

УДК 623.4+519.852

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.33.2025.34-48>

О. Макогон^{1*}, М. Пелехатий¹, Ю. Красношапка¹, С. Киричик¹, І. Мащенко¹, В. Кривцун²,
Я. Міщенко²

¹Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, Харків

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТАНКО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАНКОВОГО БАТАЛЬЙОНУ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

В умовах ведення бойових дій надійність технічного забезпечення танкового (механізованого) батальйону є однією з необхідних складових, що дозволяє підтримувати важку техніку у робочому стані. У статті розглядається система танко-технічного забезпечення танкового (механізованого) батальйону як підсистема логістичного забезпечення, що сама по собі є складною структурою, яка забезпечує бойову готовність техніки у сучасних умовах ведення бойових дій. Аналіз функціонування цієї системи показав, що вона потребує чіткої організації та оцінки надійності для подолання ризиків, що виникають в умовах війни. Як варіант управління процесом функціонування система танко-технічного забезпечення танкового (механізованого) батальйону пропонується використати контролінг, який дозволяє виявляти слабкі місця, такі як затримки в постачанні чи збільшення часу відновлення техніки, за допомогою статистичних методів.

Процес танко-технічного забезпечення танкового (механізованого) батальйону розглядається з використанням моделі теорії масового обслуговування. Це дозволило скласти граф станів системи та вивести аналітичні залежності коефіцієнта відновлення, коефіцієнта живучості системи танко-технічного забезпечення від часу переходу її зі стану в стан; шляхом розв'язання оптимізаційної задачі дослідити показники надійності у системі логістичного забезпечення танкового (механізованого) батальйону у визначених умовах ведення бойових дій, зробити відповідні висновки та надати рекомендації.

Реалізація рекомендацій, отриманих на основі проведених розрахунків, потребує інвестицій, навчання та координації з вищими ланками, але їх практична цінність підтверджується кількісними розрахунками.

Ключові слова: технічне забезпечення, танко-технічне забезпечення, ефективність логістичного забезпечення, ланцюг Маркова, динамічна модель, показники надійності, коефіцієнт відновлення.

Постановка проблеми

У сучасних умовах ведення бойових дій, особливо з урахуванням досвіду війни РФ проти України, питання надійності логістичного забезпечення (ЛЗ) набуває критичного значення для збереження боєздатності підрозділів. Танкові та механізовані підрозділи залишаються потужною ударною силою Сухопутних військ і потребують безперебійного постачання

боєприпасами, паливом, запасними частинами, а також якісного технічного обслуговування та ремонту. Розглянемо систему функціонування технічного забезпечення в танковому батальйоні. Відповідно до [1, 2] для підтримання ОБТ готовності до застосування в цих підрозділах основним видом логістичного забезпечення є танко-технічне забезпечення (ТТЗ), на яке покладається виконання функції забезпечення підрозділу ОБТ, їх технічне обслуговування та ремонт.

Article history: Income 25 September 2025; Revised 01 October 2025; Accepted 20 October 2025; Print 05 December 2025

Макогон О.А. ORCID ID: 0000-0003-1112-8707, Пелехатий М.А. ORCID ID: 0009-0006-8162-9506,
Красношапка Ю.В. ORCID ID: 0000-0001-9234-4844, Киричик С.М. ORCID ID: 0009-0008-8717-1393,
Мащенко І.А. ORCID ID: 0009-0006-9825-3437, Кривцун В.І. ORCID ID: 0000-0002-3907-5320,
Міщенко Я.С. ORCID ID: 0000-0002-0231-2361

* Corresponding author helmkg@ukr.net

Однак складні умови бойової обстановки, маневрений характер операцій, вогневий вплив противника та порушення логістичних шляхів часто призводять до зниження надійності ТТЗ. У таких умовах важливо дослідити та кількісно оцінити показники надійності елементів ТТЗ, виявити критичні вузли та розробити рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування цієї системи.

Таким чином, дослідження показників надійності танко-технічного забезпечення підрозділів є актуальним завданням і має практичне значення для готовності ОВТ до застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Достатньо велика кількість праць щодо удосконалення функціонування системи логістичного (технічного) забезпечення військ (сил), зокрема і ТТЗ, в умовах ведення бойових дій свідчить про актуальність цієї проблематики. Так питаннями організації та удосконалення системи логістичного (технічного) забезпечення ЗСУ досліджувала низка науковців, зокрема: Старцев В.В., Коломійцев О.В., Гурін О.М., Третьак В.Ф., Пустоваров В.В., Олійник Р.М., Павловський І.В., Твердохлібов В.В., Башкиров О.М. тощо.

У роботах [3, 4] наведена характеристика системи логістичного забезпечення військ (сил), але визначено лише вплив зовнішніх та внутрішніх умов і чинників. Крім того, проведений аналіз чинників, що пов'язані з вірогідністю ураження об'єктів логістики, і тих, що безпосередньо впливають на рівень живучості логістичного об'єкта.

У роботі [5] автори розглядають питання раціонального використання сил і засобів логістичного забезпечення Повітряних Сил ЗСУ під час технічного обслуговування та ремонту льотної техніки.

У роботі [6], за принципом функціонування логістичної складової військових формувань НАТО, акцент робиться на використанні універсальних мобільних комплексів логістичного забезпечення. У [7] пропонується загальна система обліку і контролю за матеріальними потоками, об'єктами і засобами ОВСТ, але не розглядається питання підвищення показників надійності функціонування ремонтно-відновлювальної складової логістичного забезпечення підрозділів тактичної ланки.

Крім того, у [8] проаналізовані математичні складові факторів, що впливають на надійність ЛЗ, для визначення шляхів нейтралізації та послаблення їх негативного впливу. Встановлено, що суттєвий вплив на послаблення наведених факторів та підвищення живучості об'єктів логістики мають такі заходи,

як створення хибних об'єктів ЛЗ, зокрема і для ремонту та відновлення ОВСТ. Обґрунтовані суб'єктивні показники, які необхідно змінювати для підвищення рівня живучості.

У [9] авторами розроблено рекомендації щодо ліквідації збоїв у процесі управління логістичним забезпеченням (ЛЗ) в умовах ведення БД. Механізм послідовного виконання окремих операцій за рекомендованим варіантом дозволяє отримати інформацію про внутрішнє та зовнішнє середовище, чітко усвідомлювати положення, в якому перебуває система, вибрати і практично реалізувати рішення, адекватне до ситуацій, що виникають. Реалізація запропонованих рекомендацій щодо підвищення ефективності управління відновленням зразків ОВТ, зокрема, і системи ЛЗ в цілому в умовах ведення БД дозволяє контролювати ситуацію, оперативно реагувати на дестабілізаційні впливи, підвищувати оперативність управління, а також забезпечувати ефективну організацію процесу управління відновленням військової техніки. Одночасно запропоновані методики визначення можливостей окремих функціональних елементів системи ЛЗ, зокрема з технічної розвідки пошкоджених зразків озброєння та військової техніки в ході ведення бойових дій.

У роботах [10, 11] досить змістовно розглянуті питання оцінювання показників надійності системи ЛЗ промислових систем з точки зору контролінгу бізнес-процесів, а саме: прикладні аспекти застосування ланцюгів Маркова для моделювання систем ЛЗ як проєктного управління без специфіки управління логістичною системою.

Отже, незважаючи на достатньо велику кількість праць щодо забезпечення надійності ЛЗ, зокрема ТТЗ, питання підвищення ефективності ТТЗ тактичного рівня в умовах ведення бойових дій залишається актуальним.

Мета досліджень

Проаналізувати наукові напрацювання в галузі досліджень системи технічного забезпечення з метою розроблення інструменту логістичного контролінгу для визначення факторів і "вузьких" місць системи ТТЗ та обґрунтувати пропозиції щодо забезпечення надійного його функціонування під час ведення бойових дій.

Виклад основного матеріалу

Вирішення задач логістичного забезпечення військ (сил) здійснюється через систему логістичного забезпечення ЗС України, яка включає сукупність взаємопов'язаних органів управління, сил та засобів, інфраструктури логістичного забезпечення тощо [12]. У свою чергу, сили і засоби логістичного

забезпечення за функціональним призначенням поділяють на наступні підрозділи (підсистеми):

- зберігання запасів МтЗ;
- технічного обслуговування та ремонту (ремонтно-відновлювальні);
- транспортні;
- інфраструктурного забезпечення;
- спеціальні [13].

При цьому здійснення евакуації з військ (сил) пошкоджених (несправних) виробів ОВСТ, передача їх ремонтним органам, проведення технічного обслуговування, поточного та середнього ремонту ОВСТ є одним із головних завдань Сил логістики під час їх застосування. Відповідно до [1] здійснення цих заходів покладається на органи технічного забезпечення, які забезпечують функціонування видів технічного забезпечення, зокрема і танко-технічного.

Проте під час ведення бойових дій ТТЗ не може функціонувати окремо і тісно пов'язано з іншими функціями ЛЗ та регламентується відповідними документами [1, 2]. В цих умовах забезпечення надійного функціонування ТТЗ можливо за умови забезпечення належного контролю за роботою всієї системи ЛЗ.

Проведений аналіз відомих джерел показує, що сьогодні найбільш дієвим та ефективним варіантом менеджменту роботи сучасних організаційних структур, зокрема і функціонування підрозділів ЗСУ, є контролінг – система інформаційно-аналітичної та методичної підтримки керівництва, спрямована на досягнення оперативної, тактичної й стратегічної мети організаційних структур, зокрема і функціонування підрозділів ЗСУ [11].

Під контролінгом систем танко-технічного забезпечення будемо розуміти процес управління і контролю над ефективністю роботи відповідної ієрархічної ланки. Він поєднує в собі аналітичний та практичний підходи, спрямовані на підвищення ефективності функціонування системи в цілому.

Мета контролінгу в ЛЗ, і зокрема ТТЗ, полягає у забезпеченні безперебійного функціонування всієї системи. Зазвичай, контролінг допомагає приймати правильні стратегічні рішення на основі аналізу даних постачання, складських запасів, транспортування та інших ключових параметрів логістичного процесу.

Одним із основних завдань контролінгу є аналіз надійності роботи всієї системи ЛЗ або її окремих елементів компонентів, зокрема ТТЗ. Шляхом збору та обробки даних контролінг допомагає виявити проблемні зони, неефективні та ненадійні процеси, а також пропонує заходи щодо їх оптимізації. В подальшому будемо розглядати функціонування ТТЗ на прикладі *тб*.

Отже, з **цією метою** в роботі вважається за доцільне розглянути інструментарій контролінгу ТТЗ для його ефективного управління та оптимізації процесів функціонування ТТЗ *тб* у сучасних умовах ведення бойових дій.

Для проведення подальшого дослідження щодо оцінки надійності системи ТТЗ у роботі обґрунтовано показники, які підлягатимуть контролінгу.

Так вибір показника **стійкості** ТТЗ дозволяє забезпечити здатність системи і органів управління виконувати свої функції у будь-якій обстановці. Стійкість є комплексною характеристикою системи ТТЗ і передбачає заходи, які спрямовані на мінімізацію втрат виділених ресурсів від впливу певних чинників (зовнішніх і внутрішніх, позитивних і негативних), а у ході ведення бойових дій – від впливу противника; забезпечує створення умов для стійкого і безперервного постачання МтЗ підрозділам у ході ведення бойових дій; забезпечує успішне виконання завдань з логістичного забезпечення у взаємодії з бойовим, морально-психологічним і медичним забезпеченням.

Наступний показник – **безперервність** управління ТТХ, характеризує можливості посадових осіб і органів управління складових цієї системи постійно впливати на ТТЗ і досягається постійною наявністю стійкого зв'язку з підрозділами, що забезпечуються, з підпорядкованими органами (підрозділами) логістичного забезпечення і логістикою вищої ланки, своєчасним нарощуванням можливостей засобів управління, умілим розміщенням пунктів управління, своєчасним їх переміщенням у разі необхідності та / або швидкою передачею управління з одного пункту на інший, швидким своєчасним відновленням порушеного управління.

Безперервність характеризується показниками живучості. Дослідження живучості підрозділів матеріально-технічного забезпечення проводилося з використанням наявних методик [10, 11].

Під час визначення показника **живучості** системи доцільно будувати цей показник із двох частин: перша частина має бути показником ступеня збереження функцій системи під час дій зовнішніх впливів, наприклад, ймовірністю збереження готовності, тобто коефіцієнта готовності; друга частина показника живучості має бути показником ступеня відновлення функцій системи ТТЗ, наприклад, у вигляді показника підвищення ймовірності перебування системи у стані повної готовності до ймовірності перебування її у небоєготовому стані.

Живучість системи ТТЗ – це показник, який зазвичай досягається виконанням ряду заходів:

- створення раціональної організаційно-штатної структури з високою технічною оснащеністю і підготовкою підрозділів логістики до виконання завдань;

- наявність встановлених норм військових запасів МтЗ;
- раціональне розміщення (розташування) і своєчасне переміщення підрозділів ТТЗ;
- своєчасне і безперервне відновлення (ремонт) виробів (зразків) ОВТ і постачання МтЗ підрозділам;
- надійний захист, охорона, оборона та маскування підрозділів ТТЗ;
- швидке відновлення боєздатності підрозділів ТТЗ, які зазнали значних втрат від удару противника;
- організація безперервного і чіткого управління ТТЗ забезпеченням, а також проведенням інших заходів.

Від повноти та якості виконання цих заходів залежить рівень боєготовності, боєздатності та бойовий потенціал військ (сил).

Отже, для досягнення відновлюваності та живучості, системи ТТЗ військового підрозділу і, як наслідок, його боєздатності кожний її елемент має бути у взаємодії з іншими у часі та просторі.

Таким чином, перша складова показника живучості має сенс показника стійкості під час зовнішніх впливів, а друга – відновлення у разі пошкодження складових системи.

Тому важливим науковим та прикладним завданням є розробка математичних моделей логістичного забезпечення, зокрема ТТЗ, що дозволяє отримувати кількісні оцінки надійності ТТЗ ведення бойових дій танкового батальйону [8, 14].

Основні фактори впливу на надійність підсистеми технічного забезпечення *тб*

Технічне забезпечення (ТЗ), і як його складова ТТЗ, є однією з ключових підсистем логістичного забезпечення танкового батальйону, оскільки відповідає за підтримання ОВТ у робочому стані, що є критично важливим для виконання бойових завдань.

Технічне забезпечення охоплює ремонт, технічне обслуговування, постачання запасних частин і матеріалів, а також евакуацію пошкодженої техніки з поля бою [2].

У сучасних умовах ведення бойових дій, коли імовірність ураження ОВТ *тб* виросла в рази, а логістичні ланцюги перебувають під загрозою, ефективність ТТЗ безпосередньо впливає на надійність усієї системи ЛЗ і бойову готовність підрозділу.

Визначимо такі основні функції ТТЗ у межах діяльності системи ЛЗ *тб*:

- технічне обслуговування (ТО);
- ремонт зразків ОВТ;

- постачання запчастин і матеріалів та забезпечення ремонтних груп деталями, інструментами, мастилами тощо;

- евакуація техніки, зокрема: транспортування пошкоджених машин (танків, БМП, вантажівок) до ремонтних пунктів або складів;

- технічна розвідка (оцінка стану техніки на полі бою для визначення пріоритетів ремонту чи евакуації).

ТТЗ *тб* зазвичай включає наступні сили і засоби:

- ремонтний взвод у складі 10 – 15 осіб, оснащених мобільними ремонтними майстернями та інструментами для дрібного і середнього ремонту;

- евакуаційні групи, у складі яких передбачені 1-2 броньовані тягачі для транспортування пошкодженої техніки. Кожна група складається з 3 – 5 осіб;

- пункт технічного обслуговування (ПТО), що включає стаціонарну або мобільну базу для складнішого ремонту, зазвичай розташована на відстані 20 – 30 км від лінії бойового зіткнення.

Організація ТТЗ *тб* відбувається у тісній взаємодії з *орвб* бригади [2, 15].

Проте незважаючи на достатність сил і засобів ТТЗ на його надійність в умовах бойових дій впливає ряд факторів, а саме:

- обмеженість матеріально-технічних ресурсів, зокрема дефіцит запчастин, особливо для застарілої техніки, такої як танки Т-64 чи БМП-1, які становлять значну частку парку ЗСУ;

- вогневий вплив противника, особливо застосування БпЛА;

- часові обмеження на евакуацію та проведення відновлення ОВТ;

- недостатня кваліфікація технічного персоналу;

- труднощі у постачанні МтЗ та ПММ по логістичними шляхами внаслідок впливу вогневих засобів противника тощо.

Отже, саме надійність ТТЗ безпосередньо впливає на успіх у виконанні поставлених завдань *тб*. Так вихід з ладу 20% танків батальйону (8 – 10 одиниць із 40) може зірвати наступальну операцію бригади через брак вогневої підтримки. Затримки в ремонті евакуаційної техніки ускладнюють транспортування пошкоджених машин, створюючи скупчення на полі бою. При цьому основним джерелом забезпечення ОВТ підрозділів залишається її відновлення [16].

У табл. 1 узагальнені основні фактори впливу на надійність ТТЗ *тб*.

Таблиця 1

Основні фактори впливу на надійність ТТЗ

№ з/п	Найменування	Опис впливу	Наслідки
1.	Дефіцит запчастин	Брак деталей для ОБТ	Затримки ремонту, простої техніки
2.	Вогневий вплив противника	Відсутність укриттів, ризики для особового складу ремонтних підрозділів	Переривання робіт, втрати особового складу
3.	Обмежений час	Висока інтенсивність операцій вимагає швидкого відновлення ОБТ	Зниження бойової готовності
4.	Недостатня кваліфікація особового складу ремонтних підрозділів	Недостатній досвід для ремонту сучасної техніки	Помилки в ремонті, повторні поломки
5.	Проблеми з доставкою	Вогневий вплив противника на логістичні шляхи	Затримки постачання запчастин

Отже, в цих умовах постає виникає актуальне питання щодо розробки пропозицій забезпечення надійності ТТЗ в умовах ведення бойових дій.

Одним із шляхів дослідження процесу ТТЗ та впливу визначених вище факторів на його функціонування є використання ланцюгів Маркова з представленням процесу графом станів ТТЗ.

Марківським називають випадковий процес з дискретним часом та дискретними значеннями. Такий випадковий процес можна представити як послідовність випадкових величин $X_1, X_2, \dots$, значеннями випадкових величин є результати $\{E_1, E_2, \dots\}$. Для зручності записи вважаються результатами $\{1, 2, \dots\}$, тобто номери результатів. Послідовність $X_1, X_2, \dots$ утворює ланцюг Маркова, якщо

$$P(X_n = j / X_0 = k_1, X_1 = k_2, \dots, X_{n-2} = k_{n-2}, X_{n-1} = i) = P(X_n = j / X_{n-1} = i) = p_{ij}^{(n)}. \quad (1)$$

де n – кількість станів системи.

Цю властивість можна було б охарактеризувати так: за фіксованого сьогоднішнього майбутнє не залежить від минулого. Ланцюги Маркова відображають випадковий процес, що задовольняє властивості Маркова і приймає кінцеве чи лічильне число значень (станів), у т. ч. з дискретним часом, це дозволяє проводити дослідження стану складних систем, наприклад, по днях. Ймовірності переходу p_{ij} утворюють матрицю $P = \|p_{ij}\|$ із властивостями:

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1, \quad (2)$$

$$p_{ij} \geq 0, \quad (3)$$

$$i = \overline{1, n}; \quad (4)$$

$$j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Матриці із зазначеними властивостями називаються стохастичними. Отже, матриця P повністю визначає зміни системи за кожний крок. Розглянемо зміну системи за k кроків. Ймовірність переходу зі i стану в стан j за k кроків позначимо $p_{ij}(k) = P(X_k = j / X_0 = i)$. При $k > 1$ за формулою повної ймовірності вірним будуть вирази:

$$p_{ij}(k) = \sum_s P(X_{k-1} = s / X_0 = i) p_{sj} = \sum_s p_{is}(k-1) p_{sj}; \quad (6)$$

$$i = \overline{1, n}; \quad (7)$$

$$j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Введемо матрицю, яка утворена ймовірностями $p_{ij}(k)$:

$$P(k) = \|p_{ij}(k)\|. \quad (9)$$

Із записаної вище рівності випливає, що $P(k) = P(k-1)P$. Тоді $P(k) = P^k$. Розподіл ланцюга буде повністю визначено, якщо встановлено певний початковий розподіл величини X_0 :

$$P(X_0 = j) = p_j^0, \quad \sum_j p_j^0 = 1 \quad (10)$$

та задана матриця переходу P .

Загалом, властивості (1–10) характеризують запропонований ланцюг Маркова як безповоротний, ергодичний, поглинаючий [17], що дозволяє використовувати його для дослідження і контролінгу організаційно-технічних систем проектного управління, зокрема ЛЗ різного рівня ієрархії та функціонального змісту.

Представимо процес функціонування ТТЗ тб у вигляді графу станів цієї системи.

Для дослідження надійності роботи ТТЗ у роботі пропонується використовувати математичний апарат теорії масового обслуговування. Таке подання

системи ТТЗ сприятиме логічному і конкретному визначенню показників її надійності, у т.ч. коефіцієнтів відновлення і живучості. Отже, систему доцільно представити у вигляді простого графа переходів з відповідними інтенсивністю та ймовірністю у типових умовах застосування цієї системи за призначенням (рис. 1). За класичними положеннями теорії масового обслуговування [18] визначимо, що система ТТЗ *тб* може знаходитися в одному із таких станів:

S_1 – отримання завдання /прийняття рішення на ТТЗ *тб*;

S_2 – проведення технічної розвідки;

S_3 – проведення евакуації;

S_4 – проведення поточного ремонту техніки;

S_5 – техніка в боеготовому стані;

S_6 – безповоротні втрати техніки;

S_7 – передача техніки старшому начальнику;

S_8 – проведення ТО техніки;

S_9 – розподіл особового складу;

S_{10} – витрата запасів МТЗ;

S_{11} – списання техніки.

Перехід системи із стану в стан схематично представлений на рис. 1. Згідно з положеннями теорії масового обслуговування переходи системи з i -го в j -й стан здійснюються з ймовірністю $p_{ij} \neq 0$, $i = \overline{1, n}$,

$j = \overline{1, n}$, (n – кількість станів системи ТТЗ), які залежать від впливу зовнішнього середовища і керуючих впливів управління. Параметри відповідної математичної моделі можуть бути визначені за статистичними даними і в подальшому використовуватися для контролінгу та оптимізації функціонування системи ТТЗ батальйону [19].

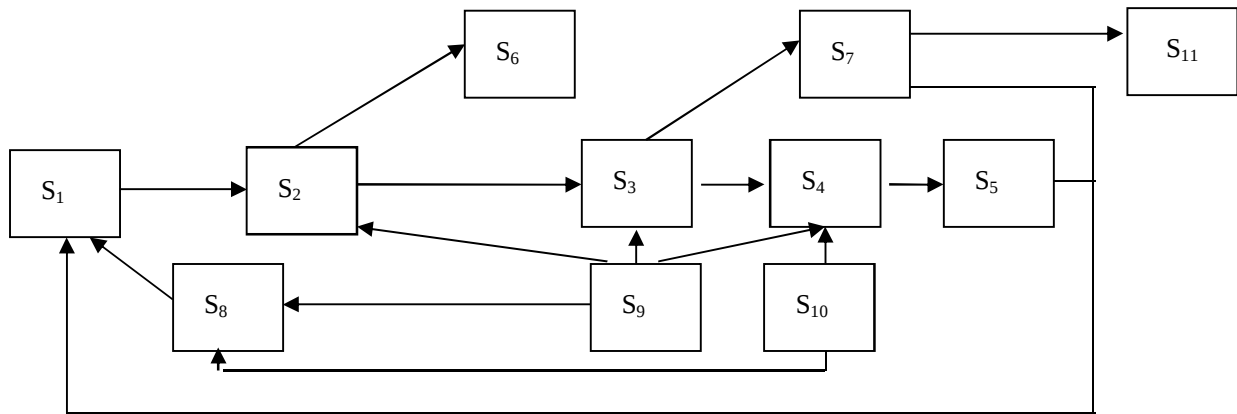


Рис. 1. Граф станів функціонування системи ТТЗ *тб*

Матриця перехідних ймовірностей запишеться таким виразом:

$$\|p_{ij}\| = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & 0 & 0 & p_{1,5} & 0 & p_{1,7} & p_{1,8} & 0 & 0 & 0 \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & 0 & 0 & p_{2,6} & 0 & 0 & p_{2,9} & 0 & 0 \\ 0 & p_{3,2} & p_{3,3} & p_{3,4} & 0 & 0 & p_{3,7} & 0 & p_{3,9} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{4,4} & p_{4,5} & 0 & 0 & 0 & p_{4,9} & p_{4,10} & 0 \\ p_{5,1} & 0 & 0 & p_{5,4} & p_{5,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{6,2} & 0 & 0 & 0 & p_{6,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{7,1} & 0 & p_{7,3} & 0 & 0 & 0 & p_{7,7} & 0 & 0 & 0 & p_{7,11} \\ p_{8,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{8,8} & p_{8,9} & p_{8,10} & 0 \\ 0 & p_{9,2} & p_{9,3} & p_{9,4} & 0 & 0 & 0 & p_{9,8} & p_{9,9} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{10,4} & 0 & 0 & p_{10,8} & p_{10,9} & 0 & p_{10,10} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{11,7} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{11,11} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Розмірність цієї матриці становитиме

$$\|p_{ij}\| = [n \times n], \quad (12)$$

де n – число станів системи.

Елементами матриці є ймовірність переходу з i -го в j -й стан за один крок, при цьому $p_{ij} > 0$.

Матриця, що має такі властивості, за основними визначеннями теорії масового обслуговування, називається стохастичною [19].

У марківському ланцюзі зі зміною часу (крок k) розподіл ймовірностей станів $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)\}$ змінюється. При цьому обчислення розподілу ймовірностей на наступному $(k+1)$ виконується за відомою формулою повної ймовірності

$$\begin{pmatrix} p_1(k+1) \\ p_2(k+1) \\ p_3(k+1) \\ p_4(k+1) \\ p_5(k+1) \\ p_6(k+1) \\ p_7(k+1) \\ p_8(k+1) \\ p_9(k+1) \\ p_{10}(k+1) \\ p_{11}(k+1) \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ p_4(k) \\ p_5(k) \\ p_6(k) \\ p_7(k) \\ p_8(k) \\ p_9(k) \\ p_{10}(k) \\ p_{11}(k) \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & 0 & 0 & p_{1,5} & 0 & p_{1,7} & p_{1,8} & 0 & 0 & 0 \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & 0 & 0 & p_{2,6} & 0 & 0 & p_{2,9} & 0 & 0 \\ 0 & p_{3,2} & p_{3,3} & p_{3,4} & 0 & 0 & p_{3,7} & 0 & p_{3,9} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{4,4} & p_{4,5} & 0 & 0 & 0 & p_{4,9} & p_{4,10} & 0 \\ p_{5,1} & 0 & 0 & p_{5,4} & p_{5,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{6,2} & p_{6,3} & 0 & 0 & p_{6,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{7,1} & 0 & p_{7,3} & 0 & 0 & 0 & p_{7,7} & 0 & 0 & 0 & p_{7,11} \\ p_{8,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{8,8} & p_{8,9} & p_{8,10} & 0 \\ 0 & p_{9,2} & p_{9,3} & p_{9,4} & 0 & 0 & 0 & p_{9,8} & p_{9,9} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{10,4} & 0 & 0 & p_{10,8} & p_{10,9} & 0 & p_{10,10} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{11,7} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{11,11} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Якщо встановлено матрицю перехідних ймовірностей $\|p_{ij}\|$ і відомий розподіл ймовірностей станів $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)\}$ на кроці k , то новий розподіл ймовірностей станів $\|p_i(k+1); i = 1, 2, \dots, n\|$ може бути знайдено з (13).

Отже, стан системи у часі може бути відображений через матрицю $\|p_{ij}(k)\|$ на k -му кроці.

Після проведення рекурентних розрахунків за формулами (11 – 13) через певну кількість кроків K матриця $\|p_{ij}\|$ набуде свого граничного стану. Таким чином, формули (11 – 13) дають можливість досліджувати стан системи у часі: покроково та у граничному стані.

Визначення коефіцієнта відновлення системи ТТЗ *тб*

Для вирішення завдання оцінювання надійності системи ТТЗ *тб* в умовах ведення бойових дій доцільно виділити стани, що безпосередньо впливають на її живучість та відновлюваність, зокрема при досягненні граничних значень ймовірності перебування в ньому протягом визначеного часу для виконання завдань за призначенням.

Це проілюстровано на рис. 2 як фрагмент графу переходів системи логістичного забезпечення в різні її стани надійності.

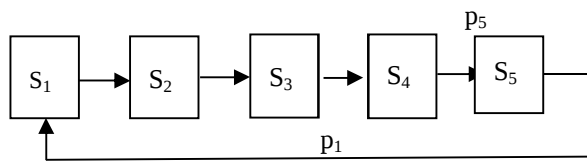


Рис. 2. Фрагмент графу переходів підсистеми ТТЗ у різні її стани надійності

Отже, коефіцієнт відновлення системи ТТЗ батальйону може бути виражений через значення ймовірностей станів p_1 та p_5 , а саме:

$$K_{\text{в}} = \left[1 + \frac{p_1}{p_5} \right]^{-1} \cdot \left(\frac{p_1}{p_5} \right). \quad (14)$$

Значимо, що аналітичні вирази визначених коефіцієнтів надійності корелюють з їх смисловим навантаженням, інтуїтивно зрозумілими можливостями відновлення системи після шкідливих зовнішніх впливів та збереження функцій, які безпосередньо залежать від якості проведення контролінгу.

Визначення коефіцієнта живучості системи ТТЗ батальйону

Під час визначення показника живучості системи доцільно будувати цей показник з двох частин:

- перша частина має бути показником ступеня збереження функцій підсистеми ЛЗ, а саме ТТЗ, під час дій противника, наприклад, ймовірністю збереження функцій цієї підсистеми під час дії противника;

- друга частина показника живучості (у разі незбереження функцій підсистеми військової логістики під час дій противника) має бути показником ступеня відновлення функцій підсистеми ТТЗ, наприклад, у вигляді показника ймовірності перебування підсистеми у стані повної готовності до ймовірності перебування цієї підсистеми у неготовому стані.

Отже, перша складова показника живучості має сенс показника стійкості під час дії противника, а друга – показника ефективності відновлення у разі пошкодження противником будь-яких складових з функцій ТТЗ.

Таким чином, цей узагальнений показник є основою для побудови в подальшому критерію з метою оцінювання рівня досягнення мети збереження живучості підсистеми ТТЗ протягом визначеного періоду часу при виконання завдань за призначенням.

Згідно з виразами (1 – 10), (13) визначимо час переходу системи із стану S_1 до S_5 як p_1 , а час переходу системи із стану S_5 до S_1 як p_5 .

Автори пропонують визначення коефіцієнта живучості системи ТЗ батальйону [4]

$$K_{\text{жс}} = \frac{1}{1 + \frac{p_5}{p_1}} + \frac{\left(1 + \frac{p_5}{p_1} \right)^{-1}}{\frac{p_1}{p_0}}. \quad (15)$$

Динамічний аналіз надійності логістичного забезпечення через розв'язання системи диференціальних рівнянь

Теоретичне підґрунтя системи масового обслуговування, зокрема ланцюгів Маркова, дозволяє досліджувати процес функціонування системи ТТЗ у часі відносно ймовірностей знаходження її у кожному i -му стані шляхом опису його системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \cdot p_{ij}, \quad (16)$$

$$i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

$$j = \overline{1, n}, \quad (18)$$

де λ_{ij} – інтенсивність переходу системи із i -го стану в j -й;

n – число станів системи.

Інтенсивність переходу системи із i -го стану в j -й може бути визначена дослідним шляхом на основі обробки статистичних даних.

Для отримання аналітичних значень коефіцієнтів надійності системи ТТЗ батальйону, а саме коефіцієнта відновлення (14) та коефіцієнта живучості (15), необхідно розв'язати систему (16) – (18), що природно пояснюється взаємовпливом елементів системи ЛЗ (рис. 2).

Розв'язанням системи (16 – 18) будуть вирази вигляду

$$p_i(t) = \exp(\lambda_{ij}, t), \quad (19)$$

$$i = \overline{1, n}, \quad (20)$$

$$j = \overline{1, n}, \quad (21)$$

при чому

$$\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1, \quad (22)$$

$$i = \overline{1, n} \quad (23)$$

де λ_{ij} – інтенсивність переходу системи із i -го стану в j -й;

n – число станів системи.

Технічно розв'язання можливе чисельними методами або за допомогою онлайн-калькуляторів [20].

Зазначимо, що покрокове розв'язання системи рівнянь (16 – 18) надасть змогу провести динамічний аналіз показників надійності системи ТТЗ.

Так дискретизація змінної часу t у цьому випадку може символізувати, наприклад, щоденні зміни станів систем протягом визначеного граничного терміну виконання $mб$ завдань за призначенням.

Тоді досягнення граничних значень надійності того чи іншого стану системи відповідатиме певним часовим показникам.

Розглянемо систему логістичного забезпечення $mб$, що бере участь в оборонній операції у період 30 діб.

Будемо вважати, що батальйон повністю укомплектований ОВТ згідно з організаційно-штатною структурою.

Приймаємо, що справний стан – це стан зразка ОВТ – характеризується наявністю запасу технічного ресурсу і знаходженням всіх технічних параметрів у встановлених межах.

Працездатний стан відрізняється від справного стану тим, що деякі параметри зразка ОВТ, які не впливають на його функціонування, можуть не відповідати встановленим межах.

У справних (працездатних) зразків ОВТ є запас технічного ресурсу.

У разі витрати технічного ресурсу зразок ОВТ вважається несправним і його експлуатація повинна

бути припинена. Після чого зразок підлягає технічному огляду і далі, або капітальному ремонту (КР) для відновлення технічного ресурсу, або списанню та утилізації.

Ремонт ОВТ, що має запас технічного ресурсу, проводиться у військових ремонтних підрозділах (частинах) у вигляді поточного ремонту або середнього. Капітальний ремонт, пов'язаний з відновленням технічного ресурсу, здійснюється на підприємствах промисловості.

Утилізація ОВТ здійснюється в спеціальних частинах (базах) або на підприємствах промисловості.

Доробки зразків ОВТ з метою їх модернізації, спрямованої на підвищення їх бойових можливостей (надійності, експлуатаційної технологічності, бойової ефективності), здійснюються як у військах, так і на ремонтних підприємствах оборонної промисловості.

При цьому зразки ОВТ виключаються з облікового складу військових частин.

Для переоснащення військ новою технікою здійснюється поставка нових зразків ОВТ з промисловості.

Переведення ОВТ з одного стану в інший здійснюється на основі вимог технічного забезпечення.

При проведенні розрахунків слід брати до уваги, що поточний ремонт техніки, як і нескладний середній ремонт, передбачено здійснювати ремонтно-відновлювальними органами військового рівня у відносно невеликий термін.

У ході дослідження, як приклад, було використано вихідні дані відкритих джерел (табл. 2) [21, 22].

Таблиця 2

Вихідні показники станів ТТЗ на початок операції

№ з/п	Значення	Показник
1.	Кількість зразків ОВТ (танків) на початок операції, шт.	33
2.	Середній час проведення технічної розвідки, год	4
3.	Середній час проведення евакуації, діб	до 5
4.	Середня трудомісткість проведення поточного ремонту техніки, л/год	10
5.	Середній час підготовки техніки у боєготовий стан, год	4-5
6.	Середньомісячні безповоротні втрати техніки, шт.	3
7.	Середньомісячна кількість техніки, переданої старшому начальнику, од.	5
8.	Середній час проведення технічного обслуговування одиниці техніки, год/од.	7–9
9.	Чисельність о/с взводу Тхз, чол.	25
10.	Середній час відновлення запасів МтЗ, діб	до 1
11.	Середньомісячна кількість техніки, що підлягає списанню, од.	4

Модель масового обслуговування та граф станів системи ТТЗ батальйону

Враховуючи специфіку предметної області для деяких робіт, в якості числових оцінок пропонується використовувати загальнозживані параметри щодо організації ТТЗ батальйону, який виконує завдання у складі бригади. Наприклад, трудомісткість ремонту ОВТ складає: поточного ремонту – 10 люд./год; середнього ремонту – до 200 люд./год (орвб, орвп ОК) та до 400 л/год. Чисельний склад підрозділів, дані про можливості РВО певного рівня ієрархії та статистичні дані щодо виходу з ладу ОВТ вказані у керівних документах [2]. Інтенсивності (16 – 18) взято із розрахунку втрат ПР, СР(0,6), КР, БПВ за період часу 30 діб. З урахуванням рис. 1 та табл. 3 матриця (13) матиме вигляд

$$P_i = \begin{pmatrix} 1 & 0.019 & 0 & 0 & 0.033 & 0 & 0.033 & 0.03 & 0 & 0 & 0 \\ 0.019 & 1 & 0.167 & 0 & 0 & 0.091 & 0 & 0 & 0.152 & 0 & 0 \\ 0 & 0.167 & 1 & 0.007 & 0 & 0 & 0.152 & 0 & 0.152 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.007 & 1 & 0.013 & 0 & 0 & 0 & 0.007 & 0.004 & 0 \\ 0.0019 & 0 & 0 & 0.0013 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.091 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0033 & 0 & 0.152 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.121 \\ 0.033 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0.034 & 0.03 & 0 \\ 0 & 0.019 & 0.152 & 0.007 & 0 & 0 & 0 & 0.034 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.004 & 0 & 0 & 0 & 0.03 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.121 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

На рис. 3 наведені Screen Short проведених розрахунків [19].

Матриця состояний

$$Ivanna = \begin{pmatrix} 1 & 0.019 & 0.001 & 0.001 & 0.033 & 0.001 & 0.033 & 0.03 \\ 0.019 & 1 & 0.167 & 0.001 & 0.001 & 0.091 & 0.001 & 0.01 \\ 0.001 & 0.167 & 1 & 0.007 & 0.001 & 0.001 & 0.152 & 0.01 \\ 0.001 & 0.001 & 0.007 & 1 & 0.013 & 0.001 & 0.001 & 0.001 \\ 0.019 & 0.001 & 0.001 & 0.019 & 1 & 0.001 & 0.001 & 0.001 \\ 0.001 & 0.091 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 1 & 0.001 & 0.001 \\ 0.034 & 0.001 & 0.152 & 0.001 & 0.152 & 0.001 & 1 & 0.001 \\ 0.0034 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 1 \end{pmatrix}$$

Найдём матрицу $Ivanna_{30}$ перехода за 30 шага:

$$Ivanna_{30} = Ivanna \cdot Ivanna = \begin{pmatrix} 1 & 0.019 & 0.001 & 0.001 & 0.033 & 0.001 & 0.033 & 0.03 \\ 0.019 & 1 & 0.167 & 0.001 & 0.001 & 0.091 & 0.001 & 0.01 \\ 0.001 & 0.167 & 1 & 0.007 & 0.001 & 0.001 & 0.152 & 0.01 \\ 0.001 & 0.001 & 0.007 & 1 & 0.013 & 0.001 & 0.001 & 0.001 \\ 0.019 & 0.001 & 0.001 & 0.019 & 1 & 0.001 & 0.001 & 0.001 \\ 0.001 & 0.091 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 1 & 0.001 & 0.001 \\ 0.034 & 0.001 & 0.152 & 0.001 & 0.152 & 0.001 & 1 & 0.001 \\ 0.0034 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 0.001 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 3. Screen Short проведених розрахунків ймовірностей станів графу

Крок ітерації, обраний при розрахунках, дорівнює 1, що відповідає періоду однієї доби. Така ітерація дозволяє провести динамічний аналіз стану системи за період $k = \overline{1,30}$ діб. Наприклад, на рис. 4 наведений розрахунок ймовірності станів графу системи ТТЗ станом на $k=12$ -добу ведення бойових дій.

$$\begin{aligned} & -0.0034 + 5.3675 \cdot 0.001 + 0.5425 \cdot 0.001 + 1.7661 \cdot 0.001 \\ & 0.0575 \cdot 1 + 0.1996 \cdot 0.019 + 0.3452 \cdot 0.001 + 1.0314 \cdot 0.001 + 0.2124 \cdot 0.019 + 0.0569 \cdot 0.001 + 0.1729 \cdot 0.034 + 0.0627 \\ & \cdot 0.034 + 0.2584 \cdot 0.001 + 0.0705 \cdot 0.001 + 0.0518 \cdot 0.001 \\ & 0.2364 \cdot 1 + 0.103 \cdot 0.019 + 0.1468 \cdot 0.001 + 0.2202 \cdot 0.001 + 1.0954 \cdot 0.019 + 0.0374 \cdot 0.001 + 0.1148 \cdot 0.034 + 0.0616 \cdot \\ & + 0.1021 \cdot 0.001 + 0.0252 \cdot 0.001 + 0.0485 \cdot 0.001 \\ & 0.2024 \cdot 1 + 1.8161 \cdot 0.019 + 1.6253 \cdot 0.001 + 0.0707 \cdot 0.001 + 0.2185 \cdot 0.019 + 1.5953 \cdot 0.001 + 0.6377 \cdot 0.034 + 0.2009 \\ & \cdot 0.034 + 1.0067 \cdot 0.001 + 0.0906 \cdot 0.001 + 0.1654 \cdot 0.001 \\ & 1.0367 \cdot 1 + 2.669 \cdot 0.019 + 4.9137 \cdot 0.001 + 0.3895 \cdot 0.001 + 3.0418 \cdot 0.019 + 0.6154 \cdot 0.001 + 4.3008 \cdot 0.034 + 0.5304 \cdot \\ & + 2.6386 \cdot 0.001 + 0.2447 \cdot 0.001 + 2.3397 \cdot 0.001 \\ & 0.4403 \cdot 1 + 0.3691 \cdot 0.019 + 0.661 \cdot 0.001 + 0.0533 \cdot 0.001 + 0.1922 \cdot 0.019 + 0.0893 \cdot 0.001 + 0.3389 \cdot 0.034 + 1.1655 \cdot \\ & + 0.6913 \cdot 0.001 + 0.0913 \cdot 0.001 + 0.105 \cdot 0.001 \\ & 0.5025 \cdot 1 + 3.0115 \cdot 0.019 + 5.0765 \cdot 0.001 + 0.296 \cdot 0.001 + 0.971 \cdot 0.019 + 0.7266 \cdot 0.001 + 2.5197 \cdot 0.034 + 0.8559 \cdot 1 \\ & + 3.8783 \cdot 0.001 + 0.5673 \cdot 0.001 + 0.7491 \cdot 0.001 \\ & 0.0834 \cdot 1 + 0.085 \cdot 0.019 + 0.137 \cdot 0.001 + 0.0873 \cdot 0.001 + 0.057 \cdot 0.019 + 0.0326 \cdot 0.001 + 0.0819 \cdot 0.034 + 0.3551 \cdot 0. \\ & 0.1337 \cdot 0.001 + 1.0151 \cdot 0.001 + 0.0376 \cdot 0.001 \\ & 0.4124 \cdot 1 + 0.7856 \cdot 0.019 + 1.7728 \cdot 0.001 + 0.132 \cdot 0.001 + 1.3448 \cdot 0.019 + 0.1624 \cdot 0.001 + 2.3285 \cdot 0.034 + 0.1579 \cdot \\ & + 0.7647 \cdot 0.001 + 0.075 \cdot 0.001 + 2.0362 \cdot 0.001 \end{aligned}$$

 $Ivanna_{13} = Ivanna_{12} \cdot Ivanna$

$$= \begin{pmatrix} 1.3303 & 0.9321 & 1.3985 & 0.1358 & 0.9867 & 0.2698 & 1.1058 & 0.5352 & 0.905 & 0.1023 & 0.4608 \\ 0.9815 & 5.9684 & 7.9227 & 0.3807 & 1.5959 & 2.2697 & 3.9475 & 1.0507 & 5.2011 & 0.5146 & 1.2003 \\ 1.3726 & 7.0023 & 10.8604 & 0.6129 & 3.088 & 1.9979 & 6.3914 & 1.3863 & 7.0283 & 0.7315 & 2.3799 \\ 0.0752 & 0.2701 & 0.4557 & 1.0407 & 0.2551 & 0.0774 & 0.2355 & 0.0813 & 0.3339 & 0.0836 & 0.074 \\ 0.2657 & 0.1389 & 0.2015 & 0.2435 & 1.1241 & 0.0488 & 0.1524 & 0.0765 & 0.1382 & 0.031 & 0.0642 \\ 0.2741 & 2.2571 & 2.1966 & 0.0985 & 0.3295 & 1.7648 & 0.9164 & 0.2769 & 1.3802 & 0.1275 & 0.2493 \\ 1.3206 & 3.6263 & 6.4643 & 0.5134 & 3.7487 & 0.8777 & 5.3752 & 0.7345 & 3.5953 & 0.3449 & 2.8758 \\ 0.5038 & 0.511 & 0.8921 & 0.0695 & 0.2621 & 0.1266 & 0.4692 & 1.2133 & 0.8603 & 0.1156 & 0.1497 \\ 0.7042 & 4.0146 & 6.6165 & 0.3895 & 1.3893 & 1.016 & 3.4089 & 1.0905 & 4.8814 & 0.6993 & 1.0696 \\ 0.1024 & 0.1166 & 0.1882 & 0.098 & 0.0752 & 0.0423 & 0.1118 & 0.3946 & 0.1746 & 1.0203 & 0.0494 \\ 0.5423 & 1.1249 & 2.3908 & 0.1818 & 1.7199 & 0.2429 & 2.8614 & 0.227 & 1.1 & 0.1074 & 2.3234 \\ 1 & 0.019 & 0.001 & 0.001 & 0.033 & 0.001 & 0.033 & 0.03 & 0.01 & 0.001 & 0.001 \\ 0.019 & 1 & 0.167 & 0.001 & 0.001 & 0.091 & 0.001 & 0.01 & 0.063 & 0.001 & 0.001 \\ 0.001 & 0.167 & 1 & 0.007 & 0.001 & 0.001 & 0.152 & 0.01 & 0.152 & 0.001 & 0.001 \\ 0.001 & 0.001 & 0.007 & 1 & 0.013 & 0.001 & 0.001 & 0.007 & 0.001 & 0.004 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Розрахунок ймовірності станів системи ТТЗ на $k=12$ -добу ведення БД

Розрахунки, проведені для $k = \overline{1,30}$, дозволяють отримати граничні значення ймовірності станів системи ТТЗ. На рис. 5 наведені значення $p_i(t)_{k=30}$, $i = \overline{1,n}$.

$$\begin{aligned} & 0.019p_2 + 0.001p_3 + 0.001p_4 + 0.019p_5 + 0.001p_6 + 0.034p_7 + 0.034p_8 + 0.001p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.019p_1 + 0.167p_2 + 0.001p_3 + 0.001p_4 + 0.091p_5 + 0.001p_6 + 0.019p_7 + 0.001p_8 + 0.019p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.001p_1 + 0.167p_2 + 0.007p_3 + 0.001p_4 + 0.152p_5 + 0.001p_6 + 0.167p_7 + 0.001p_8 + 0.001p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.001p_1 + 0.001p_2 + 0.007p_3 + 0.019p_4 + 0.001p_5 + 0.001p_6 + 0.001p_7 + 0.007p_8 + 0.007p_9 + 0.007p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.033p_1 + 0.001p_2 + 0.001p_3 + 0.013p_4 + 0.001p_5 + 0.152p_6 + 0.001p_7 + 0.001p_8 + 0.001p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & \Rightarrow 0.001p_1 + 0.091p_2 + 0.001p_3 + 0.001p_4 + 0.001p_5 + 0.001p_6 + 0.001p_7 + 0.001p_8 + 0.001p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.033p_1 + 0.001p_2 + 0.152p_3 + 0.001p_4 + 0.001p_5 + 0.001p_6 + 0.001p_7 + 0.03p_8 + 0.03p_9 + 0.001p_{10} + 0.121p_{11} = 0, \\ & 0.03p_1 + 0.01p_2 + 0.01p_3 + 0.001p_4 + 0.001p_5 + 0.001p_6 + 0.001p_7 + 0.03p_8 + 0.03p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.01p_1 + 0.063p_2 + 0.152p_3 + 0.007p_4 + 0.001p_5 + 0.001p_6 + 0.001p_7 + 0.034p_8 + 0.001p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & 0.001p_1 + 0.001p_2 + 0.001p_3 + 0.004p_4 + 0.001p_5 + 0.001p_6 + 0.001p_7 + 0.001p_8 + 0.03p_9 + 0.001p_{10} + 0.001p_{11} = 0, \\ & p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 + p_{10} + p_{11} = 1 \\ & p_1 = 0.03, \\ & p_2 = 0.06, \\ & p_3 = 0.06, \\ & p_4 = 0.12, \\ & p_5 = 0.01, \\ & \Rightarrow p_6 = 0.12, \\ & p_7 = 0.16, \\ & p_8 = 0.1, \\ & p_9 = 0.11, \\ & p_{10} = 0.12, \\ & p_{11} = 0.11 \end{aligned}$$

Рис. 5. Граничні значення ймовірності станів системи ТТЗ

Граничні ймовірності знаходження системи ТТЗ батальйону відображені у табл. 3.

Таблиця 3

**Граничні ймовірності станів системи ТТЗ
танкового батальйону**

№ з/п	Стан системи ТТЗ	Значення ймовірності стану
1.	отримання завдання / прийняття рішення на ЛЗ т(м)б	0,03
2.	проведення технічної розвідки	0,06
3.	проведення евакуації зразків ОВТ	0,06
4.	проведення поточного ремонту техніки	0,12
5.	техніка в боеготовому стані	0,01
6.	безповоротні втрати техніки	0,12
7.	передача техніки старшому начальнику	0,16
8.	проведення технічного обслуговування техніки	0,1
9.	розподіл особового складу	0,11
10.	витрата запасів МТЗ	0,12
11.	списання техніки	0,11

Зазначимо, що умова (22) виконується, тобто сума $p_1 = 0,03$, $p_5 = 0,01$.

Розрахунок показників надійності ТТЗ тб

За формулами (14) та (15) вираховуємо через 30 діб:

$$K_{ж} = \frac{1}{1 + \frac{p_5}{p_1}} + \frac{\left(1 + \frac{p_5}{p_1}\right)^{-1}}{\frac{p_1}{p_0}} = \frac{1}{1 + \frac{0,01}{0,03}} + \frac{\left(1 + \frac{0,01}{0,03}\right)^{-1}}{\frac{0,03}{0,01}} =$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{1}{3}} + \frac{\left(1 + \frac{1}{3}\right)^{-1}}{3} = \frac{3}{4} + \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{3} = 1$$

$$K_{\theta} = \left[1 + \frac{p_1}{p_5}\right]^{-1} \cdot \left(\frac{p_1}{p_5}\right) =$$

$$= \left[1 + \frac{0,03}{0,01}\right]^{-1} \cdot \left(\frac{0,03}{0,01}\right) = \frac{1}{4} \cdot 3 = \frac{3}{4}$$

Інтерпретація результатів розрахунків показників надійності для контролінгу системи ТТЗ тб

Нижче наведені результати розрахунків показників надійності системи ТТЗ тб за описаною методикою.

Графічно зміни показників надійності роботи системи показані на рис. 5 і 6.

Таблиця 4

Показники надійності для контролінгу ЛЗ т(м)б, що бере участь в оборонній операції у період 30 діб

№ з/п	Ітерація (доба)	$K_{ж}$	K_{θ}
1.	1	1,5	0,9
2.	2	1,4	0,88
3.	3	1,35	0,861
4.	4	1,34	0,842
5.	5	1,34	0,832
6.	6	1,33	0,82
7.	7	1,32	0,819
8.	8	1,315	0,809
9.	9	1,31	0,8
10.	10	1,22	0,79
11.	11	1,18	0,785
12.	12	1,15	0,76
13.	13	1,14	0,759
14.	14	1,14	0,758
15.	15	1,12	0,757
16.	16	1,11	0,756
17.	17	1,11	0,755
18.	18	1,11	0,754
19.	19	1,1	0,7534
20.	20	1,05	0,753
21.	21	1,05	0,7529
22.	22	1,04	0,7525
23.	23	1,04	0,75245
24.	24	1,06	0,7524
25.	25	1,05	0,7521
26.	26	1,04	0,752
27.	27	1,03	0,7512
28.	28	1,02	0,751
29.	29	1,01	0,75
30.	30	1	0,75



Рис. 5. Коефіцієнт живучості системи ТТЗ



Рис. 6. Коефіцієнт відновлення системи ТТЗ

Аналіз графіків залежності коефіцієнта відновлення показує їх повільне зниження протягом часу ведення бойових дій. Це може бути обумовлено зниженням ймовірності перебування системи у стані, при якому техніка боєготова. Але найбільший вплив за результатами проведеного динамічного аналізу на показники надійності мають “проведення технічної розвідки” та “середній час відновлення запасів МТЗ”.

Рекомендації щодо забезпечення показників надійності системи ТТЗ батальйону

Аналіз результатів розрахунків, проведений за методикою, яка запропонована в роботі, показав, що основними проблемами, які знижують показники стійкості та живучості системи ТТЗ, є затримки в технічній розвідці, тривалий час відновлення запасів матеріально-технічних засобів (МТЗ), а також уразливість логістичних об'єктів до ворожих засобів ураження.

Для підвищення коефіцієнтів надійності (K_v і $K_{ж}$) у роботі пропонується комплекс заходів, спрямованих на оптимізацію логістичних процесів, зокрема через розосередження об'єктів ЛЗ, використання безпілотних літальних апаратів (БпЛА) та впровадження сучасних технологій.

Одним із ключових заходів для підвищення живучості системи ЛЗ є розосередження та взаємовіддалення об'єктів логістичного (технічного) забезпечення, таких як пункти технічного обслуговування (ПТО), склади МТЗ, ремонтні майстерні та пункти управління логістикою. Це дозволяє знизити ймовірність ураження кількох об'єктів одним боєприпасом противника, що є критичним у сучасних бойових умовах, де застосовуються високоточні засоби ураження, артилерія та дрони-камікадзе. Так пропонується логістичні об'єкти розміщувати на відстані, що перевищує радіус ураження типових боєприпасів (наприклад, 152-мм артилерійських снарядів або дронів із зарядом до 5 кг). Рекомендована відстань між об'єктами – не менше 500-1000 м, залежно від рельєфу та типу загрози.

Розосередження знижує ризик одночасної втрати кількох об'єктів, що підвищує коефіцієнт відновлення (K_v) системи ТТЗ. У роботі показано, що цей захід дозволяє досягти $K_v = 0,78$, порівняно з базовим значенням 0,75. Наприклад, у зоні ООС 2022 року концентрація складів МТЗ в одному районі призводила до втрат до 30% запасів від одного артилерійського удару. Розосередження зменшує такі втрати до 5 – 10%, що забезпечує безперебійність постачання.

Застосування БпЛА є інноваційним рішенням для підвищення стійкості та живучості системи ТТЗ підрозділу. Безпілотні літальні апарати дозволяють

виконувати ключові завдання ЛЗ, мінімізуючи ризики для особового складу та скорочуючи час реакції на логістичні виклики. У роботі зазначено, що ЗСУ у 2023 році успішно тестували БпЛА для доставки вантажів вагою до 5 кг, що підтверджує їхню ефективність.

Функції БпЛА в ТТЗ, і зокрема у всій системі ЛЗ, пропонується визначити як такі:

- доставка МТЗ, а саме: БпЛА транспортують дрібні запчастини (електронні компоненти, фільтри, інструменти), медикаменти та інші критично важливі матеріали до передової. Прогнозується час доставки: 20-30 хв – на відстань до 10-20 км, порівняно з 3-5 годинами для наземних конвоїв. Зокрема, скорочення часу доставки підвищує K_v до 0,80, оскільки забезпечує швидке відновлення ОБТ;

- технічна розвідка, а саме БпЛА з камерами та датчиками оцінюють стан пошкодженої техніки на полі бою, визначаючи пріоритети для евакуації чи ремонту. Наприклад, дрон Leleka-100 здатен за 10-15 хв оцінити стан танка, що зменшує час технічної розвідки (S_2) з 4 до 1 години;

- моніторинг маршрутів, під час якого БпЛА відстежують стан доріг, виявляють міні поля чи ворожі засідки, що знижує ризик атак на конвої. Прогнозується, зменшення втрат МТЗ до 5% на маршрутах постачання;

- використання БпЛА передбачає передачу даних у реальному часі до пунктів управління логістикою та дозволяє оперативно коригувати плани постачання і ремонту.

У табл. 5 на основі використаної методики наведено значення K_v і $K_{ж}$ з урахуванням запропонованих рекомендацій.

Таблиця 5

Прогнозоване покращення показників надійності системи логістичного забезпечення танкового (механізованого) батальйону

№ з/п	Заходи	K_v		$K_{ж}$	
		до	після	до	після
1.	Розосередження об'єктів	0,75	0,78	1,0	1,05
2.	Використання БпЛА	0,75	0,81 – 0,83	1,0	1,1
3.	Оптимізація ресурсів	0,75	0,82	1,0	1,08
4.	Сучасні технології	0,75	0,80	1,0	1,1

Отже, наведені дослідження забезпечення надійності функціонування системи ТТЗ дозволяє визначати «вузькі» місця, зокрема в ході бойових дій, та оперативно реагувати на її відновлюваність і живучість за рахунок впровадження організаційно-технічних заходів та сучасних технологій.

Висновки

1. Система ТТЗ *тб* як підсистема ТЗ ЛЗ є складною структурою, що забезпечує бойову готовність техніки у сучасних умовах ведення бойових дій. Основним джерелом поповнення втрат ОВТ за досвідом війни рф проти України є своєчасне відновлення техніки та повернення її в стрій, що підкреслює актуальність дослідження.

Аналіз функціонування системи ТТЗ показує, що вона потребує чіткої організації та оцінки надійності для подолання ризиків.

Контролінг ТТЗ дозволяє виявляти слабкі місця, такі як затримки в постачанні чи збільшення часу відновлення техніки, за допомогою статистичних методів. Показники надійності, зокрема коефіцієнт відновлення та живучості, є основою для підвищення надійності системи ТТЗ загалом.

2. Аналіз функціонування системи ТТЗ свідчить про її ключову роль у забезпеченні техніки *тб* у постійній готовності до застосування. Проте виявлено ряд факторів, що впливають на її функціонування, зокрема, дефіцит ресурсів і складність умов ремонту.

3. Для дослідження надійності системи ТТЗ *тб* у роботі пропонується використовувати математичний апарат теорії масового обслуговування. В роботі система ТТЗ представлена у вигляді графа переходів з відповідними інтенсивністю та ймовірністю у типових умовах застосування цієї системи за призначенням. Параметри математичної моделі, що відповідає графу станів системи ТТЗ *тб*, можуть бути визначені за статистичними даними і в подальшому використовуватися для контролінгу та оптимізації її функціонування. Таке подання системи ТТЗ *тб* сприяє логічному і конкретному визначенню показників її надійності, у т.ч. коефіцієнтів відновлення і живучості. Динамічний аналіз дає можливість досліджувати стан системи у часі як покроково, так і у граничному періоді.

4. У роботі наведено дослідження надійності системи ТТЗ *тб*, що бере участь в оборонній операції протягом 30 діб. Результати дослідження показують повільне зниження коефіцієнтів відновлення. Результати розрахунків за запропонованою методикою показують, що факторами, які знижують ці показники, є затримки в технічній розвідці, тривалий час відновлення запасів матеріально-технічних засобів (МТЗ), а також уразливість логістичних об'єктів та шляхів до ворожих засобів ураження.

5. З метою підвищення коефіцієнтів надійності (K_v та $K_{ж}$) у роботі пропонується комплекс заходів, спрямованих на оптимізацію логістичних процесів, зокрема через розосередження об'єктів ЛЗ (ТЗ),

використання безпілотних літальних апаратів та впровадження сучасних технологій.

6. Найбільший ефект забезпечується за рахунок БПЛА, які скорочують час доставки МТЗ і розвідки, знижують втрати особового складу підрозділів технічного забезпечення. Комплексне застосування заходів підвищує K_v до 0,85 та $K_{ж}$ до 1,2, що сприяє надійному функціонуванню системи ТТЗ на прикладі танкового батальйону в умовах бойових дій.

Подальшими напрямками досліджень забезпечення надійного функціонування підсистеми ТЗ може бути розробка організаційно-штатних структур органів технічного забезпечення, методів і способів відновлення ОВТ з урахуванням досвіду війни рф проти України та застосування сучасних інноваційних технологій ремонту (відновлення) ОВТ.

Список літератури

1. Бойовий статут Сухопутних військ Збройних сил України. Частина II (батальйон, рота). Київ: Вид-во. «Центр учбової літератури», 2022. 304 с.
2. Бойовий статут «Логістика Сухопутних військ Збройних Сил України» (тактичний рівень). БП 4-32(11).01. 2021. 165 с.
3. Білетов В. І. Проблема побудови єдиної системи логістичного забезпечення військових формувань України. Труді університету оборони України. 2010. Вип. 4 (91). С. 81-89.
4. Сисоєв В.В. Концепція моделювання логістичного управління постачанням сил сектора безпеки і оборони держави. Проблеми економіки. 2015. № 3. С. 342–351. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2015_3_47
5. Старцев В.В., Мусієнко О.П., Гурін О.М., Просяник В.В., Коломійцев О.В. Методики оцінювання ефективності відновлення озброєння та військової техніки Повітряних Сил Збройних Сил України. Збірник наукових праць ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. Вип. № 2 (12). DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.14>
6. Старцев В.В., Коломійцев О.В., Гурін О.М., Третяк В.Ф., Пустоваров В.В., Олійник Р.М. Напрями щодо удосконалення системи логістичного забезпечення військових частин (підрозділів) при розміщенні у польових умовах в сучасних збройних конфліктах. Збірник наукових праць ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Том 14. № 4. 2022. DOI: [10.37701/dndivsovt.14.2022.13](https://doi.org/10.37701/dndivsovt.14.2022.13)
7. Павловський І.В., Твердохлібов В.В., Башкиров О.М. Пропозиції щодо удосконалення системи логістичного забезпечення Збройних Сил України. Озброєння та військова техніка. № 1 (13), 2017. С. 50–54.
8. Баранов Ю., Баранов А., Кузьмичев А. Вибір та обґрунтування показників оцінки ефективності функціонування системи логістичного забезпечення. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. 2019. Том 81. № 3. pp. 291–301. DOI: <https://doi.org/10.32453/3.v81i3.477>

9. Баранов Ю., Баранов А., Андрієнко А., Яльницький О., Пашковський В., Корольов О. Рекомендації щодо ліквідації збоїв у процесі управління технічним станом військової техніки в умовах ведення бойових дій. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки*. № 2, 3 (85). 2021. С. 239-251.

10. Колесникова Е.В. Прикладные аспекты применения цепей Маркова для моделирования слабо структурированных систем проектного управления. *Информ. технологий в освіті, науці та вир-ві*: зб. наук. пр. Одеса. 2013. Вип. 4 (5). С. 77–82.

11. Максимова М.В. Теоретичні підходи до визначення сутності поняття “контролінг” у банківській діяльності. URL: http://fk.d.khivs.edu.ua/pdf/2012_2/6.pdf

12. Доктрина застосування Сил логістики. Військова публікація : ВКП 4-32(03).01. 2021. 47 с.

13. Доктрина «Об'єднана логістика». Військова публікація : СП 4-00(30)03.01. 2020. 46 с.

14. Юркова Б.Н. Исследование операций. М.: ВИКА, 1990. 528 с.

15. Скільки часу може займати відновлення. URL: https://defence-ua.com/army_and_war/na_remont_odniji_m777_dovelos_brati_chastini_iz_8_poshkodzhenih_tse_hronichna_problema-14734.html

16. Войтенко С.С., Бабич О.О. Метод планування технічного обслуговування і військового ремонту озброєння та військової техніки в сучасних умовах. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. № 3 (69). С. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.06>

17. Кельберт М. Я., Сухов Ю. М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. М.: МЦНМО, 2010. 295 с.

18. Таха Х. А. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2005. 912 с.

19. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

20. Сервіс з вирішення завдань з вищої математики. URL: <https://dio.fan/problems/MCclassicproblem>

21. Serhieiev Alexander, Makogon Helen, Yuri Babkin, Vradii Ivanna, Pelekhatyi Mykyta, Haldobin Oleksandr. Using of mass service models for controlling enterprise logistics systems. *I international scientific conference. “Innovative scientific forum”*. Helsinki. Finland. March 13-14. 2025. pp. 97–99. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15048056>

22. З кожним роком все більше, як купували безпілотними коштом бюджету у 2024. 2025. URL: <https://dozorro.org/blog/z-kozhnim-rokom-vse-bilshe-yak-kupuvali-bezpilotniki-koshtom-byudzhetu-u-2024>

References

1. The Armed Forces of Ukraine (2022), “*Boyovyy statut sukhoputnykh viys'k Zbroynykh syl Ukrayiny. Chastyna II. (Batal'yon, rota)*” [Combat regulations of the ground forces of the Armed Forces of Ukraine. Part II], Tsentr uchbovoyi literatury, Kyiv, 304 p. [in Ukrainian].

2. The Armed Forces of Ukraine (2021), “*Boyovyy statut “Lohistyka Sukhoputnykh viys'k Zbroynykh Syl Ukrayiny” (taktychnyy riven’)*. BP 4-32(11).01 [Combat regulations “Logistics of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine” (tactical level). BP 4-32(11).01], Viys'kova akademiya (m. Odesa), Odesa, 165p. [in Ukrainian].

3. Bilyetov V. I. (2010), “Problema pobudovy yedynoi systemy lohistychnoho zabezpechennia viiskovykh formuvan Ukrayiny” [The problem of building a unified system of logistical support for military formations of Ukraine], *Universytet oborony Ukrayiny*, vol. 4(91), pp. 81-89. [in Ukrainian]

4. Sysoyev V. V. (2015), “Kontseptsiiia modeliuvannia lohistychnoho upravlinnia postachanniam syl sektora bezpeky i oborony derzhavy” [The concept of modeling the logistics management of the supply of forces of the security and defense sector of the state]. *Problemy ekonomiky*, vol. 3, pp. 342-351. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2015_3_47 [in Ukrainian]

5. Startsev V.V., Musiyenko O.P., Hurin O.M., Prosyanyk V.V. and Kolomytsev O.V. (2022), “Metodyky otsynuvannya efektyvnosti vidnovlennya ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniky Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny” [Methods for assessing the effectiveness of the restoration of weapons and military equipment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine], *Derzhavnyy naukovy-doslidnyy instytut vyprobuvan' i sertyfikatsiyi ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniky*, № 2 (12). DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.144> [in Ukrainian]

6. Startsev V.V., Kolomytsev O.V., Hurin O.M., Tretyak V.F., Pustovarov V.V. and Oliynyk R.M. (2022), “Napriamy shchodo udoskonalennia systemy lohistychnoho zabezpechennia viiskovykh chastyn (pidrozdiliv) pry rozmishchenni u polovoykh umovakh v suchasnykh zbroynykh konfliktakh” [Directions for improving the system of logistical support for military units (subunits) when deployed in field conditions in modern armed conflicts], *Derzhavnyy naukovy-doslidnyy instytut vyprobuvan' i sertyfikatsiyi ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniky*, vol. 14, № 4, pp. 118-134 DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.14.2022.13> [in Ukrainian]

7. Pavlovskyy I. V., Tverdokhlbov V. V. and Bashkyrov O. M. (2017), “Propozytsii shchodo udoskonalennia systemy lohistychnoho zabezpechennia Zbroynykh Syl Ukrayiny” [Proposals for improving the logistics system of the Armed Forces of Ukraine], *Ozbroynennya ta viys'kova tekhnika*, № 1 (13), pp. 50-54. [in Ukrainian]

8. Baranov Yu., Baranov A. and Kuz'mychev A. (2019), “Vybir ta obgruntuvannia pokaznykiv otsinky efektyvnosti funktsio-nuvannia systemy lohistychnoho zabezpechennia” [Selection and justification of indicators for assessing the effectiveness of the logistics system], *Natsional'na akademiya Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny*, vol. 81, № 3, pp. 291-301. <https://doi.org/10.32453/3.v81i3.477> [in Ukrainian]

9. Baranov Yu, Baranov A., Andriyenko A., Yal'nyts'kyy O., Pashkovs'kyy V. and Korol'ov O. (2021), “Rekomendatsii shchodo likvidatsii zboiv u protsesi upravlinnia tekhnichnym stanom viiskovoi tekhniky v umovakh vedennia boiovykh dii” [Recommendations for eliminating failures in the process of managing the technical condition of military equipment in combat conditions], *Natsional'na akademiya Derzhavnoyi*

prykordonnoyi sluzhby Ukrainy, № 2, 3 (85), pp. 239 - 251. [in Ukrainian]

10. Kolesnykova E.V. (2013), "Prykladnye aspekty prymenyeniya tsepei Markova dlia modelyrovaniya slabo strukturyrovannykh system proektnoho upravleniya" [Applied aspects of using Markov chains for modeling weakly structured project management systems], *Inform. tekhnolohiyi v osviti, nausti ta vyr-vi: zb. nauk. pr.*, № 4 (5), pp.77–82. [in Russian]

11. Maksymova M. V. (2014), "Teoretychni pidkhody do vyznachennia sutnosti poniattia "kontrolinh" u bankivskii diialnosti" [Theoretical approaches to defining the essence of the concept of 'controlling' in banking], *Financial and credit activity problems of theory and practice*, Vol. 2 (13), pp. 39–47. DOI: 10.18371/fcaptp.v2i13.25120 [in Ukrainian]

12. *Doctrine of the use of Logistics Forces. VKP 4-32(03).01* (2021), "Doktryna zastosuvannia Syl lohistyky. Viiskova publikatsiia : VKP 4-32(03).01". Komanduvannya Syl lohistyky Zbroynykh Syl Ukrainy, Kyiv, 47 p. [in Ukrainian].

13. *Combat regulations "Logistics of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine" (tactical level). BP 4-32(11).01.* (2021), "Doktryna «Obiednana lohistyka». Viiskova publikatsiia : SP 4-00(30)03.01". Hol. upr. lohistyky HSH ZSU, TSNDI ZSU, 46p. [in Ukrainian].

14. Yurkova B.N. (1990), "Issledovaniye operatsiy" [Operations research]. VIKA, Moscow, SU. [in Russian]

15. "Skil'ky chasu mozhe zaymaty vidnovlennya?" [How long can recovery take?], available at: URL: https://defence-a.com/army_and_war/na_remont_odniji_m777_dovelos_bra ti_chastini_iz_8_poshkodzhениh_tse_hronichna_problema-14734.html [in Ukrainian]

16. Voytenko S.S. and Babich O.O. (2021), "Metod planuvannia tekhnichnoho obsluhovuvannia i viiskovoho remontu ozbroien-nia ta viiskovoi tekhniky v suchasnykh

umovakh" [Method of planning technical maintenance and military repair of military equipment in modern minds]. *Kharkivs'kyi natsional'nyi universytet Povitryanykh Syl*, vol. № 3(69), pp. 50-54, DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.066> [in Ukrainian]

17. Kel'bert M. Ya. and Sukhov Yu. M. (2010), "Veroyatnost' i statistika v primerakh i zadachakh. T. II: Markovskiye tsepi kak otpravnyaya tochka teorii sluchaynykh protsessov i ikh prilozheniya" [Probability and statistics in examples and problems. Vol. II: Markov chains as a starting point for the theory of random processes and their applications], MTSNMO, RU. [in Russian]

18. Taha Hamdy A. (2005), "Vvedenie v issledovanie operatsiy" [Operations Research: An Introduction], Publishing House "Williams", RU. [in Russian]

19. Ventcel' E. S. (1969), "Teoriya veroyatnostey" [Probability theory], Nauka, SU. [in Russian]

20. Service for solving problems in higher mathematics, "Servis z vyrishennia zavdan z vyshchoi matematyky". URL: <https://dio.fan/problems/MCclassicproblem> [in Ukrainian]

21. Serhieiev A., Makogon H., Babkin Yu., Vradii I. Pelekhayti M. and Haldobin O. (2025), "Using of mass service models for controlling enterprise logistics systems", *I international scientific conference. "Innovative scientific forum"*. Helsinki. Finland. March 13-14. 2025. pp. 97-99. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.150480566>

22. More and more every year yak-kupuvali-bezpilotniki-koshtom-byudzhetu-u-2024 (2025), "Z kozhnym rokom vse bilshe, yak kupuvaly bezpilotny my koshtom biudzhetu u 2024". URL: <https://dozorro.org/blog/z-kozhnim-rokom-vse-bilshe-yak-kupuvali-bezpilotniki-koshtom-byudzhetu-u-2024> [in Ukrainian]

ADVANCED RELIABILITY INDICATORS OF THE OF TANK-TECHNICAL SUPPORT SYSTEM FUNCTIONALITY FOR A TANK BATTALION IN THE MINDS OF COMBAT ACTIVITIES

Helen Makogon, Mykyta Pelekhayti, Yuriy Krasnoshapka, Serhii Kyrychuk, Ivan Mashchenko, Volodymyr Kryvtsun, Yaroslav Mishchenko

The subject of study in the article is a tank (mechanized) battalion logistical support. The goal of the article is to develop a logistics support model allows obtaining quantitative reliability estimates of a tank (mechanized) battalion conducting combat operations in modern conditions. The tasks to be solved are: to present the process of a tank (mechanized) battalion logistical support using the mass service model; to draw the the system states graph and derive analytical dependencies of the LS system recovery coefficient of the survivability coefficient on the time of its transition from one state to another; by solving an optimization problem to investigate the reliability indicators in a tank (mechanized) battalion logistical support system in certain conditions of combat operations, to draw appropriate conclusions and provide recommendations.

The methodological basis of the study was general scientific (analysis and synthesis, systematic approach, logical generalization) and special (reliability theory, mathematical modeling, elements of probabilistic analysis) methods of scientific knowledge. In addition, the practical combat experience of the Armed Forces of Ukraine, the results of analytical reports as well as open source materials were taken into account.

The following results were obtained: the conducted study of the logistics support system reliability of a tank (mechanized) battalion participating in a defensive operation for a period of 30 days revealed a slow decrease in the recovery coefficient and survivability coefficient. Analysis of the calculation results, carried out using the methodology proposed in the work, showed that the main problems reduce the indicators of the stability and survivability of the LS are delays in technical reconnaissance, a long time to restore stocks of material and technical means (MTM), as well as the vulnerability of logistical facilities to enemy weapons. To increase the reliability coefficients (survivability coefficient K_s and recovery coefficient K_r), the work proposes a set

of measures aimed at optimizing logistical processes, in particular through the dispersal of LS facilities, the use of unmanned aerial vehicles and the introduction of modern technologies. The greatest effect is provided by UAVs, which reduce the time for the delivery of MTM and reconnaissance, reducing risks to personnel. The comprehensive application of measures increases K_r to 0.85 and K_s to 1.2, which contributes to the uninterrupted support of the battalion in combat conditions.

Conclusions. 1. A tank (mechanized) battalion logistics support system is a complex structure ensures combat readiness in modern conditions of combat operations. It includes material and technical support that operate in difficult conditions of hybrid warfare, enemy attacks and resource constraints. The analysis shows that the logistics support system requires a clear organization and reliability assessment to overcome challenges. Controlling the logistics support system allows you to identify weaknesses, such as delays in delivery or slow equipment recovery, using statistical methods. Reliability indicators, in particular the recovery and survivability coefficient, are the basis for increasing the reliability of the logistics support system as a whole.

2. Technical support, as a subsystem of the logistics support system, plays a key role in maintaining equipment in working condition, but faces problems of resource shortage and difficult repair conditions. To study the reliability of the logistics support system of a tank (mechanized) battalion, it is proposed to use the mathematical apparatus of the theory of mass service. It is advisable to present the system in the form of a simple graph of transitions with the corresponding intensity and probability in typical conditions of application of this system for its intended purpose. The parameters of the mathematical model, which corresponds to the graph of states of the system $LS\ t(m)b$, can be determined from statistical data and subsequently used for controlling and optimizing its functioning.

3. Dynamic analysis makes it possible to study the state of the system in time both step by step and in the limit period. The implementation of recommendations obtained on the basis of the calculations requires investment, training and coordination with higher levels, but their practical value is confirmed by the experience of the Armed Forces of Ukraine and quantitative calculations.

Keywords: logistics support system, branded chain, dynamic model, reliability indicators, survivability coefficient, recovery coefficient.
