

Удосконалена модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України з дотримання процедури пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої автобронетанкової техніки

An Improved Model of the Actions of the Repair Units of the National Guard of Ukraine Following the Procedure for the Search, Evacuation, and Repair of Damaged Automotive and Armored Vehicles

Ярослав Павлов

кандидат педагогічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту логістики, e-mail: palych.yaroslav@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-0852-5659

Yaroslav Pavlov

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Educational and Research Institute of Logistics, e-mail: palych.yaroslav@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0852-5659

Національна академія Національної гвардії України, м. Київ, Україна

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 10, 2025 | Revised: October 20, 2025 | Accepted: October 31, 2025

UDC 623.442:004.9:620.179+53.082

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.8>

Мета роботи. Розроблення удосконаленої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка забезпечує замкнений цикл пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої автобронетанкової техніки в умовах ведення бойових дій шляхом інтеграції даних повітряної та наземної технічної розвідки, цифрових двійників зразків техніки, баз даних технічного стану й програмних засобів системи підтримки прийняття рішень.

Метод дослідження. Системний підхід.

Результати дослідження. Розроблено формалізовану модель дій ремонтних підрозділів, у якій кожен модуль (дія засобів безпілотних літальних апаратів, групи технічної розвідки, органу управління, евакуаційних та ремонтних підрозділів) представлено у вигляді інформаційного об'єкта з власними входами, виходами та алгоритмами взаємодії. Взаємодія між модулями описується функцією придатності $S_{(x,y,t)}$, яка визначає доцільність виконання певних дій у конкретній точці простору та часу, з урахуванням ризиків $R_{(x,y)}$, доступності місцевості $A_{(x,y,t)}$ і ймовірності знаходження пошкодженої техніки $P_{(x,y)}$.

Теоретична цінність дослідження. Теоретична цінність полягає у формалізації процесів технічного забезпечення військ на основі системного підходу та побудови удосконаленої моделі, яка поєднує функції пошуку, евакуації та ремонту в єдиному контурі управління. Розроблена удосконалена модель розширює існуючі уявлення про динамічну взаємодію повітряних і наземних підсистем технічної розвідки, вводить критерії придатності та транспортабельності пошкодженої техніки у кількісній формі та закладає підґрунтя для подальшої цифрової трансформації системи технічного забезпечення.

Оригінальність/Цінність дослідження. Оригінальність роботи полягає у створенні цілісної інтегрованої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка вперше поєднує математичне моделювання, технологію "цифрового двійника", імовірнісні методи оцінювання стану техніки та алгоритми оптимізації маршрутів. Цінність дослідження визначається його практичною спрямованістю – можливістю використання удосконаленої моделі для автоматизації процесів управління діями ремонтно-евакуаційних органів у бойових умовах та підвищення рівня живучості військових формувань.

Тип статті. Дослідницька.

Purpose. To develop an advanced model of the actions of the repair units of the National Guard of Ukraine, which ensures a closed cycle of search, evacuation, and repair of damaged armored vehicles under combat conditions through the integration of data from aerial and ground technical reconnaissance, digital twins of vehicle samples, databases of technical condition, and decision support software tools.

Method. A system approach.

Findings. Within the framework of the study, a formalized model of the actions of repair units was developed, in which each module (unmanned aerial vehicles, technical reconnaissance groups, command and control body, evacuation and repair units) is represented as an information object with its own inputs, outputs, and interaction algorithms. The interaction between modules is described by the suitability function $S_{(x,y,t)}$, which determines the expediency of performing certain actions at a specific point in space and time, taking into account risk $R_{(x,y)}$, terrain accessibility $A_{(x,y,t)}$, and the probability of locating damaged equipment $P_{(x,y)}$.

Theoretical value of the study. The theoretical value lies in the formalization of technical support processes for military operations based on a system approach and the construction of an advanced model that integrates the functions of search, evacuation, and repair within a single control loop. The developed model expands existing concepts of dynamic interaction between aerial and ground reconnaissance subsystems, introduces quantitative criteria for the suitability and transportability of damaged vehicles, and provides a foundation for the digital transformation of technical support systems.

Originality / Research value. The originality of the study lies in the creation of a comprehensive integrated model of the actions of the repair units of the National Guard of Ukraine, which for the first time combines mathematical modeling, digital twin technology, probabilistic assessment methods of vehicle condition, and route optimization algorithms. The research value is determined by its practical orientation – the possibility of using the developed model for automation of repair-evacuation management processes under combat conditions and for increasing the survivability level of military formations.

Paper type. Research article.

Ключові слова: автобронетанкова техніка, індекс боєздатності, бойові пошкодження, кінцевий елемент заміни, технічний стан, верифікація результатів, безпілотний літальний апарат, цифровий двійник, кінцевий елемент заміни.

Key words: armored vehicles; combat damage; operational readiness index; replaceable end element; technical condition; verification of results; unmanned aerial vehicle (UAV); digital twin; decision support system; repair and evacuation units.

Вступ

Сучасні бойові дії характеризуються значними втратами автобронетанкової техніки (АБТТ), що висуває підвищені вимоги до організації її пошуку та відновлення в польових умовах [1, 2]. Ефективне застосування ремонтних підрозділів вимагає науково обґрунтованої моделі їхніх дій, яка повинна інтегрувати сучасні технології (дистанційного виявлення за допомогою безпілотних літальних апаратів (БпЛА), автоматизованих систем управління, цифрових баз даних) із усталеною процедурою технічної розвідки, евакуації та ремонту техніки. На основі сучасних методів пошуку пошкоджених зразків АБТТ та концепції електронного документообігу, обліку і ранжування за рівнем пошкоджень потрібно сформулювати модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України при бойових пошкодженнях техніки. Ця модель повинна забезпечувати повний замкнений цикл: виявлення – ідентифікація – оцінка стану – визначення придатності – аналіз – прийняття рішення – евакуація – ремонт – оновлення бази даних.

Теоретичні основи дослідження

Проведений аналіз наукових, нормативних та методичних джерел свідчить, що проблема забезпечення своєчасного пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ залишається недостатньо вирішеною як у теоретичному, так і в практичному аспектах. Наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів [1–6] заклали методологічні засади для організації технічного забезпечення, проте їх фокус здебільшого обмежувався загальними питаннями оптимізації або оцінювання ефективності функціонування систем, без врахування особливостей бойового середовища та динамічного характеру управління ремонтними органами.

Аналіз сучасних стандартів і доктрин [7–12] показав, що вони визначають загальні принципи логістичної підтримки та цифрової трансформації управління, проте не містять методик інтеграції даних від безпілотних систем, груп технічної розвідки та ремонтних підрозділів у єдиній системі підтримки прийняття рішень. Внаслідок цього в практиці організації технічного забезпечення спостерігається розрив між етапами пошуку, евакуації й ремонту, що унеможлиблює побудову замкненого управлінського циклу «виявлення – оцінювання – аналіз – відновлення».

Окремі роботи українських дослідників, зокрема Сівака В. А. [2; 3; 13], спрямовані на підвищення ефективності технічного забезпечення в підрозділах Національної гвардії України. Це досягається у спробі формалізувати процес пошуку пошкодженої техніки й впровадженні електронного обліку пошкоджень та їх ранжування. Однак і ці дослідження лише початкова ланка в побудові цілісної моделі дій: не розкрито уніфіковану структуру взаємодії повітряних і наземних компонент, а також проведена недостатня деталізація процесів автоматизованого прийняття рішень щодо евакуації чи ремонту.

Аналіз нормативних документів [12, 14, 15] показав, що увага зосереджені на організаційно-технічних питаннях дій ремонтних підрозділів і не враховують можливостей використання сучасних інформаційних технологій — використання систем управління баз даних, алгоритмів прогнозування технічного стану чи обчислювальних систем підтримки прийняття рішень. У результаті фактичне управління ремонтно-евакуаційними заходами часто здійснюється у напіваавтоматизованому режимі, що призводить до втрат часу, дублювання інформації та підвищення ризику помилок у визначенні пріоритетів відновлення техніки.

Отже, проведений аналіз показав, що наявна сукупність наукових рішень створює лише теоретичне підґрунтя, але не формує цілісної моделі дій ремонтних підрозділів у бойових умовах. Відсутній механізм інтеграції розвідувальних і технічних даних у єдиний інформаційний простір, здатний забезпечити автоматичне оновлення інформації, формування пріоритетів евакуації та оптимізацію ресурсів. Це зумовлює необхідність розроблення

удосконаленої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка забезпечить повний замкнений цикл від виявлення пошкодженої техніки до її повернення у стрій, із використанням технологій багатоджерельної розвідки, цифрових двійників та обчислювальних систем підтримки прийняття рішень.

Таким чином, проведення подальшого дослідження є доцільним і своєчасним, оскільки воно спрямоване на вирішення існуючого науково-прикладного протиріччя між традиційними методами організації ремонтно-евакуаційних заходів і сучасними вимогами до високотехнологічного, адаптивного технічного забезпечення військ у бойових умовах.

Постановка проблеми

Актуальною науковою проблемою є розроблення удосконаленої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка б реалізовувала замкнений цикл пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ на основі інтеграції даних повітряної і наземної розвідки, автоматизованої системи управління та підтримки прийняття рішень. Розв'язання цієї проблеми дозволить забезпечити скорочення часу на відновлення пошкодженої техніки, підвищити стійкість системи технічного забезпечення та збільшити частку зразків АБТТ, оперативно повернутих до строю.

Результати

Структура і взаємодія модулів моделі. Концептуальна структура удосконаленої моделі (рис. 1) включає 6 взаємопов'язаних модулів, що відповідають ключовим елементам процесу, який досліджується: управління (штаб), розвідки за допомогою БпЛА, розвідки за допомогою груп технічної розвідки ГТхР, дії підрозділів евакуації та ремонтних підрозділів, центральною ланкою виступає обчислювальний компонент – модуль підтримки прийняття рішень, в якому знаходиться база даних. Усі модулі поєднані захищеними цифровими каналами зв'язку, що забезпечують оперативний обмін даними в режимі реального часу. На рис. 1 наведено інформаційні зв'язки між модулями: від БпЛА та ГТхР до штабу й обчислювального компонента, а далі – до виконавців евакуаційно-ремонтних заходів та зворотній зв'язок.

Пошук і виявлення. На початковому етапі реалізується інтегрований пошук пошкодженої техніки силами повітряної та наземної розвідки. Безпілотні апарати ведуть спостереження з повітря одночасно і узгоджено з діями груп технічної розвідки на землі [3, 16]. На відміну від суто наземного пошуку, застосування БпЛА дає змогу здійснювати пошук цілодобово та за будь-яких погодних умов [16]. Після отримання наказу на проведення пошуково-рятувальної операції, визначається ймовірнісний район пошуку – множина точок, де функція придатності $S_{(x,y,t)} > 0$. Ця функція розраховується на основі апріорної ймовірності знаходження техніки $P_{(x,y,t)}$, показника доступності місцевості $A_{(x,y,t)}$ та інтегрального ризику у точці $R_{(x,y,t)}$. На підготовчому етапі також забезпечується планування оптимальних маршрутів для БпЛА і ГТхР з урахуванням таких критеріїв, як максимізація площі покриття, мінімізація ризику для БпЛА, умова прохідності місцевості і безпеки для наземних груп [4, 5]. Налагоджується система зв'язку: визначаються канали передачі даних, встановлюються ретранслятори, дублюються телеметричні потоки на випадок перешкод. Після завершення підготовки сили повітряної і наземної розвідки одночасно виходять у заданий район та розпочинають пошук (початок безпосереднього етапу пошуку).

БпЛА рухається по визначеному маршруту над зоною пошуку (див. рис. 1, модуль БпЛА, блок 2.1), використовуючи різноманітні сенсори (електрооптичні камери, тепловізори, інфрачервоні та радіолокаційні канали) для виявлення пошкодженої техніки. Отримані дані передаються на бортовий модуль обробки, де в реальному часі виконується первинна автоматична ідентифікація об'єктів із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту.

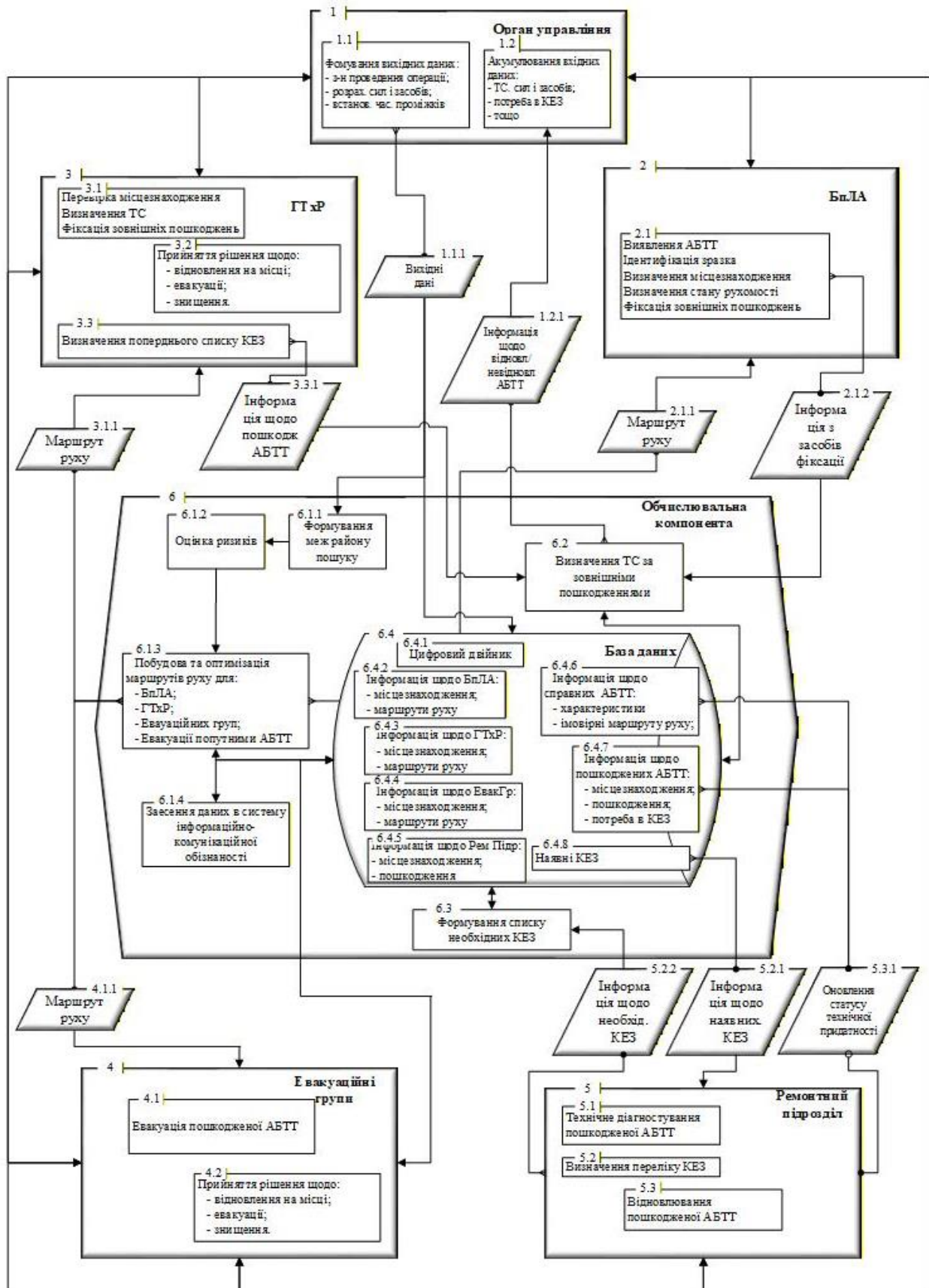


Рисунок 1 – Модель дій ремонтних підрозділів НГУ з дотримання процедури пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ

Джерело: розроблено автором у Visio

Зокрема, запропоновано використовувати одноетапні нейромережеві моделі (наприклад, сімейство YOLO), адаптовані до умов рухомої платформи БЛА [17]. Для підвищення надійності виявлення цілей застосовано критерій Неймана-Пірсона. При роботі технічної розвідки з використанням БЛА наслідки пропуску цілі є більш критичними, тому поріг спрацювання налаштовується так, щоб ймовірність хибної тривоги F не перевищувала заданого рівня α , мінімізуючи при цьому ймовірність пропуску цілі D [18]. Спираючись на досвід фахівців, граничний рівень пропуску пошкодженої техніки β рекомендовано встановити в межах 1–5%, а рівень хибної тривоги α – 5–10%. Такий баланс чутливості та селективності забезпечує максимально повну картину втрат техніки на полі бою, мінімізуючи ймовірність пропустити пошкоджений зразок. Після початкового виявлення БЛА переходить до стадії детальної ідентифікації – визначення класу, типу і, за можливості, моделі техніки [19]. На цьому етапі реалізується комбінований підхід: нейромережеві алгоритми високоточно класифікують об'єкт, тоді як класичні методи обробки зображень використовуються для оцінки просторового положення та інших допоміжних задач [19]. Одночасно для рухомих об'єктів обчислюються параметри її траєкторії (швидкість, напрямок тощо) з використанням рекурсивних фільтрів (наприклад, фільтра Калмана) [20]. Якщо об'єкт нерухомий виконується високоточна геоприв'язка із врахуванням похибок навігації [20]. На виході повітряна компонента видає уточнені координати виявленого об'єкта та зображення для подальшого аналізу.

Паралельно свою роботу ведуть групи технічної розвідки на землі (модуль 3). Ще на етапі планування вони займають вихідні позиції спостереження. В обчислювальному компоненті (модуль б) визначаються основні та резервні маршрути руху з урахуванням мінно-вибухових загроз, радіаційного, хімічного та бактеріологічного зараження та прохідності місцевості. Якщо додатково від БЛА надходить повідомлення про виявлення пошкодженого об'єкта, маршрут руху наземної групи коректується та вона висувається до зазначеного місця (рис. 1, модуль ГТхР, блок 3.1) для його безпосереднього підтвердження та детального огляду (контактна розвідка). Після прибуття на місце ГТхР здійснює верифікацію цілі (рис. 1, модуль ГТхР, блок 3.2), уточнення координат та стану зразка АБТТ. В ході експрес-діагностики перевіряються основні вузли: силова установка, ходова частина, системи керування; фіксуються видимі пошкодження, а також наявність вибухонебезпечних предметів чи загрози РХБ-зараження [14]. Критично важливо на цьому етапі встановити, чи не трапилося повне знищення (“зруйнованість”) техніки, за якого відновлення неможливе. У рамках запропонованої моделі “зруйнованість” визначається як повна непридатність зразка до відновлення – втрата несучих елементів конструкції, вибухове руйнування або глибоке вигорання корпусу. Якщо наземна розвідка підтверджує ознаки повної “зруйнованості” або не може достеменно оцінити стан через обмежений доступ, зразок класифікується як безповоротно втрачений. У такому випадку виконується протокол документування, тобто фіксуються координати та факт знищення, після чого об'єкт виключається зі списку кандидатів на евакуацію. Достовірність і швидкість прийняття такого рішення надзвичайно важливі, адже зайве витрачання ресурсів на безнадійно знищену техніку знижує ефективність роботи ремонтних органів.

Натомість, якщо “зруйнованість” не підтверджено, модель переходить до оцінки ступеня транспортабельності пошкодженого зразка (рис. 1, модуль ГТхР, блок 3.2, сценарій придатний до евакуації). З цією метою використовується ймовірнісна модель на основі логістичної регресії [6]. В якості вхідних параметрів розглядається вектор ознак z , що характеризує технічний стан рухомих елементів: величини кліренсу та пошкодження ходової частини, температурний контур силового блоку, наявність витоків робочих рідин тощо. Визначений вектор ваг w моделі логістичної регресії дає оцінку ймовірності того, що зразок можна відбуксирувати або даний зразок може рухатися своїм ходом [21]. Паралельно наземні

фахівці здійснюють стандартизовану фіксацію характеру і ступеня видимих пошкоджень. Кожен виявлений дефект класифікується за належністю до одного з основних функціональних вузлів машини та оцінюється за уніфікованою шкалою категорій А, В, С, D (від незначних до критичних). Запровадження таких уніфікованих шкал відповідає стандартам НАТО і дозволяє кількісно порівнювати ступінь пошкоджень різних зразків. Зокрема, в публікації USMC MCRP 3-40E.1 запропоновано типові критерії для віднесення пошкоджень до категорій А–D, які використано у даній моделі [14]. Результати документування – перелік пошкоджених компонентів із вказанням їх категорій – формують первинний “профіль пошкоджень” конкретного зразка, що в подальшому використовується для його ранжування за станом та пріоритезації ремонту.

Важливо підкреслити, що скорочення часу між моментом ураження техніки та її виявленням суттєво впливає на успішність подальшого відновлення. Як зазначено у роботі [13], зменшення часу на виявлення підвищує ймовірність успішного повернення машини до строю, оскільки скорочується період, протягом якого пошкоджений зразок перебуває під вогневим контролем противника. Запропонований в цій роботі підхід, що поєднує повітряну розвідку з наземною, дозволяє мінімізувати цей проміжок часу. Це узгоджується з сучасними тенденціями організації технічної розвідки та ремонтно-евакуаційних заходів, де підхід до єдиного конвеєра “пошук–евакуація–ремонт” розглядається як найбільш ефективний. Зокрема, в роботі [16] наведено алгоритм взаємопов’язаних процедур пошуку, евакуації та ремонту, що є базою для побудови цієї моделі (рис. 1).

Прийняття рішення і виконання евакуаційно-ремонтних заходів. Після того, як пошкоджений зразок техніки виявлено, ідентифіковано та оцінено його технічний стан (згідно з описаними вище процедурами), обчислювальний модуль синтезує декілька можливих сценаріїв подальших дій. На цьому етапі в центральну базу даних надходить уся зібрана інформація про об’єкт: координати, час виявлення, тип та модель техніки, підтверджений технічний стан (ступінь пошкодження, транспортабельність), деталізований перелік пошкоджень за вузлами, фото- та відеоматеріали, індикатори ризику, а також актуальні обмеження на транспортування (наприклад, якщо у машини заклинено ходову або зруйновано опору для буксирування). На основі цих даних система підтримки прийняття рішень, використовуючи алгоритм максимізації очікуваної користі (реалізований у попередніх дослідженнях автора), обирає один із трьох основних варіантів дій щодо пошкодженого зразка.

Перший варіант – локальний ремонт на місці. Якщо пошкодження незначні або середні, і техніка може бути відновлена силами ремонтної групи на полі бою (за умови наявності необхідних запасних частин і часу), обирається сценарій оперативного ремонту на місці. У такому разі обчислювальний модуль формує відповідну задачу ремонтному підрозділу (модуль 5) із переліком потрібних матеріалів та запчастин. Наприклад, якщо за результатами огляду визначено, що в машини пошкоджено акумулятор та радіатор, але ходова частина вціліла, доцільно виконати заміну цих кінцевих елементів заміни (КЕЗ) безпосередньо в польових умовах. У центральній базі даних фіксується рішення “ремонт на місці”, і до пункту стоянки машини прямує мобільна ремонтна група із необхідним оснащенням.

Другий варіант – евакуація в тил для ремонту. Якщо пошкодження суттєві, або для відновлення потрібні стаціонарні умови (майстерні, підйомно-транспортне обладнання, глибока дефектовка), тоді обирається сценарій евакуації машини до найближчого ремонтного центру чи парку техніки. Даний сценарій також застосовується, коли на місці бойового зіткнення зберігається висока загроза (обстріли, ворожі ДРГ тощо), і проведення тривалого ремонту на місці недоцільне з точки зору ризику. Система підтримки прийняття рішень розраховує раціональний евакуаційний маршрут з урахуванням обмежень для евакуаційної техніки та поточної обстановки. Зокрема, аналізуються “вузькі місця” на маршруті – мости,

круті підйоми, ділянки можливого мінування, – а також часові “вікна” безпеки для проходження небезпечних відрізків (щоб уникнути, наприклад потрапляння під артилерійський вогонь противника). Оптимізація маршруту здійснюється за критерієм мінімізації “еквівалентної довжини” шляху, що включає як геометричну відстань, так і надбавки за ризик та доступність [5]. Евакуація, як правило, здійснюється штатними евакуаційно-ремонтними машинами (наприклад БРЕМ) або іншими тягачами, що придатні для буксирування даного типу техніки. У ході евакуації використовується принцип супроводу колони, за необхідності забезпечується повітряний нагляд БпЛА над колоною, особливо при проходженні критичних ділянок маршруту. Штаб (орган управління) відстежує пересування евакуаційної колони в режимі реального часу на електронній карті місцевості, контролюючи дотримання встановлених обмежень за часом і простором, аби уникнути непередбачених зіткнень з противником. У випадку зміни обстановки (нові загрози на маршруті, погіршення погоди (оновлені шари $R_{(x,y)}$ та $A_{(x,y)}$) тощо) обчислювальний модуль може здійснити динамічне перепланування маршруту в реальному часі. Такий зворотний зв'язок відповідає сучасному принципу “замкненого контуру” управління.

Третій варіант – демонтаж і знищення зразка. Якщо пошкодження техніки критичні, але окремі вузли чи агрегати залишилися цілими і становлять цінність (наприклад, озброєння, прилади спостереження, зв'язку, двигун тощо), необхідно провести демонтаж придатних вузлів на місці з подальшим знищенням даного зразка АБТТ. Рішення про доцільність такого кроку приймає командир ремонтно-відновлюваного органу на основі рекомендацій, які запропоновані обчислювальною компонентою. У разі обрання цього сценарію, на місце висилається спеціальна бригада для швидкого зняття потрібних деталей, після чого зразок АБТТ підривають або іншим чином виводяться з ладу, щоб запобігти їх потраплянню до ворога. У базі даних техніка позначається як утилізована на полі бою.

Після вибору оптимального сценарію дій формується «пакет уточненої інформації» щодо конкретного зразка АБТТ [13]. Це стандартизований електронний запис, що містить усі необхідні дані для виконання рішення: унікальний ідентифікатор машини, її координати і час виявлення, тип і модель, підтверджений ступінь пошкодження (ознака “зруйнованості” та рівень транспортабельності), детальний перелік зафіксованих пошкоджень (за вузлами і категоріями А–D), фотодокази, показники ризику (наприклад, близькість до ворожих позицій чи наявність мінної небезпеки), обмеження для транспортування (якщо є) та рекомендований сценарій дій (ремонт на місці, евакуація або демонтаж). Сформований пакет автоматично реєструється у центральній базі даних (модуль електронного обліку) та одночасно надсилається відповідним виконавцям – командирам ремонтних та евакуаційних підрозділів, які залучені до операції [13]. Для адресної доставки інформації використовується інтегрована система управління боєм на базі геоінформаційної системи (наприклад, в середовищі інформаційно-комунікаційної системи “Дельта”) [22]. Практично це реалізовано у вигляді оновлення відповідних ситуаційних шарів електронної карти: з'являється мітка про знайдений зразок, яка доступна для перегляду ремонтними та евакуаційними групами через захищений застосунок, разом із всіма необхідними деталями щодо стану техніки та затвердженим планом дій [22]. Таким чином досягається прозорість і узгодженість дій.

База даних і зворотний зв'язок. Модель передбачає централізоване накопичення та оброблення даних про всі пошкоджені зразки техніки у вигляді бази цифрових профілів. Кожна одиниця АБТТ представлена в базі унікальним записом (“цифровим двійником”), що містить як постійну інформацію (тип, заводський номер, параметри тощо), так і динамічні поля стану, які оновлюються в ході експлуатації і бойових дій [7, 8]. Зокрема, у таблицях бази даних фіксуються події ушкодження (дата, координати, опис пошкоджень), результати технічної розвідки, рішення щодо евакуації/ремонту, хід виконання робіт, а також поточний статус машини (в строю, в ремонті, знищена тощо). Така система електронного обліку реалізує

концепцію “цифрового двійника” техніки, що поєднує дані від різнорідних джерел у реальному часі та дозволяє здійснювати моніторинг і аналіз стану кожного зразка техніки протягом усього життєвого циклу [9,10]. За рахунок інтеграції даних від БПЛА, ГТхР, екіпажів та технічних сенсорів цифровий профіль машини постійно актуалізується, відображаючи фактичний рівень боєздатності. У бази даних зберігається інформація про ймовірність знаходження пошкодженої техніки $P_{(x,y)}$ у кожній точці пошукового поля та автоматично оновлюється на електронній карті після кожного нового спостереження [23, 24]. Це дозволяє коректно накопичувати докази і поступово уточнювати картину ймовірнісного розподілу техніки на місцевості. В результаті у базі даних будуються тематичні шари ймовірності (P), ризику (R) та доступності (A), які в сукупності визначають функцію придатності $S_{(x,y)}$ для пошуку. На основі актуалізованих шарів система автоматично перевіряє, чи не настали порогові умови для перегляду плану пошуку або маршрутів підрозділів. Наприклад, якщо на якомусь напрямку різко зросли ризики (виявлено активність противника) або навпаки, з’явилися нові дані про можливе місцезнаходження техніки (збільшилось $P_{(x,y)}$), система може запропонувати перегрупувати пошукові зусилля. Таким чином, досягається адаптивність моделі до змін обстановки: за рахунок “замкненого контуру” зворотного зв’язку (спостереження → оновлення даних → рішення → дія), тобто модель автоматично підлаштовується під динаміку бойових дій. Це скорочує середній час підтвердження нових об’єктів та підвищує пропускну здатність всієї системи від пошуку до ремонту.

Після виконання одного з локальних сценаріїв (незалежно від того, був це ремонт на місці, евакуація чи утилізація залишків) інформація про фактичні результати негайно передається до органу управління та зберігається в базі даних. Відповідний командир підтверджує оновлений статус зразка. Наприклад, “евакуйований, прямує в ремонт”, або “відремонтований у полі, повернутий до строю”, або “втрачений безповоротно”. Ці статуси відображаються у цифровій системі, забезпечуючи прозорість подальшого контролю і аналізу. Завершальна фаза передбачає узгодження підсумкового звіту зі штабом та передачу даних до аналітичних підсистем для накопичення статистики. Підрозділи, що брали участь у пошуку та евакуації, після виконання завдань або повертаються до пунктів постійної дислокації для проведення регламентних робіт, або (за потреби) перенаправляються в нові райони пошуку, визначені оновленою ймовірнісною картою в базі даних. Таким чином модель функціонує циклічно: кожен знайдений зразок проходить повний цикл від виявлення до завершення відновлювальних заходів, після чого ресурси переключаються на наступні об’єкти.

Наукова новизна та практична значущість моделі. Запропонована модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України вперше об’єднує в єдиний інформаційний контур усі стадії поводження з пошкодженою технікою – від пошуку до завершення ремонту – на основі сучасних інформаційних технологій. Наукова новизна полягає у комплексному поєднанні методів багатоагентної розвідки, цифрового моделювання та оптимізаційного управління ресурсами. Зокрема, розроблено і використано формальні критерії для ключових рішень: критерій незворотної “зруйнованості” зразка (усуває суб’єктивність при визначенні, чи підлягає техніка відновленню), імовірнісна модель оцінки транспортабельності (кількісно визначає, чи можна евакуювати зразок своїм ходом або буксируванням), алгоритми багатокритеріальної оптимізації маршрутів (мінімізують ризики та час евакуації) та процедури ранжування пошкоджень за критичністю (дозволяють об’єктивно пріоритетувати черговість ремонту) [25, 26]. Модель забезпечує відтворюваність і масштабованість процесів. Всі рішення приймаються на базі чітких математичних виразів і актуальних даних, що дозволяє адаптувати модель до різних умов бою або типів техніки без втрати ефективності [25]. Інтеграція повітряної і наземної розвідки, автоматизованих систем управління та електронної бази даних гарантує цілісність інформаційного поля, коли кожен учасник процесу оперує єдиною

достовірною інформацією в реальному часі. Це, своєю чергою, мінімізує затримки у прийнятті рішень і виключає дублювання чи втрату даних.

Практична значущість моделі підтверджується тим, що її впровадження дозволяє значно скоротити час від моменту виявлення пошкодженого зразка після бойового зіткнення до його повернення в стрій [15], а отже – зменшити втрати бойового потенціалу підрозділів. За рахунок оптимізації маршрутів та дій знижуються ризики для особового складу (менша ймовірність потрапити під удар при евакуації) та раціональніше використовуються ресурси ремонтно-евакуаційних органів [11, 12]. У підсумку, застосування даної моделі сприятиме підвищенню стійкості угруповань військ, тобто більше одиниць техніки буде оперативно повернуто до боєздатного стану, менше машин буде втрачено назавжди, а особовий склад ремонтних підрозділів виконуватиме завдання більш безпечно і згадано. Модель повністю узгоджується з останніми науковими розробками і рекомендаціями Національної гвардії України щодо технічного забезпечення в бою [25, 27], що підтверджує її актуальність і прикладну цінність.

Висновки

Таким чином, запропонована модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України з пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ демонструє новий рівень інтеграції інформаційних технологій у практику технічного забезпечення військ. Наукове значення моделі полягає в формалізації та оптимізації всіх етапів процесу відновлення техніки в бойових умовах, а практичний ефект – у мінімізації часу і витрат на повернення техніки в стрій при максимальному збереженні життя особового складу. Модель забезпечує адаптивність системи ремонтно-евакуаційних заходів до динаміки бою, підвищує ефективність використання наявних сил і засобів та сприяє збереженню бойового потенціалу підрозділів Національної гвардії України. Впровадження таких підходів в органи логістики та технічного забезпечення дозволить формуванню Національної гвардії України оперативніше реагувати на втрати техніки і підтримувати високий рівень боєздатності навіть в умовах інтенсивних бойових дій.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Горбулін В. П. Воєнна безпека України у XXI столітті: виклики та пріоритети. Київ : НІСД, 2019. 312 с.
2. Павлов Я. В. Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення автобронетанкової техніки Національної гвардії України. Честь і закон. 2023. № 3(86). С. 110–115.
3. Павлов Я. В., Сівак В. А. Комплексний підхід до планування пошукових дій пошкодженої автобронетанкової техніки в умовах проведення бойових дій. Честь і закон. 2024. № 2(92). С. 68–79.
4. Miettinen K. Nonlinear Multiobjective Optimization. New York : Springer, 1998. 298 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5563-6>.
5. Bertsekas D. P. Dynamic Programming and Optimal Control. 4th ed. Belmont (MA) : Athena Scientific, 2017. 544 p.

6. Hosmer D. W., Lemeshow S., Sturdivant R. X. Applied Logistic Regression. 3rd ed. Hoboken, NJ : Wiley, 2013. 528 p.
7. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. Geneva : ISO, 2021.
8. ISO 23247-2:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture. Geneva : ISO, 2021.
9. ISO 23247-3:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 3: Digital representation of manufacturing elements. Geneva : ISO, 2021.
10. ISO 23247-4:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 4: Information exchange. Geneva : ISO, 2021.
11. Міністерство оборони України. Настава з технічного забезпечення бойових дій Сухопутних військ (НТЗ-2022). Київ : Міноборони України, 2022. 112 с.
12. Міністерство оборони України. Керівництво з організації ремонту та евакуації озброєння і військової техніки у з'єднаннях і частинах. Київ : ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2021. 86 с.
13. Павлов Я. В. Методичні підходи до розроблення моделі електронного обліку і ранжування за рівнем отриманих пошкоджень зразків АБТТ. Честь і закон. 2025. Т. 3(94). С. 78–89.
14. United States Marine Corps. Battle Damage Assessment and Repair (BDAR) for Ground Combat Equipment. MCRP 3-40E.1. Washington, DC : USMC, 2025. 214 p.
15. Практичне керівництво до дій ремонтних підрозділів НГУ в бойових умовах. Харків : НА НГУ, 2021. 48 с. (внутрішнє видання).
16. Павлов Я. В. Алгоритми дій ремонтних підрозділів з відновлення автобронетанкової техніки в умовах ведення бойових дій. Збірник наукових праць Національної академії НГУ. 2024. Вип. 2(44). С. 115–121. <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319518>.
17. Bochkovskiy A., Wang C.-Y., Liao H.-Y. M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. arXiv:2004.10934, 2020. (дата звернення: 26.10.2025).
18. Neyman J., Pearson E. S. On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses. Phil. Trans. R. Soc. A. 1933. Vol. 231. P. 289–337.
19. Hurt J. A., Bajkowski T. M., Scott G. J., Davis C. H. Evaluation and Analysis of Deep Neural Transformers and CNNs on Modern Remote Sensing Datasets. Proc. IEEE Int. Conf. on Big Data. 2021. P. 4701–4708.
20. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82(1). P. 35–45.
21. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York : Springer, 2006. 738 p.
22. Міністерство оборони України. Інформаційно-комунікаційна система «Дельта». Офіційний вебсайт: <https://delta.mil.gov.ua/> (дата звернення: 26.10.2025). Також: NATO ACT. Battlefield Innovation: Ukraine's DELTA System Paves the Way during CWIX. 12.07.2024.
23. Gelman A., Carlin J. B., Stern H. S., Dunson D. B., Vehtari A., Rubin D. B. Bayesian Data Analysis. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2013. 675 p.
24. Bernardo J.-M., Smith A. F. M. Bayesian Theory. New York : Wiley, 1994. 586 p.
25. Іванець Г. В., Горелишев С. А., Іванець М. Г. Формалізована математична модель оцінки боєдатності військових підрозділів. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. 2020. № 2. С. 51–57.
26. Ivanets H. V. State Emergency Service of Ukraine Units Potential Mission Effectiveness During Emergency Response: Assessment Model. Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. 2017. Вип. 4(29). С. 96–100.
27. Актуальні проблеми технічного забезпечення НГУ у бойових умовах : тези доповідей. Харків : НА НГУ, 2024. 95 с.

References

1. Horbulin, V. P. (2019). *Voienna bezpeka Ukrainy u XXI stolitti: vyklyky ta priorityty* [Military security of Ukraine in the 21st century: Challenges and priorities]. Kyiv: NISS.
2. Pavlov, Ya. V. (2023). *Metodyka otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia systemy vidnovlennia avtobronetankovoi tekhniki Natsionalnoi hvardii Ukrainy* [Methodology for assessing the efficiency of the recovery system of armored vehicles of the National Guard of Ukraine]. *Chest i zakon*, 3(86), 110–115.
3. Pavlov, Ya. V., & Sivak, V. A. (2024). *Kompleksnyi pidkhid do planuvannia poshukovykh dii poshkozhenoi avtobronetankovoi tekhniki v umovakh provedennia boiovykh dii* [Comprehensive approach to planning search operations for damaged armored vehicles under combat conditions]. *Chest i zakon*, 2(92), 68–79.
4. Miettinen, K. (1998). *Nonlinear multiobjective optimization*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5563-6>.
5. Bertsekas, D. P. (2017). *Dynamic programming and optimal control* (4th ed.). Belmont, MA: Athena Scientific.
6. Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
7. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-1:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles*. Geneva: ISO.
8. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-2:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture*. Geneva: ISO.
9. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-3:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 3: Digital representation of manufacturing elements*. Geneva: ISO.
10. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-4:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 4: Information exchange*. Geneva: ISO.
11. Ministry of Defence of Ukraine. (2022). *Manual on technical support of combat operations of the Land Forces (NTZ-2022)*. Kyiv: Ministry of Defence of Ukraine.
12. Ministry of Defence of Ukraine. (2021). *Guidelines for the organization of repair and evacuation of weapons and military equipment in formations and units*. Kyiv: Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine.
13. Pavlov, Ya. V. (2025). *Metodychni pidkhody do rozroblennia modeli elektronnoho obliku i ranzhuvannia za rivnem otrymanykh poshkozhen zrazkiv ABTT* [Methodical approaches to the development of a model of electronic accounting and ranking by the level of armored vehicle damage]. *Chest i zakon*, 3(94), 78–89.
14. United States Marine Corps. (2025). *Battle Damage Assessment and Repair (BDAR) for Ground Combat Equipment* (MCRP 3-40E.1). Washington, DC: USMC. Retrieved from : <https://www.marines.mil>
15. Pavlov, Ya. V. (2021). *Praktychne kerivnytstvo do dii remontnykh pidrozdiliv Natsionalnoi hvardii Ukrainy v boiovykh umovakh* [Practical guide for the actions of repair units of the National Guard of Ukraine under combat conditions]. Kharkiv: National Academy of the National Guard of Ukraine. (Internal edition).
16. Pavlov, Ya. V. (2024). *Alhorytmny dii remontnykh pidrozdiliv z vidnovlennia avtobronetankovoi tekhniki v umovakh vedenniia boiovykh dii* [Algorithms of repair unit actions for restoring armored vehicles under combat conditions]. *Scientific Bulletin of the National Academy of*

- the National Guard of Ukraine*, 2(44), 115–121. <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319518>.
17. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*. Retrieved October 26, 2025, Retrieved from : <https://arxiv.org/abs/2004.10934>
 18. Neyman, J., & Pearson, E. S. (1933). On the problem of the most efficient tests of statistical hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 231, 289–337.
 19. Hurt, J. A., Bajkowski, T. M., Scott, G. J., & Davis, C. H. (2021). Evaluation and analysis of deep neural transformers and CNNs on modern remote sensing datasets. *Proceedings of the IEEE International Conference on Big Data*, 4701–4708.
 20. Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35–45.
 21. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. New York: Springer.
 22. Ministry of Defence of Ukraine. (2025). *Information and communication system “Delta”*. Retrieved from : <https://delta.mil.gov.ua>. Also: NATO ACT (2024). Battlefield innovation: Ukraine’s DELTA system paves the way during CWIX (July 12, 2024).
 23. Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., Dunson, D. B., Vehtari, A., & Rubin, D. B. (2013). *Bayesian data analysis* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
 24. Bernardo, J.-M., & Smith, A. F. M. (1994). *Bayesian theory*. New York: Wiley.
 25. Ivanets, H. V., Horielyshev, S. A., & Ivanets, M. H. (2020). Formalizovana matematychna model otsinky boiezdatnosti viiskovykh pidrozdiliv [Formalized mathematical model for assessing combat capability of military units]. *Visnyk NTU “KhPI”, Series: Mechanical Engineering and CAD Systems*, 2, 51–57.
 26. Ivanets, H. V. (2017). State Emergency Service of Ukraine units potential mission effectiveness during emergency response: Assessment model. *Science and Technology of the Air Forces of Ukraine*, 4(29), 96–100.
 27. National Academy of the National Guard of Ukraine. (2024). *Actual problems of technical support of the National Guard of Ukraine in combat conditions: Conference abstracts*. Kharkiv: National Academy of the National Guard of Ukraine.