, визначення відповідних кореляційних характеристик і встановлення умов, за яких поєднання експериментальних та модельних даних забезпечує прийнятну точність оцінювання.

Подальший математичний опис ґрунтується на визначенні векторів імовірнісних характеристик параметрів стану досліджуваної системи та її еталонного представлення. На відміну від безпосередньо вимірюваних СПЕ (формули (1)–(7)), формули (8)–(18) становлять допоміжний апарат статистичного узгодження та аналізу невизначеності; їх практичне застосування до конкретного СПЕ потребує окремого визначення випадкових величин, вихідних даних і перевірки припущень.

Для визначення імовірнісних характеристик СПЕ БеНК за результатами випробувань і математичного моделювання розглянемо вектори параметрів стану досліджуваної системи та її еталонного представлення.

Шукані імовірнісні характеристики визначаються через відповідні функції параметрів стану системи та їхні математичні сподівання.

За результатами попередніх випробувань БеНК і математичного моделювання, проведених за зіставних умов, визначаються статистичні оцінки відповідних імовірнісних характеристик за формулами (8) та (9).

$$\phi^* = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} A_i \tag{8}$$

$$\psi^* = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} B_i \tag{9}$$

Для спільного опрацювання результатів стендових випробувань і математичного моделювання розглянемо можливість визначення комбінованої оцінки імовірнісних характеристик досліджуваної системи.

За умови виконання відповідних статистичних припущень така оцінка може визначатися з використанням критерію мінімізації дисперсії похибки оцінювання за формулою (10).

$$\phi = \phi^* - D_{AB} \cdot D^{-1}{}_{BB} \cdot (\phi^* - \phi), \tag{10}$$

де D_{AB} та D_{BB} – кореляційні матриці.

У наведеній залежності використовуються кореляційні матриці, які характеризують статистичні зв'язки між відповідними випадковими величинами.

Порядок визначення зазначених матриць наведено у формулах (11) і (12).

$$D_{BB} = n^{-1} \cdot \sum_{i-1}^{n} (B_i - \psi) \cdot (B_i - \psi)^T, \tag{11}$$

а замість матриці D_{AB} в формулі (10) використаємо її статистичну оцінку за формулою (12)

$$D^*{}_{AB} = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (A_i - \phi^*) \cdot (B_i - \psi)^T, \tag{12}$$

де символ T означає транспонування матриці.

Для характеристики статистичного зв'язку між результатами випробувань і математичного моделювання використовується коефіцієнт кореляції, який визначається за формулою (13).

$$k_{AB} = D^*{}_{AB} \cdot (D_{AA} \cdot D_{BB})^{-1/2}, \tag{13}$$

Використання кореляційних характеристик дає змогу оцінити потенційну доцільність спільного опрацювання експериментальних і модельних даних.

Водночас високий рівень кореляції не є достатнім підтвердженням адекватності математичної моделі, оскільки не виключає наявності систематичних відхилень між результатами моделювання та експериментальними даними.

Тому оцінювання ефективності поєднання результатів випробувань і моделювання має передбачати перевірку статистичних припущень, аналіз похибок та визначення невизначеності отриманих оцінок.

За таких умов використання комбінованих оцінок може створювати передумови для підвищення точності визначення імовірнісних характеристик СПЕ БеНК.

За наявності кількісних характеристик випадкових відхилень, отриманих під час стендових випробувань, можна оцінити вплив відповідних факторів на розподіл специфічних показників ефективності БеНК.

Якщо відомі статистичні характеристики вектора параметрів БеНК та факторів, що впливають на його значення, щільність розподілу досліджуваних показників може бути визначена за допомогою відповідних імовірнісних залежностей.

У загальному вигляді щільність розподілу параметрів БеНК з урахуванням визначеного фактора впливу описується формулою (14).

$$f(\underline{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\underline{x}/F) \cdot f(F) dF, \tag{14}$$

де $\underline{x}$ – вектор параметрів БеНК, що оцінюються;

F – визначений фактор впливу.

Для врахування сукупності випадкових факторів необхідно визначити характер їхнього впливу на досліджувані параметри та відповідні статистичні характеристики.

За умови незалежності випадкових факторів і адитивного характеру їхнього впливу розподіл сумарного відхилення може визначатися шляхом послідовного згортання відповідних функцій щільності ймовірності.

Урахування сукупності факторів впливу здійснюється відповідно до залежності (15).

$$f_{Fi}(\underline{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} f\left(\underline{x} / F\right) \cdot f\left(F_i\right) dF_i, \tag{15}$$

де dF_i – масив факторів впливу.

Використання операції згортки дає змогу визначити розподіл сумарного випадкового впливу на параметри БеНК за умови виконання відповідних математичних припущень.

Послідовність застосування операції згортки для врахування окремих факторів впливу наведено у формулах (16) і (17).

$$f_{F_1F_2}(\underline{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{F_2}(\underline{x} - \underline{x}_1) \cdot f_{F_1}(\underline{x}_1) d\underline{x}_1, \tag{16}$$

$$f_{F_1F_2F_3}(\underline{x}) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f_{F_3}(\underline{x} - \underline{x}_2) \cdot f_{F_2}(\underline{x}_2 - \underline{x}_1) \cdot f_{F_1}(\underline{x}_1) d\underline{x}_1 d\underline{x}_2 \tag{17}$$

Узагальнення зазначеного підходу для сукупності n випадкових факторів впливу представлено формулою (18).

$$f_{F_1F_2\ldots Fn}(\underline{x}) = \int_{-\infty}^{\infty}\ldots\int_{-\infty}^{\infty} \prod_{k=2}^{n-1} \left[f_{Fk}(\underline{x}_k - \underline{x}_{k-1})\right] \cdot f_{Fn}(\underline{x} - \underline{x}_{n-1}) \cdot f_{F_1}(\underline{x}_1) d\underline{x}_{n-1}\ldots d\underline{x}_1 \tag{18}$$

Таким чином, використання математико-статистичного апарату дозволяє враховувати варіативність параметрів БеНК, зумовлену впливом випадкових факторів, та формувати імовірнісні оцінки відповідних СПЕ.

Водночас достовірність отриманих результатів залежить від коректності прийнятих припущень щодо розподілів випадкових величин, характеру їх взаємозв'язків, повноти врахування факторів впливу та адекватності математичної моделі.

Для практичного застосування запропонованого підходу необхідно забезпечити перевірку модельних результатів за експериментальними даними, оцінити похибки вимірювання та визначити статистичну невизначеність отриманих характеристик.

Поєднання результатів натурних випробувань і математичного моделювання може сприяти підвищенню обґрунтованості оцінювання СПЕ БеНК за умови підтвердження адекватності моделі та коректного застосування методів статистичного опрацювання даних.

Обговорення

Результати дослідження свідчать про доцільність удосконалення науково-методичних підходів до оцінювання ефективності застосування БеНК під час виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації. На відміну від підходів, орієнтованих переважно на перевірку відповідності окремих технічних характеристик установленим тактико-технічним вимогам, запропонована методика передбачає оцінювання спроможності БеНК виконувати визначені функціональні завдання за сукупністю СПЕ.

Порівняння запропонованого підходу з положеннями нормативних документів [1–4, 12–16] дає підстави стверджувати, що стандартизовані процедури випробувань створюють необхідну основу для визначення технічних характеристик, надійності та стійкості зразків озброєння і військової техніки до впливу зовнішніх чинників. Водночас оцінювання результативності виконання конкретних логістичних та евакуаційних завдань потребує врахування додаткових функціональних показників, які характеризують не лише технічний стан платформи, а й ефективність її застосування за призначенням. У цьому контексті запропонована методика доповнює наявні процедури випробувань, не замінюючи встановлених нормативних вимог.

Отримані теоретико-методичні результати узгоджуються із загальними положеннями досліджень розвитку наземних роботизованих комплексів [5] та визначенням специфічних показників їхньої ефективності під час виконання завдань логістичного й медичного забезпечення [6]. Разом із тим, у запропонованій методиці основну увагу приділено формуванню послідовності випробувань, визначенню умов вимірювання СПЕ та статистичному опрацюванню результатів. Це створює передумови для переходу від теоретичного визначення показників до їх практичного застосування під час оцінювання перспективних зразків БеНК.

Порівняння з методичними підходами до обґрунтування тактико-технічних вимог, представленими у працях [7, 8], засвідчує спільність принципів системного врахування функціонального призначення технічних засобів та умов їх застосування. Водночас особливістю запропонованої методики є орієнтація на оцінювання результативності завершених логістичних та евакуаційних місій. Використання таких показників, як успішність виконання місії, тривалість логістичного циклу, транспортна продуктивність, питома енерговитрата, стійкість до втрати зв'язку та живучість у разі пошкоджень, дає змогу характеризувати спроможності БеНК з урахуванням їхнього функціонального призначення.

Важливим аспектом запропонованого підходу є диференціація показників ефективності залежно від характеру виконуваних завдань. Для логістичного забезпечення визначальне значення мають успішність доставки вантажів, тривалість транспортного циклу, транспортна продуктивність і енергетична ефективність. Натомість під час медичної евакуації особливого значення набувають безпечність транспортування умовно пораненого, тривалість евакуації, стійкість платформи до порушення зв'язку та здатність виконувати передбачені алгоритмом дії в умовах технічних відмов. Такий розподіл показників дозволяє враховувати відмінності між завданнями, що виконуються за допомогою роботизованих платформ.

Окремої уваги заслуговує використання положень стандартів ASTM F45 [9–11], STANAG 4370/AECTP [12–16] та вимог безпеки [18] під час розроблення сценаріїв випробувань. Застосування відповідних стандартизованих підходів сприяє уніфікації процедур вимірювання, забезпеченню відтворюваності результатів і створенню порівнянних умов оцінювання різних зразків БеНК. Водночас адаптація цих процедур до умов бойового застосування потребує врахування особливостей рельєфу місцевості, стану дорожнього покриття, транспортного навантаження, обмежень зв'язку та можливих технічних пошкоджень. При цьому необхідно розмежовувати вимоги стандартів, призначених для загальних або промислових роботизованих систем, і специфічні вимоги до військових БеНК.

Суттєвою складовою запропонованої методики є поєднання результатів натурних випробувань із математичним моделюванням. Такий підхід має потенціал для зменшення обсягу ресурсомістких випробувань і розширення діапазону умов застосування БеНК. Однак достовірність отриманих оцінок залежить від адекватності математичної моделі, повноти врахування факторів впливу та ступеня узгодженості модельних результатів з експериментальними даними. Тому використання результатів моделювання для обґрунтування висновків щодо ефективності БеНК має передбачати попередню перевірку моделі за результатами натурних випробувань.

Запропонований математико-статистичний апарат, зокрема використання кореляційних характеристик і процедур оцінювання розподілів параметрів, створює теоретичні передумови для спільного опрацювання результатів різних видів випробувань. Разом із тим ефективність такого поєднання залежить не лише від статистичного зв'язку між результатами моделювання та експерименту, а й від відсутності істотних систематичних відхилень моделі. Високий коефіцієнт кореляції сам по собі не підтверджує узгодженості результатів. Відповідно, під час практичного застосування методики доцільно передбачати оцінювання похибок моделювання, аналіз статистичної невизначеності та перевірку стійкості отриманих оцінок до зміни вихідних умов.

Важливим методологічним обмеженням є залежність точності визначення СПЕ від кількості повторів випробувань. Запропоновані мінімальні обсяги вибірок можуть використовуватися для первинного функціонального оцінювання БеНК, однак не завжди забезпечують достатню статистичну точність для ухвалення остаточних рішень щодо відповідності встановленим вимогам. Особливо це стосується оцінювання рідкісних відмов, частки успішних місій та граничних значень часових характеристик. Тому під час практичного застосування методики кількість повторів доцільно визначати залежно від допустимої похибки, необхідного рівня довіри та варіативності досліджуваних показників.

Практична значущість запропонованої методики полягає в можливості використання її положень під час розроблення програм і методик випробувань перспективних БеНК, уточнення оперативно-тактичних вимог та порівняльного оцінювання роботизованих платформ різного функціонального призначення. Застосування єдиної системи СПЕ може сприяти підвищенню обґрунтованості рішень щодо вибору технічних засобів для виконання логістичних і евакуаційних завдань. Водночас для безпосереднього використання результатів оцінювання під час прийняття рішень необхідно встановити порогові значення показників та правила визначення відповідності БеНК заданим вимогам.

Основним обмеженням проведеного дослідження є теоретико-методичний характер отриманих результатів. У роботі сформовано систему показників, запропоновано сценарії випробувань і математичний апарат для опрацювання даних, однак не наведено результатів експериментальної апробації методики на конкретних зразках БеНК. У зв'язку з цим, висновки щодо можливого підвищення точності оцінювання, скорочення тривалості випробувань та зменшення невизначеності під час прийняття рішень слід розглядати як очікувані результати практичного впровадження, що потребують подальшого підтвердження.

Перспективними напрямами подальших досліджень є експериментальна перевірка запропонованої методики на зразках БеНК різних класів, уточнення порогових значень СПЕ, обґрунтування необхідного обсягу випробувань і розроблення процедур багатокритеріального порівняння роботизованих платформ. Окремого дослідження потребує визначення умов, за яких результати математичного моделювання можуть використовуватися разом із результатами натурних випробувань без істотного зниження достовірності оцінювання.

Отже, запропонована методика формує науково-методичне підґрунтя для оцінювання сукупності специфічних показників ефективності застосування БеНК під час виконання завдань логістичного забезпечення та медичної евакуації. Її основна особливість полягає у функціональній орієнтації показників і поєднанні стандартизованих сценаріїв випробувань зі статистичним аналізом. Методика не встановлює єдиного інтегрального рейтингу зразків; можливості багатокритеріального агрегування та переваги спільного використання модельних і експериментальних даних потребують окремого обґрунтування й апробації.

Висновки

Удосконалено науково-методичний підхід до оцінювання ефективності застосування безекіпажних наземних комплексів шляхом систематизації специфічних показників ефективності виконання завдань логістичного забезпечення та медичної евакуації, а також поєднання процедур натурних випробувань із математико-статистичним опрацюванням їх результатів. Особливість запропонованого підходу полягає в орієнтації на оцінювання функціональної спроможності БеНК під час виконання визначених завдань, на відміну від підходів, зосереджених переважно на перевірці відповідності окремих технічних характеристик установленим тактико-технічним вимогам. Визначено основні фактори, які необхідно враховувати під час оцінювання ефективності застосування БеНК, зокрема, особливості рельєфу місцевості, наявність перешкод, умови зв'язку та вплив засобів радіоелектронної боротьби.

Уточнено порядок математико-статистичного опрацювання результатів випробувань БеНК із використанням характеристик розподілу досліджуваних показників та можливістю залучення результатів математичного моделювання. Запропоновано враховувати середні, мінімальні та максимальні значення СПЕ, а також додаткові статистичні характеристики залежно від змісту показників і необхідної точності оцінювання. Обґрунтовано доцільність застосування трьох основних принципів організації випробувань: максимального наближення до умов бойового застосування, відтворюваності результатів та однотипності підходів до оцінювання різних зразків БеНК.

Систематизовано послідовність основних етапів реалізації запропонованої методики, що охоплює планування маршрутів, підготовку полігону та штучних перешкод, визначення сценаріїв виконання логістичних і евакуаційних завдань, інструментальну фіксацію умов середовища, вимірювання СПЕ та статистичне опрацювання отриманих результатів. Запропонований порядок може бути використаний під час розроблення програм і методик дослідних, попередніх, міжвідомчих, визначальних відомчих та державних випробувань відповідно до їхнього призначення й установлених нормативних вимог.

Отримані результати створюють теоретико-методичні передумови для підвищення обґрунтованості оцінювання ефективності застосування БеНК під час виконання завдань логістичного забезпечення бойових дій та медичної евакуації. Використання запропонованої методики потенційно може сприяти зменшенню невизначеності під час ухвалення рішень щодо прийняття зразків на озброєння та раціоналізації обсягу випробувань. Водночас підтвердження зазначених ефектів потребує експериментальної апробації методики та порівняння її результатів з оцінками, отриманими за наявними підходами.

Результати дослідження формують науково-методичне підґрунтя для вдосконалення оперативно-тактичних вимог до перспективних БеНК у Силах оборони України. До складу таких вимог доцільно включати показники ефективності виконання логістичних завдань та медичної евакуації, визначені з урахуванням функціонального призначення, умов застосування й технічних можливостей відповідних платформ. Практичне застосування цих положень може сприяти обґрунтованому вибору роботизованих комплексів, призначених для зменшення ризиків для життя і здоров'я особового складу під час виконання логістичних та евакуаційних завдань.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів.

Використання штучного інтелекту

Мовне редагування, переклад, технічна перевірка тексту.

Список використаних джерел

1. ДСТУ В 15.211:2023. Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Програми і методики випробувань. Основні положення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 18 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102731 (дата звернення: 04.09.2026).
2. Лаппо І. М., Червотока О. В., Геращенко М. О. Аналіз стандартів НАТО щодо відповідності зразків озброєння та військової техніки до впливу кліматичних факторів. Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ. 2021. № 1 (7). С. 49–60. DOI: https://doi.org/10.37701/dndivsovt.7.2021.06.

3. Про утворення Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки : постанова Кабінету Міністрів України від 18.10.2017 № 786. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/786-2017-%D0%BF (дата звернення: 04.09.2026).
4. Методики визначальних відомчих випробувань наземного роботизованого комплексу – наземної роботизованої платформи РСВК-М3 виробництва ТОВ КБ «РОБОТИКС». Чернігів : ДНДІ ВС ОВТ, 2020.
5. Дачковський, В., & КаламурзаО. (2025). Аналіз розвитку наземних роботизованих комплексів. *Social Development and Security*, *15*(3), 223-236. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.20
6. Гудима В. П., Куртсеітов Т. Л., Нікітін А. А., Ярошенко О. В. Специфічні показники ефективності наземних роботизованих комплексів в умовах логістичного і медичного забезпечення операцій (бойових дій). Соціальний розвиток і безпека. 2026. Т. 16, № 3. С. 448–460. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.3.28.
7. Дачковський , В. (2019). Методика обґрунтування тактико-технічних вимог до рухомих засобів ремонту озброєння та військової техніки. *Social Development and Security*, *9*(6), 86-101. https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.6.7
8. Коцюруба В. І., Дачковський В. О. Методика обґрунтування тактико-технічних вимог до засобів технічної розвідки. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2022. Вип. 1 (17). С. 37–47. DOI: https://doi.org/10.37129/2313-7509.2022.17.37-47.
9. F45 on Robotics, Automation and Autonomous Systems. ASTM International : вебсайт. URL: https://www.astm.org (дата звернення: 02.08.2026).
10. Standard Test Method for Navigation: Defined Area. ASTM F3244-17. Book of Standards. Vol. 15.13. 12 p. DOI: https://doi.org/10.1520/F3244-17.
11. Standard Test Method for Grid-Video Obstacle Measurement. ASTM F3265-17(2023). Book of Standards. Vol. 15.13. 11 p. DOI: https://doi.org/10.1520/F3265-17R23
12. ВСТ 01.055.006–2021 (01). Озброєння та військова техніка. Випробування. Умови навколишнього середовища (STANAG 4370 Edition 7 / АЕСТР-200 Edition 4, Environmental Conditions, IDT). 2021. 14 с.
13. ВСТ 01.055.007–2021 (01). Озброєння та військова техніка. Випробування. Кліматичні умови (STANAG 4370 Edition 7/АЕСТР-230 Edition 1, Climatic Conditions, IDT). 2021. 204 с.
14. ВСТ 01.055.008–2021 (01). Озброєння та військова техніка. Випробування. Механічні умови (STANAG 4370 Edition 7/АЕСТР-240 Edition 1, Mechanical Conditions, IDT). 2021.
15. ВСТ 01.055.010–2021 (01). Озброєння та військова техніка. Випробування. Методи та порядок проведення кліматичних випробувань (STANAG 4370 Edition 7/АЕСТР-300 Edition D, Climatic Environmental Tests, IDT). 2021. 468 с.
16. ВСТ 01.055.011–2021 (01). Озброєння та військова техніка. Випробування. Методи та порядок проведення механічних випробувань (STANAG 4370 Edition 7/АЕСТР-400 Edition D, Mechanical Environmental Tests, IDT). 2021. 948 с.
17. Лаппо І. М., Приходько С. М., Мартинюк С. С. Аналіз положень національних стандартів щодо випробувань ОВТ на вплив механічних факторів. Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ. 2021. № 3 (9). С. 79–87. DOI: https://doi.org/10.37701/dndivsovt.9.2021.11.
18. ДСТУ EN ISO 3691-4:2024. Промисловий вантажний транспорт. Вимоги безпеки та перевіряння. Частина 4. Самохідний транспорт та його системи (EN ISO 3691-4:2023, IDT; ISO 3691-4:2023, IDT). URL: https://online.budstandart.com (дата звернення: 13.08.2026).
19. Mazzare M. UGV Interoperability Profile (IOP) Capabilities Plan for Version 0. 2011. 26 p. DOI: https://doi.org/10.21236/ADA554246.
20. NATO Standard AEP-4754. NATO Generic Vehicle Architecture (NGVA) for Land Systems. Vol. VI: Safety. 2018. 52 p. URL: https://nso.nato.int/nso. (дата звернення: 13.08.2026).

21. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології : науковий збірник / Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України. 2010. Вип. 12. 215 с.
22. Вентцель О. С., Овчаров Л. А. Теорія випадкових процесів і її інженерні додатки. 4-те вид. Москва : Вища школа, 2007. 479 с.

References

1. DSTU V 15.211:2023. (2023). Systema keruvannia zhyttievym tsyklom ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Prohramy i metodyky vyprobuvan. Osnovni polozhennia [Life cycle management system for armaments and military equipment. Test programs and methods. General provisions]. DP "UkrNDNTs". https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102731
2. Lappo, I. M., Chervotoka, O. V., & Herashchenko, M. O. (2021). Analiz standartiv NATO shchodo vidpovidnosti zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky do vplyvu klimatychnykh faktoriv [Analysis of NATO standards concerning the compliance of armaments and military equipment with climatic factors]. Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT, 1(7), 49–60. https://doi.org/10.37701/dndivsovt.7.2021.06
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2017, October 18). Pro utvorennia Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky [On the establishment of the State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification] (Resolution No. 786). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/786-2017-%D0%BF
4. Derzhavnyi naukovo-doslidnyi instytut vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. (2020). Metodyky vyznachalnykh vidomchykh vyprobuvan nazemnoho robotyzovanoho kompleksu – nazemnoi robotyzovanoi platformy RSVK-M3 vyrobnytstva TOV KB "ROBOTYKS" [Methods for departmental qualification testing of the RSVK-M3 ground robotic platform manufactured by ROBOTICS Design Bureau].
5. Dachkovskyi, V. O., & Kalamurza, O. H. (2025). Analiz rozvytku nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv [Analysis of the development of ground robotic systems]. Social Development and Security, 15(3), 223–236. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.20
6. Hudyma, V. P., Kurtseitov, T. L., Nikitin, A. A., & Yaroshenko, O. V. (2026). Spetsyfichni pokaznyky efektyvnosti nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv v umovakh lohistychnoho i medychnoho zabezpechennia operatsii (boiovykh dii) [Specific performance indicators of ground robotic systems in logistics and medical support of military operations]. Social Development and Security, 16(3), 448–460. https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.3.28
7. Dachkovskyi, V. O. (2019). Metodyka obgruntuvannia taktyko-tekhnichnykh vymoh do rukhomykh zasobiv remontu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky [Methodology for substantiating tactical and technical requirements for mobile armament and military equipment repair facilities]. Social Development and Security, 9(6), 86–101. https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.6.7
8. Kotsiuruba, V. I., & Dachkovskyi, V. O. (2022). Metodyka obgruntuvannia taktyko-tekhnichnykh vymoh do zasobiv tekhnichnoi rozvidky [Methodology for substantiating tactical and technical requirements for technical reconnaissance equipment]. Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoi akademii (m. Odesa), 1(17), 37–47. https://doi.org/10.37129/2313-7509.2022.17.37-47
9. ASTM International. (n.d.). F45 on robotics, automation and autonomous systems. https://www.astm.org
10. ASTM International. (2017). Standard test method for navigation: Defined area (ASTM F3244-17). https://doi.org/10.1520/F3244-17

11. ASTM International. (2023). Standard test method for grid-video obstacle measurement (ASTM F3265-17(2023)). https://doi.org/10.1520/F3265-17R23
12. VST 01.055.006–2021 (01). (2021). Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. Vyprobuvannia. Umovy navkolyshnoho seredovyshcha [Armaments and military equipment. Testing. Environmental conditions] (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-200 Edition 4, IDT).
13. VST 01.055.007–2021 (01). (2021). Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. Vyprobuvannia. Klimatychni umovy [Armaments and military equipment. Testing. Climatic conditions] (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-230 Edition 1, IDT).
14. VST 01.055.008–2021 (01). (2021). Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. Vyprobuvannia. Mekhanichni umovy [Armaments and military equipment. Testing. Mechanical conditions] (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-240 Edition 1, IDT).
15. VST 01.055.010–2021 (01). (2021). Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. Vyprobuvannia. Metody ta poriadok provedennia klimatychnykh vyprobuvan [Armaments and military equipment. Testing. Methods and procedures for climatic environmental testing] (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-300 Edition D, IDT).
16. VST 01.055.011–2021 (01). (2021). Ozbroiennia ta viiskova tekhnika. Vyprobuvannia. Metody ta poriadok provedennia mekhanichnykh vyprobuvan [Armaments and military equipment. Testing. Methods and procedures for mechanical environmental testing] (STANAG 4370 Edition 7/AECTP-400 Edition D, IDT).
17. Lappo, I. M., Prykhodko, S. M., & Martyniuk, S. S. (2021). Analiz polozhen natsionalnykh standartiv shchodo vyprobuvan OVT na vplyv mekhanichnykh faktoriv [Analysis of national standards concerning the testing of armaments and military equipment under mechanical factors]. Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT, 3(9), 79–87. https://doi.org/10.37701/dndivsovt.9.2021.11
18. DSTU EN ISO 3691-4:2024. (2024). Promyslovyi vantazhnyi transport. Vymohy bezpeky ta pereviriannia. Chastyna 4. Samokhidnyi transport ta yoho systemy [Industrial trucks. Safety requirements and verification. Part 4: Driverless industrial trucks and their systems] (EN ISO 3691-4:2023, IDT; ISO 3691-4:2023, IDT). https://online.budstandart.com
19. Mazzare, M. (2011). UGV interoperability profile (IOP) capabilities plan for version 0. https://doi.org/10.21236/ADA554246
20. NATO Standardization Office. (2018). NATO generic vehicle architecture (NGVA) for land systems: Vol. VI. Safety (AEP-4754). https://nso.nato.int/nso
21. Tsentr matematychnoho modeliuvannia Instytutu prykladnykh problem mekhaniky i matematyky im. Ya. S. Pidstryhacha NAN Ukrainy. (2010). Fizyko-matematychne modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii [Physico-mathematical modelling and information technologies] (Issue 12).
22. Venttsel, O. S., & Ovcharov, L. A. (2007). Teoriia vypadkovykh protsesiv i yii inzhenerni dodatky [Theory of random processes and its engineering applications] (4th ed.). Vyshcha shkola.

This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons «Attribution» 4.0.