

**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ВІЙСЬКОВА АКАДЕМІЯ (м. ОДЕСА)**



Заснований у 2018 році

НАЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ

Збірник наукових праць
курсантів і студентів

Випуск 5

Частина I

Рекомендовано до друку та поширення
через мережу Інтернет Вченою радою
Військової академії (м. Одеса)
(Протокол від 26.05.2026 № 14)

Одеса
2026

УДК 355.001.89(045)(477)

Н 35

Національна безпека України. Збірник наукових праць курсантів і студентів. – Одеса : ВА, 2026. – Вип. 5. Ч – 1. – 68 с.

У збірнику наукових праць курсантів і студентів друкуються статті, результати досліджень в рамках магістерських робіт, які спрямовані на висвітлення актуальних і дискусійних проблем Національної безпеки України, а також з природничих, технічних і гуманітарних наук, опис раціоналізаторських пропозицій і патентів. Призначений для курсантів і студентів, а також членів наукових гуртків (товариств) Військової академії (м.Одеса).

У разі передруку матеріалів посилання на збірник обов'язкове.

Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія KB №23711–13551P від 09.11.2018 р.

ВИДАЄТЬСЯ з 2018 року

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Засновник:
Військова академія (м. Одеса)

Адреса редакції:
Україна, 65009, м. Одеса,
вул. Фонтанська дорога, 10

Е-mail редколегії:
zbirnyk.kurs@gmail.com

Офіційний сайт академії:
<https://vaodesa.mil.gov.ua/>

Голова – Лісовенко Д.В., канд.техн.наук, доц.,
Заступник голови – Набок В.К., канд.військ.наук, с.н.с.

Члени колегії – Скачков В.В. д-р.техн.наук, проф.,
Головань В.Г., канд.техн.наук, проф.,
Кнауб Л.В., д-р.техн.наук, проф.,
Братченко Г.Д., д-р.техн.наук, проф.,
Маслій О.М., д-р.пед.наук, с.н.с.,
Гончарук А.А., канд.техн.наук, с.н.с.,
Лисий О.В., канд.техн.наук, доц.,
Клименко В.М., канд.військ.наук, доц.,
Ярмолюк В.М., канд.техн.наук, доц.,
Оленев В.М., канд.військ.наук, проф.,
Горліченко М.Г., канд.пед.наук, доц.,
Єфимчиков О.М., канд.техн.наук, доц.,
Відповідальний секретар – Оленев М.В.
канд.техн.наук, доц.

Наукові статті, які включені до Збірника наукових праць курсантів і студентів, пройшли рецензування. За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор. Роботи, які представлені у збірнику репрезентують собою перші наукові кроки курсантів і студентів вишів України, тому потребують лояльного ставлення.

© Військова академія (м. Одеса), 2026

ЗМІСТ

Гедзенко В., Нікул С. МОЖЛИВІСТЬ АДАПТАЦІЇ БОЙОВИХ ЗАРЯДІВ КРАЇН НАТО ПІД АРТИЛЕРІЙСЬКІ СИСТЕМИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.....	4
Векленко А. А. АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДО ДІЇ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ.....	8
Ігнатенко О. В., Головань В.Г. РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАНИХ ОРГАНІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ	12
Крилик В. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРИЦІЛЮВАННЯ ДЛЯ СКИДАННЯ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ ДО БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	16
Мишакін Н. А., Головань А. В. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ЗАСОБІВ БЛИЖНЬОГО БОЮ ТА РОЗВІДКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	20
Огороднік Д., Нікул С. РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ВИМОГ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПОЛЬОВИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СКЛАДІВ ЗА ДОСВІДОМ БОЙОВИХ ДІЙ.....	24
Шевчук М. В., Головань В. Г. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СКЛАДОВИХ РАКЕТНО- АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОЗБРОЄННЯ НА ОСНОВІ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	28
ЩЕРБИНА А.В., РУСІН Р.В. РОЗРОБКА МЕТОДИК ЗАХИСТУ ТА ПРОТИДІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ СУПРОТИВНИКА	32
Яценко О. О., Петрушенко М. М. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ТАКТИЧНО-ОПЕРАТИВНИХ БАЛІСТИЧНИХ РАКЕТ З ВІДОКРЕМЛЮВАНОЮ БОЙОВОЮ	36
Волченко Д.Д., Березенський Р.В. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОБЛІКУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА МАЙНА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	40
Савірський М. В., Маханьков В.А. ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВАЖКОЇ БЕЗПЛОТНОЇ ЕВАКУАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ В СИСТЕМІ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ	49
Богущ О.В. ЗАСТОСУВАННЯ 3D-ДРУКУ В СИСТЕМІ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ.....	58
ВИМОГИ ДО СТАТЕЙ	63

УДК 623.64

Гедзенко В. – магістрант

Нікул С. – канд. техн. наук, доц.

Військова академія (м. Одеса)

МОЖЛИВІСТЬ АДАПТАЦІЇ БОЙОВИХ ЗАРЯДІВ КРАЇН НАТО ПІД АРТИЛЕРІЙСЬКІ СИСТЕМИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті розглянуто питання можливості адаптації бойових зарядів країн-членів НАТО до артилерійських систем, що перебувають на озброєнні Збройних Сил України. Проаналізовано основні технічні, балістичні та експлуатаційні чинники, які впливають на безпечність і ефективність застосування боєприпасів різного виробництва. Обґрунтовано необхідність створення уніфікованої методики оцінювання сумісності бойових зарядів із конкретними артилерійськими системами. Запропоновано послідовність етапів адаптації, що охоплює технічний аналіз, балістичну перевірку, оцінювання безпеки експлуатації, інтеграцію в систему управління вогнем та організацію обліку партій боєприпасів.

Ключові слова: бойовий заряд, артилерійська система, боєприпаси, сумісність, балістика, НАТО, металевий заряд, Збройні Сили України.

Постановка проблеми. Досвід сучасних широкомасштабних бойових дій підтвердив, що стійкість системи вогневого ураження противника безпосередньо залежить не лише від кількості артилерійських систем, рівня підготовки особового складу та ефективності розвідки, а й від наявності боєприпасів, їх технічної справності, сумісності з озброєнням і можливості оперативного застосування в конкретних умовах бойової обстановки. Артилерія залишається одним із головних засобів ураження противника, тому питання забезпечення її боєприпасами набуває особливого значення.

У процесі переозброєння та отримання міжнародної військово-технічної допомоги Збройні Сили України одночасно застосовують артилерійські системи різного походження. Поряд із системами радянських зразків використовуються артилерійські системи калібрів країн-членів НАТО, насамперед 155 мм. До таких систем належать буксирувані, самохідні та колісні артилерійські установки різних виробників, які мають свої конструктивні особливості, балістичні характеристики, вимоги до металевих зарядів, засобів ініціювання та систем управління вогнем.

Водночас боєприпаси, які надходять від різних держав, можуть відрізнятися за конструкцією, типом пороху, енергетичними характеристиками, умовами зберігання, способом маркування, допустимими температурними режимами та вимогами до застосування. Навіть за наявності загальних стандартів взаємосумісності у межах НАТО окремі зразки бойових зарядів можуть мати національні особливості, які необхідно враховувати перед їх використанням у конкретній артилерійській системі. За таких умов виникає науково-практична проблема розробки єдиного підходу до адаптації бойових зарядів іноземного виробництва до артилерійських систем Збройних Сил України. Такий підхід має забезпечити безпечність застосування, стабільність балістичних характеристик, збереження ресурсу стволів, ефективне використання наявних запасів боєприпасів та мінімізацію ризиків під час ведення вогню.

Актуальність проблеми зумовлена тим, що в умовах інтенсивних бойових дій потреба в артилерійських боєприпасах є постійною і значною. Номенклатура боєприпасів, які надходять до військ, може бути різномірною, а строки ухвалення рішень щодо їх допуску до застосування – обмеженими. При цьому необґрунтоване використання бойових зарядів без підтвердження їх сумісності може призвести до відхилень у дальності та точності стрільби, прискореного зносу ствола, порушення роботи затворних і противідкотних механізмів, а в окремих випадках – до аварійних ситуацій.

Особливо важливим є питання сумісності металевих зарядів із зарядною каморою, стволом, системою запалювання та таблицями стрільби. Початкова швидкість снаряда, максимальний тиск порохових газів у каналі ствола, тривалість імпульсу тиску, температурна стабільність заряду та стан боєприпасу після транспортування безпосередньо впливають на безпеку артилерійської системи й точність виконання вогневого завдання.

У сучасних умовах застосування артилерії відбувається в тісній взаємодії з автоматизованими системами управління вогнем, розвідувальними засобами, метеорологічним забезпеченням і засобами коригування. Тому адаптація бойових зарядів не може обмежуватися лише механічною перевіркою можливості заряджання. Вона повинна охоплювати повний цикл оцінювання – від технічної сумісності до внесення уточнених балістичних даних у розрахунки стрільби.

Актуальність теми також визначається необхідністю раціонального використання міжнародної допомоги. Боєприпаси різних партій і виробників повинні бути введені в систему обліку, ідентифіковані, перевірені та розподілені між артилерійськими підрозділами з урахуванням типу озброєння, бойових завдань і технічних обмежень. Відсутність єдиної методики ускладнює цей процес і може призводити до неефективного використання ресурсів.

Метою статті є обґрунтування можливості та визначення основних напрямів адаптації бойових зарядів країн-членів НАТО до артилерійських систем Збройних Сил України з урахуванням вимог безпеки, балістичної сумісності, експлуатаційної надійності та практичного досвіду бойового застосування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати чинники, що впливають на сумісність бойових зарядів з артилерійськими системами; визначити основні ризики застосування зарядів різного виробництва; обґрунтувати послідовність етапів адаптації бойових зарядів; розглянути роль балістичних випробувань і контрольних стрільб; запропонувати напрями удосконалення обліку, маркування та допуску боєприпасів до застосування.

Виклад основного матеріалу. Бойовий заряд є одним із ключових елементів артилерійського пострілу, оскільки саме він забезпечує утворення порохових газів, необхідних для надання снаряду початкової швидкості. Від характеристик заряду залежить дальність стрільби, стабільність траєкторії, величина тиску в каналі ствола, навантаження на елементи артилерійської системи, а також повторюваність результатів стрільби. [1; 2]

У сучасній артилерії застосовуються різні типи металевих зарядів. Для частини систем характерними є картузні або гільзові заряди, для інших – модульні металеві заряди, що дозволяють формувати необхідну енергетику пострілу шляхом комбінування окремих модулів. Саме модульний принцип широко використовується в артилерійських системах калібру 155 мм країн-членів НАТО[5;6;7;8], однак конкретні параметри таких зарядів можуть відрізнятися залежно від виробника та прийнятих національних технічних рішень.

Основною умовою застосування будь-якого бойового заряду є його технічна сумісність із конкретною артилерійською системою. Вона охоплює відповідність геометричних параметрів зарядної каморі, можливість штатного заряджання, сумісність із затвором, відповідність типу капсуля або засобу ініціювання, а також відсутність перешкод для нормальної роботи механізмів гармати. Навіть незначні відмінності у формі, довжині або конструкції заряду можуть ускладнити заряджання або створити небезпечні умови під час пострілу.

Окремо необхідно враховувати допустимий тиск у каналі ствола. Кожна артилерійська система має конструктивно визначені межі навантаження, перевищення яких може призвести до прискореного зносу, появи мікротріщин, деформації елементів затвора або аварійного руйнування ствола. Тому адаптація бойових зарядів повинна починатися з порівняння паспортних і розрахункових характеристик заряду з технічними обмеженнями артилерійської системи.

Балістична сумісність є не менш важливою, ніж механічна. Навіть якщо заряд фізично може бути використаний у гарматі, це не гарантує стабільної й точної стрільби. Параметри порошу, швидкість його горіння, температурна залежність, маса заряду, форма імпульсу тиску та характеристики снаряда впливають на початкову швидкість і, відповідно, на дальність польоту. За відсутності точних таблиць стрільби для конкретного поєднання «система – снаряд – заряд» виникає потреба у проведенні контрольних стрільб та уточненні балістичних поправок.

Під час балістичного аналізу доцільно оцінювати початкову швидкість снаряда, сталість результатів між пострілами, відхилення точки падіння, відповідність розрахованій дальності, вплив температури заряду та метеорологічних умов. У разі виявлення значних відхилень необхідно або обмежити застосування такого заряду, або розробити уточнені таблиці і рекомендації для підрозділів.

Важливим чинником є збереження ресурсу ствола. Металеві заряди з вищою енергетикою забезпечують більшу дальність, але водночас можуть збільшувати термічне та механічне навантаження на канал ствола. У бойових умовах, коли артилерійські системи працюють з високою інтенсивністю, це може призводити до швидшого зносу нарізів, зниження точності стрільби та потреби у частішому технічному контролі. Тому під час адаптації необхідно враховувати не лише можливість виконання одного пострілу, а й наслідки тривалого застосування певного типу зарядів.

Не менш суттєвим є питання безпеки зберігання, транспортування та підготовки зарядів до стрільби. Порохові заряди чутливі до вологості, температурних коливань, механічних пошкоджень і порушення герметичності упаковки. У польових умовах ризик впливу цих факторів зростає, особливо за тривалого

зберігання на тимчасових пунктах боєпостачання. Тому перед застосуванням зарядів необхідно перевіряти цілісність тари, маркування, наявність ознак пошкодження, відповідність умов зберігання та строків придатності.

Особливу увагу слід приділяти ідентифікації партій боєприпасів. Боєприпаси одного калібру, але різних виробників або років виготовлення, можуть мати відмінності, які впливають на балістичні характеристики. У разі виникнення відмов, нестабільної стрільби або аварійної ситуації наявність точного обліку партії дозволяє швидко встановити джерело проблеми, обмежити застосування відповідної партії та провести додаткову перевірку.

Доцільно виділити декілька основних етапів методики адаптації бойових зарядів країн-членів НАТО до артилерійських систем Збройних Сил України.

Першим етапом є технічний аналіз конструктивної сумісності. На цьому етапі перевіряються геометричні параметри заряду, відповідність зарядній камері, типу ствола, затвора, системи запалювання та способу заряджання. Також аналізуються дані виробника щодо допустимого використання заряду з конкретними типами артилерійських систем. Якщо відсутні підтверджені дані про сумісність, застосування заряду повинно бути обмежене до проведення додаткових перевірок. [3; 4]

Другим етапом є балістичний аналіз. Він передбачає вивчення енергетичних характеристик заряду, розрахунок очікуваної початкової швидкості, оцінку максимального тиску, порівняння з існуючими таблицями стрільби та визначення можливих відхилень. У разі потреби проводяться контрольні стрільби з вимірюванням початкової швидкості і фіксацією результатів у різних умовах застосування.

Третім етапом є перевірка безпеки експлуатації. Вона охоплює оцінку стану зарядів після транспортування, відповідність умовам зберігання, температурну стабільність, стійкість до вологості, цілісність упаковки та відсутність ознак пошкодження. Цей етап особливо важливий для боєприпасів, які надходять із різних складів, мають різні строки зберігання або транспортувалися на значні відстані.

Четвертим етапом є інтеграція даних про заряд у систему управління вогнем. Для сучасних артилерійських систем важливо, щоб параметри заряду були правильно враховані під час розрахунку установок для стрільби. Це може потребувати введення поправок у програмне забезпечення, уточнення балістичних таблиць, створення тимчасових рекомендацій для артилерійських підрозділів і перевірки коректності розрахунків на практиці.

П'ятим етапом є організація обліку, маркування та контролю застосування. Кожна партія зарядів повинна мати зрозуміле маркування, інформацію про виробника, рік виготовлення, тип заряду, умови зберігання та результати перевірок. Доцільно створювати єдину інформаційну базу, яка дозволить відстежувати рух партій від моменту надходження до фактичного застосування у військах.

Наукова новизна запропонованого підходу полягає у комплексному розгляді адаптації бойових зарядів як процесу, що поєднує технічну, балістичну, експлуатаційну та інформаційну складові. На відміну від спрощеного підходу, за якого основна увага приділяється лише калібру та можливості заряджання, запропонована послідовність дозволяє врахувати широкий спектр факторів, що впливають на безпеку і результативність артилерійського вогню.

Практичне значення такої методики полягає у скороченні часу між надходженням нових боєприпасів і їх допуском до застосування без зниження рівня безпеки. Уніфікований алгоритм перевірки дозволяє швидко класифікувати заряди за ступенем готовності до використання: такі, що можуть застосовуватися без обмежень; такі, що потребують уточнених таблиць або обмежень; такі, що підлягають додатковим випробуванням; такі, що не допускаються до застосування з конкретною системою.

Важливо також враховувати, що адаптація бойових зарядів не повинна суперечити вимогам керівних документів і правил безпеки під час поводження з боєприпасами. В умовах бойових дій може виникати спокуса прискорити процес допуску боєприпасів до застосування, однак необґрунтоване скорочення перевірок створює ризики для особового складу, артилерійської системи та виконання бойового завдання. Тому методика має бути одночасно оперативною і достатньо обґрунтованою.

Міжнародний досвід свідчить, що навіть у межах стандартизованих калібрів країни проводять власні перевірки сумісності боєприпасів із конкретними зразками озброєння. Це пояснюється тим, що стандарти визначають загальні вимоги, але не усувають повністю відмінностей у конструкції артилерійських систем, характеристиках зарядів і практиці бойового застосування. Для Збройних Сил України цей підхід є особливо важливим через одночасне використання різних систем і різномірної номенклатури боєприпасів.

У процесі впровадження методики доцільно передбачити взаємодію між підрозділами ракетно-артилерійського озброєння, науковими установами, випробувальними підрозділами, артилерійськими

частинами та органами логістичного забезпечення. Така взаємодія дозволить поєднати результати технічного аналізу, полігонних перевірок і реального бойового досвіду, що є необхідною умовою для постійного уточнення рекомендацій.

Доцільним є також створення системи зворотного зв'язку від артилерійських підрозділів, які застосовують адаптовані заряди. Інформація про відхилення у стрільбі, нестабільність роботи, особливості заряджання, стан стволів після інтенсивного застосування та інші практичні спостереження має систематизуватися і враховуватися під час подальшого допуску партій боєприпасів.

Таким чином, можливість адаптації бойових зарядів країн-членів НАТО до артилерійських систем Збройних Сил України є реальною, але потребує чіткої, послідовної та нормативно закріпленої методики. Її основними принципами мають бути технічна обґрунтованість, безпечність, оперативність прийняття рішення, контроль балістичних характеристик, збереження ресурсу озброєння та повний облік застосування боєприпасів.

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що адаптація бойових зарядів країн-членів НАТО до артилерійських систем Збройних Сил України є важливим напрямом підвищення ефективності артилерійського вогню та раціонального використання міжнародної військово-технічної допомоги. Наявність різних артилерійських систем і боєприпасів різного виробництва потребує єдиного підходу до оцінювання їх сумісності.

Основними чинниками, які необхідно враховувати під час адаптації, є конструктивна сумісність заряду з артилерійською системою, допустимий тиск у каналі ствола, балістичні характеристики, температурна стабільність, умови зберігання, стан партії боєприпасів, можливість інтеграції даних у систему управління вогнем та вплив заряду на ресурс ствола.

Запропонована послідовність адаптації повинна включати технічний аналіз, балістичну перевірку, оцінку безпеки експлуатації, інтеграцію в систему управління вогнем, організацію обліку та контроль практичного застосування. Такий підхід дозволить скоротити час допуску нових зарядів до використання, не знижуючи рівня безпеки.

Реалізація зазначених пропозицій сприятиме підвищенню точності й стабільності артилерійського вогню, зменшенню ризиків аварійних ситуацій, збереженню ресурсу артилерійських систем і забезпеченню ефективного використання боєприпасів, що надходять від країн-партнерів.

Перспективами подальших досліджень є розробка деталізованої методики оцінювання сумісності конкретних типів бойових зарядів із артилерійськими системами різних зразків, створення уніфікованої бази балістичних даних і формування рекомендацій щодо застосування боєприпасів різних виробників у бойових умовах.

Список використаних джерел

1. *Настанова з ракетно-артилерійського озброєння у Збройних Силах України*. – К.: Міністерство оборони України, 2015. – 315 с.
 2. *Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії*. – К.: Вид-во Збройних Сил України, 2018. – 326 с.
 3. *Основи військової логістики. Прогнозні моделі забезпечення* / О. В. Гуляк, Б. О. Дем'янчук, О. М. Маслій, Д. В. Лисовенко, В. А. Маханьков, В. Ф. Обертас. – Одеса: Військова академія, 2019. – 262 с.
 4. *Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ* : збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Львів: Вид-во АСВ, 2012. – 378 с.
 5. *NATO Standard AOP-29. Safety and Suitability for Service of Munitions, Guidance*. – NATO Standardization Office, 2012. – 67 p.
 6. *NATO Standard AOP-38. Specialist Glossary of Terms and Definitions on Ammunition Safety*. – NATO Standardization Office, 2009. – 232 p.
 7. *STANAG 4425. A Procedure to Determine the Degree of Interchangeability of NATO Indirect Fire Ammunition*. – NATO Standardization Office, 1998. – 42 p.
 8. *STANAG 4110. Definition of Pressure Terms and Their Inter-Relationship for Use in the Design and Proof of Cannons or Ammunition*. – NATO Standardization Office, 1993. – 24 p.
- Науковий керівник:** Нікул С., канд. техн. наук, доц., Військова академія (м. Одеса).
Рецензент: Сергеев О., канд. техн. наук. проф., Військова академія (м. Одеса)

УДК 662.21:536.46

Векленко А. А. – магістрант*Військова академія (м. Одеса)*

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДО ДІЇ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

У статті розглянуто чутливість вибухових речовин до механічних, теплових, детонаційних та електричних впливів. Узагальнено фізичні чинники ініціювання вибухового перетворення, зокрема роль локальних зон підвищеної температури, пористості, дисперсності, хімічної природи речовини та умов зберігання. Запропоновано структуровану модель оцінювання небезпечності вибухових речовин за сукупністю зовнішніх факторів, яка поєднує ідентифікацію речовини, визначення типу впливу, аналіз чутливості, оцінювання ризику та вибір організаційно-технічних заходів безпеки. Наведено порівняльну характеристику основних факторів, що впливають на рівень чутливості, та сформульовано практичні рекомендації щодо зниження ризику несанкціонованого спрацювання енергетичних матеріалів під час зберігання і транспортування.

Ключові слова: вибухові речовини, чутливість, зовнішні фактори, тепловий вибух, механічний вплив, флегматизація, безпека зберігання, енергетичні матеріали.

Постановка завдання. Ефективність застосування та безпека поводження з вибуховими речовинами визначаються не лише їхньою енергоємністю, а й здатністю зберігати стабільність за дії випадкових зовнішніх факторів. У практиці зберігання, транспортування та експлуатації енергетичних матеріалів найбільш небезпечними є ситуації, коли механічний удар, тертя, локальний нагрів, електростатичний розряд або дія ударної хвилі можуть стати початковим імпульсом для переходу речовини до швидкої хімічної реакції.

У науковій і прикладній літературі питання чутливості вибухових речовин розглядається як одна з базових характеристик їх безпечного використання [1; 2]. Водночас у практичних матеріалах нерідко окремо описуються механічна, теплова або електрична чутливість, але недостатньо формалізується загальна система оцінювання ризику. Через це складно швидко порівняти небезпечність різних факторів, визначити пріоритетні заходи контролю та обґрунтувати вимоги до умов зберігання.

Проблема полягає в необхідності поєднання фізико-хімічного аналізу чутливості з організаційною моделлю прийняття рішень. Така модель має враховувати вид речовини, її фізичний стан, наявність домішок і пор, температурні умови, характер зовнішнього енергетичного імпульсу, а також можливості контролю небезпечних факторів у місцях зберігання.

Актуальність проблеми зумовлена тим, що вибухові речовини широко застосовуються у військовій сфері, промисловості, гірничій справі та спеціальних технологічних процесах. Помилки під час зберігання або транспортування можуть мати катастрофічні наслідки, тому оцінювання чутливості ВР до зовнішніх впливів є важливою складовою системи технічної та вибухопожежної безпеки [4; 6].

Особливого значення набуває аналіз тих факторів, які можуть діяти непомітно або накопичуватися поступово: підвищення температури, зміна вологості, деградація матеріалу, поява мікротріщин, пористість, електростатичні заряди та механічні навантаження під час переміщення тари. Тому дослідження чутливості має бути спрямоване не тільки на опис властивостей ВР, а й на формування зрозумілої системи контролю ризиків.

Метою статті є аналіз чутливості вибухових речовин до основних зовнішніх факторів і розроблення узагальненої моделі оцінювання ризику їх несанкціонованого ініціювання під час зберігання, транспортування та експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: уточнити сутність поняття чутливості ВР; класифікувати зовнішні фактори ініціювання; визначити фізичні механізми виникнення небезпечних локальних зон; розглянути математичні підходи до опису теплового вибуху; узагальнити вплив дисперсності, пористості та флегматизації; запропонувати алгоритм оцінювання ризику та практичні напрями підвищення безпеки.

Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано підхід до оцінювання чутливості вибухових речовин на основі поєднання фізико-хімічних показників і зовнішніх умов впливу. На відміну від простого переліку небезпечних факторів, у статті подано узагальнену модель, яка дозволяє послідовно визначити джерело небезпеки, механізм ініціювання, рівень ризику та необхідні заходи контролю.

Виклад основного матеріалу. Чутливість вибухової речовини можна визначити як її здатність переходити до інтенсивного хімічного перетворення під дією зовнішнього енергетичного імпульсу. Такий імпульс може мати механічну, теплову, детонаційну або електричну природу. Для практичної оцінки небезпеки важливо розглядати не лише сам факт наявності впливу, а й його інтенсивність, тривалість, локальність та умови, у яких перебуває речовина [1; 4].

Загальну класифікацію зовнішніх факторів, що впливають на чутливість вибухових речовин, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація зовнішніх факторів, що впливають на чутливість вибухових речовин

Група факторів	Типові прояви	Механізм небезпечного впливу	Основний напрям контролю
Механічні	удар, тертя, падіння тари, вібрація	локальне стиснення, деформація, утворення зон перегріву	обмеження ударних навантажень, демпфування, контроль пакування
Теплові	нагрів, дія полум'я, локальний перегрів	прискорення екзотермічного розкладу та зменшення часу індукції	температурний моніторинг, вентиляція, виключення джерел нагріву
Детонаційні	дія ударної хвилі або вибуху поблизу	передача імпульсу, який може ініціювати вибухове перетворення	розосередження, захисні відстані, інженерний захист
Електричні	статична електрика, електромагнітні поля	мікророзряди та локальне нагрівання частинок	заземлення, антистатичні матеріали, контроль вологості

Як видно з табл. 1, різні за природою зовнішні фактори можуть мати спільний наслідок – локальне накопичення енергії у невеликій ділянці речовини. У сучасній теорії це явище часто пояснюється через утворення так званих «гарячих точок». Вони виникають у місцях газових включень, мікротріщин, контакту кристалів або неоднорідностей структури. Якщо швидкість тепловиділення в такій зоні перевищує швидкість тепловідведення, зростає ймовірність переходу до самоприскорюваної реакції [1; 5].

Рівень чутливості не є сталою характеристикою. Він залежить від хімічної природи речовини, енергії активації, дисперсності, пористості, вологості, наявності домішок, температури середовища та форми зовнішнього імпульсу. Для системного врахування цих чинників доцільно застосовувати алгоритм оцінювання небезпечності, поданий у табл. 2.

Таблиця 2

Узагальнений алгоритм оцінювання ризику ініціювання вибухових речовин

№	Етап	Зміст робіт	Очікуваний результат
1	Ідентифікація речовини	Визначення типу ВР, складу, фізичного стану, умов попереднього зберігання.	Формується вихідна інформація для аналізу.
2	Визначення зовнішнього фактора	Класифікація можливих впливів: механічні, теплові, детонаційні, електричні.	Встановлюється джерело потенційної небезпеки.
3	Оцінювання фізичного стану	Аналіз дисперсності, пористості, вологості, наявності дефектів або домішок.	Виявляються чинники, що можуть підвищувати чутливість.
4	Математична або експериментальна оцінка	Використання моделей теплового вибуху, даних випробувань і нормативних методик.	Отримується орієнтовний рівень небезпеки.
5	Вибір заходів контролю	Визначення температурного режиму, вимог до пакування, антистатичного захисту, інженерних обмежень.	Зменшується ймовірність випадкового ініціювання.
6	Документування і моніторинг	Фіксація результатів оцінювання, періодичний контроль умов зберігання.	Забезпечується простежуваність та управління ризиком.

Запропонований алгоритм (табл. 2) дозволяє перейти від описового аналізу чутливості до послідовної процедури оцінювання небезпеки. Його можна застосовувати під час планування умов зберігання, аналізу технічного стану партій ВР, підготовки інструкцій безпеки та обґрунтування необхідних організаційно-технічних заходів.

Для кількісного опису теплової чутливості використовують рівняння теплопровідності з джерелом внутрішнього тепловиділення. У спрощеному вигляді процес можна подати як баланс між тепловідведенням і швидкістю екзотермічної реакції:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \Phi(T) \quad (1)$$

де ρ – густина вибухової речовини;

c – питома теплоємність;

T – температура;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

$\nabla^2 T$ – оператор Лапласа, що характеризує просторове поширення тепла;

$\Phi(T)$ – функція внутрішнього тепловиділення, яка залежить від температури та описує інтенсивність екзотермічної реакції.

Зміст рівняння полягає у тому, що небезпечний стан виникає тоді, коли тепловиділення зростає швидше, ніж система здатна відводити тепло [1; 5].

У теорії теплового вибуху важливим є безрозмірний параметр Франк-Каменецького, який характеризує співвідношення між розмірами системи, швидкістю реакції та теплопровідністю. Перевищення критичного значення цього параметра означає втрату теплової стійкості. У практичному сенсі це підкреслює необхідність контролю температури, розмірів партій, умов вентиляції та тепловідведення [4; 5].

Для опису затримки між початком теплового впливу і небезпечною реакцією використовують залежність часу індукції від температури:

$$\ln \tau = \frac{E}{RT} + A \quad (2)$$

де τ – час індукції, тобто проміжок часу від початку теплового впливу до початку інтенсивного розкладу речовини;

E – енергія активації;

R – універсальна газова стала;

T – абсолютна температура;

A – емпірична стала, що залежить від властивостей конкретної вибухової речовини.

Із цієї залежності випливає, що навіть помірне підвищення температури може істотно скоротити безпечний час перебування речовини у несприятливих умовах. Тому контроль температурного режиму є одним із ключових практичних заходів безпеки [6].

Для практичного аналізу доцільно розрізняти ініціювальні та бризантні вибухові речовини. Ініціювальні речовини характеризуються підвищеною чутливістю і призначені для запуску вибухового процесу, тоді як вторинні бризантні речовини зазвичай мають нижчу чутливість, але потребують суворого дотримання умов безпеки [2; 4]. Узагальнену порівняльну характеристику наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика факторів чутливості вибухових речовин

Фактор	Вплив на чутливість	Небезпечний прояв	Заходи зниження ризику
Хімічна природа речовини	визначає енергію активації та схильність до розкладу	швидкий перехід до реакції за малого імпульсу	використання стабільніших складів, контроль сумісності матеріалів
Пористість і газові включення	підвищують імовірність локального перегріву	формування «гарячих точок»	контроль технології виготовлення, недопущення пошкоджень тари
Дисперсність	змінює площу контакту частинок і тепловідведення	підвищення або зниження чутливості залежно від типу ВР	нормування гранулометричного складу
Температура середовища	зменшує енергетичний бар'єр ініціювання	скорочення періоду індукції	температурний моніторинг, вентиляція, виключення локального нагріву
Флегматизація	знижує тертя між кристалами і поглинає частину енергії удару	зменшення ймовірності випадкового ініціювання	застосування інертних добавок відповідно до технологічних вимог

Аналіз даних табл. 3 показує, що чутливість ВР не можна пояснювати лише хімічною формулою речовини. Важливими є структура матеріалу, його фізичний стан, умови зберігання та наявність стабілізуювальних або флегматизуювальних добавок. Саме тому заходи безпеки мають бути комплексними, а не обмежуватися лише забороною окремих видів механічного впливу.

Флегматизація є одним із найпоширеніших способів зниження чутливості високоенергетичних речовин. Її дія полягає у створенні проміжного шару між кристалами, зменшенні тертя, частковому поглинанні енергії удару та поліпшенні тепловідведення. Разом із тим флегматизація не скасовує потреби в контролі температури, вологості, пакування та антистатичного захисту [2; 4].

Таблиця 4

Система практичних напрямів зниження ризику несанкціонованого ініціювання ВР

Напрямок	Сутність	Практична рекомендація
Технологічний	контроль фізичного стану речовини та тари	застосовувати візуальний і лабораторний контроль, не допускати пошкодження пакування та деградації матеріалу
Організаційний	регламентація умов зберігання і переміщення	вести облік партій, обмежувати ударні навантаження, розділяти несумісні матеріали
Температурний	підтримання стабільного теплового режиму	контролювати температуру, вентиляцію, відсутність локальних джерел нагрівання
Електростатичний	запобігання накопиченню заряду	використовувати заземлення, антистатичні покриття та контроль вологості
Цифровий	простежуваність стану партій і результатів контролю	зберігати дані оглядів, температурного моніторингу та результатів перевірок у єдиній базі

Система практичних напрямів, наведена в табл. 4, дозволяє пов'язати теоретичний аналіз чутливості з організаційними діями відповідальних осіб. Найбільш ефективним є поєднання технічного контролю, температурного моніторингу, антистатичного захисту, належного пакування та документування результатів перевірок. Такий підхід відповідає загальній логіці нормативного контролю чутливості ВР і вимогам безпеки [6].

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що чутливість вибухових речовин до зовнішніх факторів є багатфакторною характеристикою, яка залежить від хімічної природи речовини, її фізичного стану, температури, пористості, дисперсності, вологості та форми зовнішнього енергетичного імпульсу.

Основним фізичним механізмом переходу від зовнішнього впливу до небезпечної реакції є локальне накопичення енергії у вигляді «гарячих точок». Саме тому найбільше практичне значення мають заходи, спрямовані на недопущення ударних навантажень, тертя, локального перегріву, накопичення статичної електрики та пошкодження структури речовини.

Запропонований алгоритм оцінювання ризику дозволяє систематизувати процес аналізу чутливості ВР: від ідентифікації речовини та визначення зовнішнього фактора до вибору заходів контролю і документування результатів. Це дає можливість розглядати безпеку поводження з ВР як керований процес, а не як набір окремих застережень.

Практичне значення запропонованого підходу полягає у можливості його використання для підготовки інструкцій безпеки, планування умов зберігання, оцінювання стану партій енергетичних матеріалів та обґрунтування технічних заходів щодо зменшення ризику несанкціонованого ініціювання.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення кількісної методики комплексного оцінювання чутливості ВР, яка поєднуватиме результати лабораторних випробувань, математичного моделювання та дані моніторингу умов зберігання.

Список використаних джерел

1. Андреев К. К. Теорія вибухових речовин / К. К. Андреев, О. Ф. Беляев. – М. : Вища школа, 1960. – 595 с.
2. Дік В. В. Вибухові речовини, порохи та піротехнічні засоби / В. В. Дік. – К. : Наукова думка, 2009. – 720 с.
3. Захаренко М. С. Моделювання процесів ініціювання енергетичних матеріалів при механічних навантаженнях / М. С. Захаренко // Науковий вісник НТУУ «КПІ». – 2018. – № 3. – С. 45–52.

4. Кухиленко О. В. *Фізика вибуху та кумуляції : навч. посіб.* / О. В. Кухиленко. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 156 с.
5. Mader C. L. *Numerical Modeling of Explosives and Propellants* / C. L. Mader. – 3rd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2007. – 672 p.
6. ДСТУ 4105–2002. *Речовини вибухові. Методи визначення чутливості до удару.* – К. : Держстандарт України, 2002. – 16 с.

Науковий керівник: Нікул С.О., канд.техн.наук, доц., Військова академія (м. Одеса).

Рецензент: Кнауб Л.В., д-р тех. наук, проф., Військова академія (м. Одеса).

УДК 355.41:623.4(477)

Ігнатенко О. В. – магістрант

Головань В.Г. – канд.техн.наук, проф.

Військова академія (м. Одеса)

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАНИХ ОРГАНІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ

У статті розглянуто питання формування раціонального складу та структури ремонтно-відновлюваних органів (РВО) озброєння і військової техніки (ОВТ) тактичної ланки Сухопутних військ (СВ) Збройних Сил України (ЗСУ). Основну увагу зосереджено на підвищенні коефіцієнта відновлення ОВТ, скороченні часу ремонту та збільшенні кількості зразків, які можуть бути повернуті до строю за одиницю часу. Обґрунтовано, що ефективність ремонтних підрозділів доцільно оцінювати не лише за наявністю особового складу, майстерень або евакуаційних засобів, а насамперед за реальною здатністю охоплювати ремонтний фонд і своєчасно відновлювати пошкоджені зразки. Запропоновано розглядати модульність, мобільність, спеціалізацію ремонтних груп, наближення ЗПП, агрегатний метод і застосування сучасних мобільних майстерень, як основні чинники зменшення трудомісткості ремонту та підвищення середньодобових можливостей РВО.

Ключові слова: ремонтно-відновлювані органи, озброєння і військова техніка, тактична ланка, коефіцієнт відновлення, ремонтний фонд, ремонтоздатність, мобільна ремонтна майстерня, ЗПП, модульність.

Постановка завдання. Досвід застосування підрозділів СВ у сучасних бойових діях свідчить, що підтримання боєздатності військ значною мірою залежить від здатності РВО своєчасно повертати пошкоджені зразки ОВТ до строю. В умовах часових обмежень, різномірності парку ОВТ, його інтенсивного використання особливого значення набуває не лише сам факт проведення ремонту, а його тривалість і результативність.

Визначення раціонального складу та структури РВО тактичної ланки повинно ґрунтуватися на оцінці їх здатності використовувати ремонтний фонд, скорочувати час відновлення ОВТ і збільшувати кількість зразків, які можуть бути повернені до строю за одиницю часу. Саме ці показники дозволяють оцінювати ремонтну систему не формально, за кількістю ремонтників або майстерень, а за її реальним впливом на технічну готовність ОВТ і бойові можливості підрозділів.

Необхідність розробки пропозицій щодо удосконалення складу та структури РВО тактичної ланки зумовлюється наступними факторами:

по-перше, потребою у скороченні часу ремонту ОВТ, оскільки тривале його перебування у стані непрацездатності безпосередньо знижує маневреність, вогневі можливості та стійкість підрозділів;

по-друге, необхідністю підвищення коефіцієнта відновлення ОВТ, тобто збільшення частки пошкоджених зразків, які реально можуть бути відремонтовані РВО за визначений період;

по-третє, потребою збільшення середньодобових ремонтних можливостей підрозділів за рахунок зменшення трудомісткості ремонту, застосування агрегатного методу, наближення ЗПП до районів виконання завдань і використання мобільних ремонтних майстерень;

по-четверте, різномірністю сучасного парку ОВТ, що вимагає спеціалізації ремонтних груп за основними напрямками: автомобільна техніка, засоби ближнього бою та розвідки, наземні системи озброєння;

по-п'яте, необхідністю підвищення мобільності й адаптивності РВО тактичної ланки з метою швидкого переміщення ремонтних засобів, розгортання їх найближче до ремонтного фонду та забезпечення можливості зміни їх складу залежно від бойової обстановки.

Актуальність проблеми зумовлена об'єктивною потребою Сухопутних військ ЗСУ у підвищенні ефективності відновлення ОВТ безпосередньо в тактичній ланці. В умовах сучасних бойових дій ремонтний фонд виникає нерівномірно і випадково, часто в обмежені строки та в районах, де тривала евакуація ОВТ ускладнює їх швидке повернення до строю. За таких умов вирішального значення набуває здатність РВО не лише виконувати ремонт, а скорочувати весь цикл відновлення - від виявлення пошкодження зразка ОВТ до його повторного введення в експлуатацію.

Особливо важливим є підвищення коефіцієнта відновлення ОВТ і збільшення ремонтоздатності підрозділів за одиницю часу. Якщо РВО не встигають охоплювати прогнозований обсяг ремонтного фонду, кількість несправного ОВТ накопичується, а бойові можливості підрозділів поступово знижуються. Тому удосконалення структури РВО повинно бути спрямоване на скорочення трудомісткості ремонту, посилення мобільних ремонтних спроможностей, удосконалення рухомого запасу ЗІП, застосування агрегатного методу ремонту та створення більш гнучкої функціональної побудови ремонтних органів.

Метою статті є розробка пропозицій щодо раціонального складу та структури РВО озброєння і військової техніки тактичної ланки Сухопутних військ ЗСУ, що спрямовані на скорочення часу ремонту ОВТ, підвищення коефіцієнту відновлення та збільшення кількості зразків, які можуть бути повернуті до працездатного стану за одиницю часу.

Виклад основного матеріалу Раціональна побудова РВО повинна виходити з того, що в бойових умовах значення має не сама наявність ремонтного підрозділу, а його фактична спроможність своєчасно відновити ОВТ. Для тактичної ланки вирішальним є темп роботи: чим швидше пошкоджений зразок ОВТ буде виявлений, оцінений, забезпечений необхідними запасними частинами та відремонтований, тим менше часу бойовий підрозділ перебуватиме з обмеженими можливостями.

Ремонт ОВТ можна розглядати як комплекс організаційних і технологічних заходів, спрямованих на відновлення справності, працездатності або ресурсу виробу чи його складових частин. Для тактичного рівня важливо не тільки виконати ремонт якісно, а й забезпечити такі строки, за яких відновлений зразок ОВТ може бути використаний для виконання поточного або найближчого бойового завдання. Система ремонту ОВТ охоплює ремонтні органи, засоби діагностування і ремонту, технологічне оснащення, документацію, систему підтримки ремонту, персонал, а також може включати постійні, тимчасові, стаціонарні й рухомі ремонтні органи [1].

Одним із головних показників ефективності роботи РВО є коефіцієнт відновлення ОВТ $K_{\text{відн}}$ за виразом (1). Він відображає здатність ремонтного органу охопити прогнозований обсяг ремонтного фонду та повернути пошкоджені зразки до працездатного стану у визначений період [2].

$$K_{\text{відн}} = K_{\text{охр}} = \frac{N_{ji}^p}{N_{\text{пр}i}^+}, \quad (1)$$

де: $K_{\text{охр}}$ – коефіцієнт охоплення ремонтним органом визначеного обсягу ремонтного фонду;
 N_{ji}^p – кількість пошкоджених зразків ОВТ, що буде відремонтована j-м РВО за i-ту добу;
 $N_{\text{пр}i}^+$ – обсяг ремонтного фонду ОВТ, що прогнозується для ремонту j-м РВО за i-ту добу.

Цей показник має прикладне значення. Якщо $K_{\text{відн}}$ наближається до одиниці, ремонтний орган здатний охопити основну частину ремонтного фонду. Якщо його значення знижується, частина пошкоджених зразків залишається в черзі, передається на вищий рівень або тривалий час не використовується за призначенням. У результаті зменшується фактична технічна готовність підрозділу.

Підвищення коефіцієнта відновлення можливе двома шляхами: зменшенням обсягу ремонтного фонду завдяки якісному технічному обслуговуванню або збільшенням кількості зразків, які РВО здатний відремонтувати за одиницю часу. Для цієї статті визначальним є другий напрям, оскільки саме він пов'язаний із раціональною побудовою ремонтної структури.

Кількість зразків, які можуть бути відновлені за добу, визначається середньодобовими ремонтними можливостями РВО [2]:

$$N_{ji}^p = \frac{nt}{H}, \quad (2)$$

де: N_{ji}^p – кількість пошкоджених зразків ОВТ, що буде відремонтована j-м РВО за i-ту добу;

n – кількість фахівців-ремонтників, залучених до проведення ремонтних робіт;
 t – середній час продуктивної роботи;
 H – трудомісткість ремонту одного зразка ОВТ.

З формули (2) випливає, що збільшити ремонтні можливості можна трьома способами: наростити кількість ремонтників, підвищити продуктивний час роботи або зменшити трудомісткість ремонту одного зразка. Перші два способи мають природні обмеження. Підготовка фахівців потребує часу, а тривалість продуктивної роботи зменшується через переміщення, розгортання, маскування, втому, загрозу ураження, очікування запасних частин або евакуацію ОВТ.

Найбільш раціональним напрямом для тактичної ланки є зменшення трудомісткості ремонту H . Це можливо досягти завдяки спеціалізації ремонтних груп, застосуванню агрегатного методу, використанню сучасних засобів діагностики, наближенню запасних частин до району виконання робіт та розгортанню мобільних ремонтних майстерень ближче до місця виникнення ремонтного фонду.

У бойових умовах ремонтні можливості можуть знижуватися через втрати або тимчасову непрацездатність особового складу. Тому під час оцінювання реальної спроможності РВО важливо враховувати не лише штатну чисельність n , а фактичну кількість фахівців, здатних виконувати роботи N_{ji}^P [2]:

$$N_{ji}^P = \frac{(n - BC_i - BB_i - BPC_i)t}{H}, \quad (3)$$

де: BC_i – середньодобові санітарні втрати особового складу;
 BB_i – середньодобові безповоротні втрати особового складу;
 BPC_i – середньодобові психогенні втрати особового складу.

Ця залежність підтверджує, що підвищення ефективності РВО не може ґрунтуватися тільки на збільшенні чисельності ремонтників. За умов бойового навантаження вирішального значення набувають організаційні й технічні рішення, які зменшують трудомісткість робіт і скорочують фактичний час ремонту.

З урахуванням особливостей тактичної ланки раціональну побудову РВО доцільно розглядати як поєднання постійних елементів управління та змінних ремонтних спроможностей. Такий підхід не замінює чинну організаційно-штатну структуру, а визначає можливий напрям її удосконалення для скорочення часу ремонту і підвищення коефіцієнта відновлення ОВТ.

Постійна частина має забезпечувати управління ремонтним процесом, облік ремонтного фонду, технічну розвідку, первинну дефектацію, організацію евакуації та взаємодію з підрозділами. Саме ці функції потрібні незалежно від того, які зразки ОВТ переважають у ремонтному фонді. Якщо ця ланка працює повільно або не має повної інформації, затримується весь цикл відновлення.

Змінні ремонтні спроможності доцільно формувати залежно від характеру пошкоджень і фактичної номенклатури ОВТ. Якщо основне навантаження припадає на автомобільну техніку, першочергового значення набувають засоби відновлення рухомості, ремонту ходової частини, шин, електрообладнання, акумуляторних батарей і агрегатів. Якщо переважають несправності засобів ближнього бою та розвідки, головну роль відіграють зброярський інструмент, оптична дільниця, автономне живлення, точне освітлення та фахівці, здатні працювати зі стрілецькою зброєю, гранатометами, прицілами, тепловізійними, оптичними й електронно-оптичними засобами. Якщо ремонтний фонд складають наземні системи озброєння, необхідними стають слюсарно-механічні, електротехнічні, діагностичні та контрольно-перевірочні можливості.

Такий виклад дозволяє уникнути твердження, що запропонована структура вже є затвердженою штатною схемою. Йдеться саме про функціональний підхід: ремонтний орган повинен мати постійне управлінсько-організаційне ядро та набір змінних спроможностей, які підсилюються залежно від реального ремонтного фонду. Це відповідає логіці використання постійних і тимчасових, стаціонарних і рухомих ремонтних органів, а також можливості залучати кілька ремонтних органів для збільшення виробничих можливостей або виконання різних видів і методів ремонту [4].

Мобільні ремонтні майстерні є одним із найбільш практичних інструментів підвищення коефіцієнта відновлення ОВТ. Вони дозволяють виконувати частину робіт ближче до району виникнення ремонтного фонду, зменшують потребу в дальній евакуації та скорочують час простою ОВТ.

Для засобів ближнього бою та розвідки доцільно використовувати легкі мобільні майстерні, які можуть діяти безпосередньо в районах зосередження військ або на польових пунктах відновлення. Їхне

призначення полягає у технічному обслуговуванні й поточному ремонті стрілецької зброї, гранатометів, оптичних та електронно-оптичних приладів. Для тактичного рівня можуть застосовуватися майстерні на базі автомобіля підвищеної прохідності типу пікап із закритим кузовом-фургонном, а також модульні рішення з можливістю розгортання окремих ділянок для ремонту зброї та приладів спостереження [5].

Для більшого обсягу робіт можуть застосовуватися модульні або контейнерні майстерні. Одним із можливих прикладів є універсальний ремонтний комплекс WORKSHOP-LOCKER, який може використовуватися як проміжна ланка між легкими ремонтними групами та стаціонарними потужностями. Його доцільність полягає не в заміні всієї чинної системи, а в можливості швидко розгорнути робочі місця ближче до району виникнення ремонтного фонду, підвищивши автономність і продуктивність ремонтної групи.

Практичний ефект мобільних майстерень полягає у зменшенні часу переміщення техніки, скороченні черги на ремонт, підвищенні автономності ремонтних груп і збільшенні кількості зразків, які можуть бути відновлені за добу. У формулі (2) це проявляється через зменшення трудомісткості H та збільшення фактичного продуктивного часу t .

Навіть добре оснащена ремонтна майстерня не забезпечить високого темпу відновлення без належного запасу ЗІП, агрегатів, інструменту, матеріалів і приладдя. Відсутність потрібної деталі або вузла збільшує час простою техніки і знижує коефіцієнт відновлення. Тому ЗІП має розглядатися як активний елемент ремонтного процесу, а не лише як майно, що зберігається на складі. Система ремонту може мати власну систему підтримки для забезпечення ремонту ЗІП, устаткуванням, ресурсами та підготовкою персоналу [1].

Ефективною є ешелонована побудова запасів. На рівні екіпажу або обслуги повинні бути найнеобхідніші одиночні комплекти ЗІП. На рівні ремонтної групи - рухомий запас деталей, витратних матеріалів та інструменту для найбільш імовірних пошкоджень. На рівні збірному пункту пошкоджених машин або бригадного ремонтного елемента - ширший запас агрегатів і майна, який дозволяє поповнювати мобільні ремонтні групи.

Агрегатний метод ремонту є одним із найбільш ефективних способів скорочення часу відновлення. Його сутність полягає в тому, що несправний вузол або агрегат не відновлюється тривалий час безпосередньо на місці, а замінюється справним. Пошкоджений агрегат може бути відремонтований пізніше у більш сприятливих умовах. Для тактичної ланки це особливо важливо, оскільки головним завданням є швидке повернення зразка ОВТ до працездатного стану.

З урахуванням наведеного доцільно запропонувати такі напрями удосконалення РВО тактичної ланки:

- по-перше, коефіцієнт відновлення ОВТ слід використовувати як один із головних показників оцінювання ефективності ремонтної системи. Він дозволяє оцінити не формальну наявність ремонтних засобів, а реальну здатність РВО охоплювати ремонтний фонд;

- по-друге, структуру РВО доцільно формувати за функціональним принципом, поєднуючи постійні елементи управління, технічної розвідки й евакуації зі змінними ремонтними спроможностями, які посилюються залежно від характеру пошкоджень [3];

- по-третє, необхідно посилити окремі напрями ремонту автомобільної техніки, засобів ближнього бою та розвідки, наземних систем озброєння. Це дозволить зменшити трудомісткість ремонту і підвищити якість відновлення зразків різної конструктивної складності;

- по-четверте, потрібно розвивати рухомий запас ЗІП і ширше застосовувати агрегатний метод ремонту.

Саме ці заходи безпосередньо впливають на скорочення часу очікування запасних частин і тривалості відновлення окремих вузлів.

Висновки. Обґрунтовано, що раціональний склад і структура ремонтно-відновлюваних органів ОВТ тактичної ланки повинні оцінюватися передусім за здатністю скорочувати час ремонту та збільшувати кількість зразків, які повертаються до строю за одиницю часу.

В якості основного показником ефективності РВО доцільно використовувати коефіцієнт відновлення ОВТ, який відображає співвідношення між кількістю зразків, фактично відремонтованих за добу, та прогнозованим обсягом ремонтного фонду. Його застосування дозволяє оцінювати структуру РВО не формально, а за реальним впливом на технічну готовність підрозділів.

Встановлено, що збільшення середньодобових ремонтних можливостей досягається не лише нарощуванням кількості ремонтників, а насамперед зменшенням трудомісткості ремонту одного зразка ОВТ. Найбільш доцільними напрямками є модульність, мобільність, спеціалізація ремонтних груп, агрегатний метод, наближення ЗП та застосування сучасних мобільних ремонтних майстерень.

Запропоновано формувати РВО тактичної ланки як поєднання постійних елементів управління, технічної розвідки й евакуації зі змінними ремонтними спроможностями для автомобільної техніки, засобів ближнього бою та розвідки, наземних систем озброєння, ЗП і цифрової підтримки. Такий підхід дозволяє швидше реагувати на зміну ремонтного фонду, підвищувати коефіцієнт відновлення та збільшувати ремонтоздатність підрозділів за одиницю часу.

Список використаних джерел

1. ДСТУ В 15.602:2022. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Ремонт озброєння та військової техніки. Основні положення. Класифікація. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 24 с.
2. Сампір О. Удосконалена методика оцінювання системи відновлення озброєння та військової техніки окремої механізованої бригади / О. Сампір // *Social Development and Security*. – 2021. – Vol. 11, № 5. – С. 165–178. – DOI: 10.33445/sds.2021.11.5.16.
3. Застосування підрозділів та військових частин технічного забезпечення. Ч. II : Ремонтно-відновлювальні військові частини. – Київ : НУОУ, 2018. – 80 с.
4. Технічне забезпечення військ (сил). – Київ : НУОУ, 2015. – 256 с.
5. Павловський О. В. Методичний підхід щодо обґрунтування складу ремонтних підрозділів для відновлення техніки тилу оперативного угруповання військ / О. В. Павловський, В. Ю. Мазур, В. Ф. Таргонський // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. – 2020. – № 2 (38). – С. 119–124. – DOI: 10.33099/2311-7249/2020-38-2-119-124.

Науковий керівник: Головань В.Г., канд.техн.наук, проф., Військова академія (м. Одеса).

Рецензент: Сергеев В.В., канд.техн.наук, доц., Військова академія (м. Одеса).

УДК 623.4

Крилик В. — магістрант

Військова академія (м. Одеса)

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРИЦІЛЮВАННЯ ДЛЯ СКИДАННЯ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ ДО БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті розглянуто питання створення системи прицільовання для безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), призначеної для підвищення точності скидання засобів ураження. Основну увагу зосереджено на вимогах до архітектури комплексу, поєднанні навігаційних, оптико-електронних та обчислювальних модулів, а також на стійкості функціонування в умовах радіоелектронного протидіювання. Окреслено підхід до побудови математичного забезпечення прогнозування моменту скидання з урахуванням балістичних і метеорологічних факторів. Розглянуто можливість використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптації системи до бойових умов та підвищення автономності її функціонування.

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс, БпАК, система прицільовання, скидання засобів ураження, навігаційна система, штучний інтелект, балістика, стабілізація.

Постановка проблеми. Безпілотна авіація стала одним із важливих інструментів сучасних бойових дій. Застосування БпАК дозволяє виконувати розвідувальні, коригувальні та ударні завдання без безпосереднього залучення екіпажу. Водночас ефективність їх бойового застосування значною мірою залежить від точності доставки засобів ураження та здатності системи працювати в умовах обмеженого зв'язку, завад навігації і змінної метеорологічної обстановки [3; 4].

Існуючі прицільні рішення, створені для пілотованої авіації або важких платформ, не завжди придатні для малих і середніх БпАК. Основними обмеженнями є маса обладнання, енергоспоживання, обчислювальні можливості бортового процесора, вібрації носія та особливості польоту на малих висотах. За таких умов навіть незначна похибка у визначенні координат, швидкості або моменту відокремлення засобу ураження може призводити до істотного розкиду точки падіння.

Проблема полягає у необхідності створення такої системи прицілювання, яка була б достатньо точною, компактною, модульною та придатною для інтеграції з різними типами БпАК. При цьому система має не підміняти оператора, а надавати йому обґрунтовані розрахункові дані, зменшувати вплив людського чинника і забезпечувати контрольоване ухвалення рішення щодо скидання.

Актуальність теми зумовлена широким застосуванням БпАК у сучасній збройній боротьбі та потребою підвищення точності їх роботи без істотного ускладнення конструкції. У бойових умовах апарати діють за наявності радіоелектронних завад, нестабільної навігації, вітру, зміни висоти та обмеженої видимості цілі. Тому перспективною є не окрема прицільна функція, а інтегрований комплекс, який поєднує сенсори, навігацію, обчислювальний блок і виконавчий механізм у єдину систему.

Розроблення вітчизняного підходу до побудови такої системи має значення не лише для окремих зразків БпАК, а й для формування уніфікованих вимог до їх оснащення. Це дає змогу зменшити залежність від імпорتنих рішень, забезпечити адаптацію до умов застосування Збройних Сил України та закласти основу для подальшої стандартизації прицільних модулів.

Метою статті є обґрунтування концептуальних положень щодо побудови системи прицілювання для БпАК із функцією прогнозування моменту скидання засобу ураження.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати фактори, що впливають на точність скидання; визначити вимоги до функціональної архітектури системи; окреслити підхід до математичного забезпечення розрахунку моменту скидання; визначити можливості підвищення стійкості до інформаційних і навігаційних завад; сформулювати напрями подальшої практичної реалізації.

Наукова новизна полягає у систематизації вимог до модульної системи прицілювання БпАК та у поданні логіки її роботи як взаємодії сенсорного, аналітичного й виконавчого рівнів. У роботі не заявляється завершена математична модель, а окреслюється підхід до створення відповідного програмно-алгоритмічного забезпечення, яке надалі має бути перевірене стендовими та полігонними випробуваннями.

Виклад основного матеріалу. Загальні принципи побудови системи прицілювання. Прицільна система БпАК повинна забезпечувати визначення координат цілі, оцінювання параметрів польоту носія, прогнозування траєкторії руху засобу ураження після відокремлення та формування рекомендації щодо моменту скидання. Ці завдання доцільно реалізовувати через поєднання навігаційної, сенсорної, обчислювальної та виконавчої підсистем.

Навігаційна підсистема може будуватися на поєднанні супутникової та інерціальної навігації. У разі тимчасової втрати супутникового сигналу інерціальний блок забезпечує продовження оцінювання положення носія, хоча похибка такого оцінювання з часом зростає. Для узгодження даних від різних сенсорів доцільно використовувати алгоритми фільтрації, зокрема фільтр Калмана або його модифікації [5].

Оптико-електронна підсистема може включати денну камеру, тепловізійний модуль, стабілізовану платформу та засоби визначення дальності. Її призначення полягає у виявленні цілі, супроводі обраної точки та уточненні відносного положення між носієм і ціллю. Вибір конкретного складу сенсорів залежить від класу БпАК, допустимої маси, дальності застосування та умов видимості.

Порівняльну характеристику основних сенсорів, які можуть використовуватися у складі прицільної системи БпАК, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння оптичних, навігаційних та лазерних сенсорів

Сенсор	Маса / габарити	Вартість	Точність	Затримка
GNSS + INS	до 0,5 кг	середня	орієнтовно 1–5 м; з RTK – менше 0,1 м	до 100 мс
ЕО/ІР-камера зі стабілізацією	0,5–2 кг	середня / висока	0,1–1° під час визначення цілі	20–50 мс
Лазерний далекомір	0,1–0,5 кг	низька / середня	1–5 м залежно від дальності	до 10 мс
Радіолокаційний альтиметр	0,5–1 кг	висока	близько 0,5 м за висотою	10–50 мс

Примітка. Наведені значення є орієнтовними для малих і середніх БпАК та можуть змінюватися залежно від виробника, режиму польоту і складу бортового обладнання.

Як видно з табл. 1, жоден із сенсорів не є універсальним. GNSS + INS забезпечує основу для навігації, оптико-електронні засоби потрібні для уточнення положення цілі, лазерний далекомір підвищує якість оцінювання дальності, а альтиметр зменшує похибку визначення висоти. Тому найбільш раціональним є комбінований підхід, коли дані різних датчиків взаємно перевіряються та уточнюються.

Підхід до прогнозування моменту скидання. Розрахунок моменту скидання може базуватися на оцінюванні висоти польоту, швидкості носія, кута траєкторії, вітрового зсуву та орієнтовних аеродинамічних параметрів засобу ураження. У спрощеному вигляді час падіння може визначатися через залежність

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} * f(p, Cd, S, m), \quad (1)$$

де h – висота польоту;
 g – прискорення вільного падіння;
 p – густина повітря;
 Cd – коефіцієнт аеродинамічного опору;
 S – характерна площа;
 m – маса засобу ураження.

Отриманий час може використовуватися для оцінювання горизонтального зміщення точки падіння за залежністю $\Delta L = V \cdot \cos \alpha \cdot t$, де V – швидкість носія, α – кут нахилу траєкторії. Наведені співвідношення слід розглядати не як завершену математичну модель, а як основу для подальшої побудови алгоритму, який потребує експериментального уточнення.

Бортовий програмний модуль може враховувати поправку на вітер, висоту, затримку спрацювання виконавчого механізму та похибку вимірювання координат. У практичній реалізації такі поправки мають визначатися на основі результатів випробувань, оскільки реальна траєкторія залежить від форми засобу ураження, режиму польоту носія та зовнішніх умов.

Інформаційна архітектура комплексу. Умовно систему можна поділити на три рівні: сенсорний, аналітичний та виконавчий. Сенсорний рівень об'єднує камери, інерціальні блоки, GNSS-приймач, далекомір та альтиметр. Аналітичний рівень включає бортовий процесор, блок обробки зображення і модуль прогнозування. Виконавчий рівень відповідає за відокремлення засобу ураження за командою системи або оператора.

Взаємодія між рівнями може забезпечуватися через внутрішню шину даних з фіксованим періодом оновлення. Для зменшення ризику помилкового скидання доцільно передбачати перевірку декількох умов: наявності підтвердженої цілі, допустимий рівень навігаційної похибки, збіг із розрахунковою зоною скидання та підтвердження оператора або дозволений автономний режим. Узагальнену логіку такого алгоритму подано на рис. 1.

Рис. 1 – Узагальнена схема алгоритму прийняття рішення щодо скидання засобу ураження



Наведений на рис. 1 алгоритм відображає загальну послідовність обробки даних: отримання параметрів польоту БпАК, орієнтовний розрахунок точки скидання, перевірка досягнення розрахункової зони та формування команди. У реальній системі цей алгоритм має доповнюватися блоками контролю безпеки, діагностики сенсорів і фіксації результатів застосування.

Забезпечення точності та стабільності. На точність роботи системи впливають похибки навігації, затримка обчислень, вібрації платформи, вплив вітру, зміна центру мас після відокремлення засобу ураження та якість супроводу цілі. Для зменшення цих похибок можуть застосовуватися попереднє калібрування сенсорів, дублювання критичних вимірювань, стабілізація оптичного модуля, контроль висоти та повторне уточнення координат безпосередньо перед скиданням.

Оцінювання фактичної точності не може базуватися лише на розрахункових припущеннях. Воно має підтверджуватися серією випробувань із використанням інертних макетів, фіксацією координат точки падіння та порівнянням результатів для різних режимів польоту. Такий підхід дозволить перейти від концептуальних положень до обґрунтованих технічних вимог.

Програмне забезпечення та автономність. Бортове програмне забезпечення може бути реалізовано у вигляді мікрокерованої системи на базі операційного середовища реального часу. Основний цикл роботи може включати отримання даних, фільтрацію, оцінювання параметрів польоту, прогнозування допустимої зони скидання та формування рекомендації або команди. У разі втрати зв'язку система не повинна автоматично виконувати неконтрольовану дію; доцільним є перехід у безпечний режим або виконання попередньо дозволеного сценарію.

Розглянуто можливість використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптації системи до бойових умов та підвищення автономності її функціонування. Зокрема, такі алгоритми можуть застосовуватися для розпізнавання об'єктів, оцінювання якості супроводу цілі, виявлення нестабільних даних сенсорів і вибору безпечнішого режиму роботи. Водночас їх застосування потребує обов'язкової перевірки, обмеження помилкових рішень та збереження можливості контролю з боку оператора.

Адаптація системи до різних типів БпАК. Конструкція прицільного комплексу має бути модульною. Для легких БпАК може застосовуватися спрощена конфігурація з камерним модулем, базовим інерціальним блоком і малогабаритним обчислювачем. Для середніх і важчих платформ доцільною є розширена конфігурація з гіростабілізованим оптико-електронним модулем, додатковими датчиками висоти та потужнішим процесором. Такий підхід дозволяє адаптувати систему без радикальної зміни конструкції носія.

Перспективи практичної реалізації. Подальша робота має включати створення експериментального зразка, стендові випробування сенсорів, перевірку стабільності передачі даних, польові випробування з інертними макетами та уточнення алгоритмів за результатами фактичних вимірювань. Лише після цього може формуватися технічне завдання на серійний модуль, сумісний із визначеними класами БпАК.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує доцільність розроблення модульних систем прицілювання для БпАК різних класів, оскільки точність скидання засобів ураження залежить від узгодженої роботи навігаційних, сенсорних, обчислювальних і виконавчих елементів.

Запропонована архітектура системи передбачає поєднання сенсорного, аналітичного та виконавчого рівнів, що дозволяє формувати обґрунтоване рішення щодо моменту скидання з урахуванням параметрів польоту і стану цілі.

У роботі окреслено підхід до побудови математичного забезпечення прогнозування моменту скидання з урахуванням балістичних і метеорологічних факторів, що може бути використано для підвищення точності ураження після експериментальної перевірки та уточнення алгоритмів.

Розглянуто можливість використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптації системи до бойових умов та підвищення автономності її функціонування. Їх впровадження потребує контролю достовірності рішень, перевірки на полігонних випробуваннях і збереження ролі оператора у критичних режимах.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення дослідного зразка, перевірку роботи сенсорів у реальних умовах, визначення допустимих похибок і формування уніфікованих вимог до прицільних модулів БпАК.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 28.001 83. Система технічного обслуговування і ремонту техніки. Основні положення. – М. : Видавництво стандартів, 1983. – 4 с.
 2. Дем'янчук Б.О., Маханьков В.А., Обертас В.Ф. Основи автотехнічного забезпечення. Одеса: Військова академія, 2017. – 230 с.
 3. Гуляк О.В., Дем'янчук Б.О., Маслій О.М. Основи військової логістики. Одеса: 2019. – 262 с.
 4. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ: тези доповідей V Всеукр. наук.-техн. конф. Львів: АСВ, 2012. – 378 с.
 5. Krylyk V., Holovan A. Development of a Targeting System for Aerial Munitions Release from UAVs // Conference Proceedings of Military Academy, Odessa, 2024. – P. 112–115.
- Науковий керівник:** Головань А.В., канд.техн.наук, доц., Військова академія (м. Одеса).
Рецензент: Трушков Г.В., канд.техн.наук., доц., Військова академія (м. Одеса).

УДК 623.485

Мишакін Н. А. магістрант

Головань А. В. канд.техн.наук, доц.

Військова академія (м. Одеса)

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ЗАСОБІВ БЛИЖНЬОГО БОЮ ТА РОЗВІДКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

У статті розглянуто проблемні питання утилізації засобів ближнього бою та розвідки в умовах воєнного стану. Основну увагу зосереджено на легкій стрілецькій зброї (ЛСЗ), яка внаслідок інтенсивної експлуатації, бойових пошкоджень, корозії та вичерпання ресурсу переходить до категорії майна, непридатного до подальшого застосування. На відміну від підходу, за якого напрями удосконалення подаються лише як перелік заходів, у статті запропоновано організаційно-технологічну модель вибору рішення щодо подальшого поводження зі зразками ЛСЗ. Модель поєднує класифікацію технічного стану, оцінку доцільності ремонту, вибір способу демілітаризації або рециркуляції, контроль результату та цифрове закриття життєвого циклу зразка.

Ключові слова: засоби ближнього бою, легка стрілецька зброя, ЛСЗ, утилізація, демілітаризація, рециркуляція, логістичне забезпечення, цифровий облік, воєнний стан.

Постановка проблеми. Досвід сучасних бойових дій свідчить, що інтенсивність використання озброєння та засобів розвідки в умовах воєнного стану істотно зростає. Легка стрілецька зброя, прилади спостереження, окремі допоміжні системи і майно артилерійсько-технічного забезпечення експлуатуються у середовищі, для якого характерні пил, волога, різкі перепади температур, механічні пошкодження, часте переміщення підрозділів та обмежені можливості планового технічного обслуговування. У таких умовах знос вузлів і деталей відбувається швидше, ніж у мирний час, а частина зразків переходить у стан, коли відновлення вже не є раціональним.

Проблема полягає не лише у фізичному накопиченні непридатного майна на арсеналах, базах і складах. Невчасне ухвалення рішення щодо ремонту, демілітаризації, переробки або повного знищення створює додаткове навантаження на логістичну систему, потребує місць зберігання, охорони, ведення обліку та контролю за недопущенням потрапляння зброї до незаконного обігу. Тому утилізація ЛСЗ має розглядатися не як завершальна технічна операція, а як керований процес, що починається з моменту ідентифікації зразка і завершується документально підтвердженим закриттям його життєвого циклу.

У чинній практиці часто окремо розглядаються ремонт, списання, демілітаризація, передача металу на переробку та оформлення актів. Через це напрями удосконалення залишаються розрізненими й не завжди формують єдину систему прийняття рішень. Відповідно виникає потреба у такій моделі, яка дозволяє пов'язати технічний стан зразка, економічну доцільність ремонту, ресурсні можливості бази, екологічні обмеження, вимоги безпеки та потребу в прозорому цифровому обліку.

Актуальність дослідження визначається тим, що в умовах тривалої війни обсяги ЛСЗ, яка вичерпала ресурс або отримала пошкодження, зростають. Якщо процес її списання та утилізації не буде достатньо швидким і контрольованим, тилові бази накопичуватимуть значні обсяги майна V категорії. Це ускладнюватиме роботу з боездатними зразками, збільшуватиме витрати на охорону та зберігання, а також знижуватиме загальну гнучкість системи артилерійсько-технічного забезпечення.

Метою статті є розроблення пропозицій щодо удосконалення процесів утилізації засобів ближнього бою та розвідки, зокрема ЛСЗ, шляхом формалізації алгоритму прийняття рішень і порівняльного оцінювання основних технологій демілітаризації за продуктивністю, вартістю, мобільністю, екологічністю та можливістю контролю результату.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: уточнити місце ЛСЗ у системі об'єктів утилізації; визначити вплив категорії технічного стану на подальше рішення; порівняти основні методи демілітаризації; запропонувати алгоритм руху зразка від надходження до цифрового закриття циклу; сформулювати систему напрямів удосконалення, яка охоплює технологічні, логістичні, економічні, цифрові та екологічні заходи.

Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано підхід до вибору технології утилізації ЛСЗ на основі комплексної оцінки характеристик партії та умов виконання робіт. На відміну від простого переліку способів знищення, цей підхід передбачає послідовне проходження етапів: ідентифікація,

діагностика, визначення категорії, оцінка доцільності ремонту, вибір сценарію подальшого використання або утилізації, вибір технології, контроль результату, рециркуляція матеріалів і цифрове закриття облікового запису.

Виклад основного матеріалу. Легка стрілецька зброя (ЛСЗ) є масовою категорією озброєння, що використовується як індивідуально, так і у складі підрозділів. Її особливість як об'єкта утилізації полягає у великій кількості однотипних зразків, наявності металевих, полімерних і дерев'яних елементів, потребі у підтвердженні незворотного вилучення бойових властивостей та необхідності точного обліку кожної одиниці [2; 5].

За технічним станом зразки ЛСЗ доцільно розглядати через систему категорій I–V. Зразки I–II категорій, як правило, можуть залишатися в експлуатації або направлятися на планове обслуговування. Зразки III–IV категорій потребують оцінки ремонтпридатності з урахуванням трудомісткості, наявності запасних частин і порівняння вартості ремонту з вартістю заміни. Зразки V категорії мають розглядатися як основний потік для демілітаризації, рециркуляції або законної конверсії у навчальні зразки, масогабаритні макети чи іншу продукцію, що не зберігає бойових властивостей [2].

Для усунення розриву між технічною експертизою, списанням та фактичною утилізацією доцільно застосовувати організаційно-технологічну модель. Її сутність полягає у тому, що рішення приймається не інтуїтивно, а за визначеною послідовністю етапів. У спрощеному вигляді логіка моделі має такий вигляд: надходження зразка → ідентифікація та облік → технічна діагностика → визначення категорії → вибір сценарію: експлуатація / ремонт / демілітаризація / рециркуляція / конверсія → вибір технології → контроль результату → сортування матеріалів → передача на переробку → цифрове закриття циклу. Узагальнений алгоритм поводження зі зразками ЛСЗ подано в табл. 1.

Таблиця 1

Узагальнений алгоритм поводження зі зразками ЛСЗ, що підлягають ремонту, демілітаризації або утилізації

№	Етап	Зміст робіт	Результат
1	Надходження та ідентифікація	Приймання зразка, перевірка комплектності, фіксація типу, номера, походження та стану.	Створюється облікова основа для подальшого контролю.
2	Первинна класифікація	Визначення належності до ЛСЗ, засобів розвідки або допоміжного майна.	Дає можливість відокремити різні технологічні потоки.
3	Технічна діагностика	Огляд, перевірка основних вузлів, за потреби - неруйнівний контроль.	Рівень діагностики залежить від оснащення бази.
4	Визначення категорії I–V	Присвоєння категорії технічного стану та попереднє рішення щодо придатності.	Ключовий етап для вибору ремонту або утилізації.
5	Оцінка доцільності ремонту	Порівняння трудомісткості, вартості ремонту, наявності ЗІП і потреби у зразку.	III–IV категорії не повинні автоматично йти в утилізацію.
6	Вибір сценарію	Експлуатація, ремонт, демілітаризація, переробка у ММГ/навчальні зразки або повна утилізація.	Сценарій має відповідати технічному стану і нормативним вимогам.
7	Оцінка рециркуляції	Визначення частки металу, полімерів, придатних вузлів і можливості вторинної переробки.	Підвищує економічну віддачу процесу.
8	Вибір технології	Порівняння методів за продуктивністю, вартістю, мобільністю, екологією та контролем.	Рішення приймається за матрицею критеріїв.
9	Демілітаризація	Виконання обраного технологічного процесу з дотриманням вимог безпеки.	Мета - незворотне вилучення бойових властивостей.
10	Контроль і документування	Огляд результату, фото- або відеофіксація, складання акта.	Унеможливорює повторне використання та підміну.
11	Сортування і передача матеріалів	Розділення металу, полімерів та інших компонентів, передача на переробку.	Зменшує втрати вторинної сировини.
12	Цифрове закриття циклу	Оновлення статусу в базі, збереження актів, підсумкова аналітика.	Забезпечує прозорість і основу для планування.

Для вибору технології утилізації пропонується застосовувати коефіцієнт. Кожна технологія може оцінюватися за п'ятьма критеріями: продуктивність (P), вартісна доцільність (C), мобільність (M), екологічність (E), безпека і контроль результату (S). У спрощеному вигляді інтегральний пріоритет технології можна подати як $R = 0,25P + 0,20C + 0,15M + 0,20E + 0,20S$. Перевага надається

способу з найбільшим значенням R за умови, що він забезпечує незворотність демілітаризації та належний документальний контроль. Такий підхід не замінює нормативних процедур, але допомагає обґрунтовано порівнювати варіанти для конкретної партії майна. [7; 8]. Порівняльну характеристику основних методів утилізації ЛСЗ наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика основних методів утилізації ЛСЗ

Метод	Продуктивність	Вартість	Мобільність	Екологія	Рекомендація
Відкрите спалювання	Низька	Низька	Висока	Негативна	Не рекомендується; не гарантує повного руйнування металевих вузлів.
Польовий підрив	Середня	Середня	Обмежена	Негативна	Застосовувати лише у виняткових умовах, коли інші варіанти неможливі.
Механічне зминання	Середня	Низька	Середня	Середня	Можливе як попередня деформація, але потребує подальшого контролю.
Газове або плазмове різання	Середня	Середня	Середня	Прийнятна за фільтрації	Доцільне для малих і середніх партій, ремонтних баз та навчальних зразків.
Гідравлічні ножиці / преси	Висока	Середня	Середня	Прийнятна	Оптимальний варіант для базового потоку ЛСЗ за співвідношенням ціни й продуктивності.
Промислове шредерування	Дуже висока	Висока початкова	Залежить від типу установки	Висока за сортування	Найкраще для великих партій і рециркуляції металу.
Переплавлення	Висока	Середня/висока	Низька	Висока за контролю	Раціональне для централізованої переробки після демонтажу і сортування.

Аналіз даних табл. 2 показує, що застарілі польові методи, зокрема відкрите спалювання або неконтрольоване руйнування, не відповідають сучасним вимогам до безпеки, екологічності та обліку. Їх доцільно розглядати не як штатне рішення, а як вимушений виняток. Базовими технологіями для організованої демілітаризації ЛСЗ мають бути різання, гідравлічне руйнування, промислове здрібнювання та переплавлення. Вибір між ними залежить від обсягу партії, наявності обладнання, віддаленості переробних підприємств, вимог до мобільності та можливості підтвердити остаточний результат [8].

Окремої уваги потребує економічна рециркуляція. Стрілецька зброя містить якісні металеві сплави, а окремі партії можуть мати придатні вузли або навчальну цінність після законної демілітаризації. Тому пряме знищення без аналізу можливості повторного використання матеріалів не завжди є раціональним. Найбільш доцільним є поєднання демілітаризації з подальшим сортуванням металу, відділенням полімерних і дерев'яних елементів, а також виготовленням масогабаритних макетів або навчальних зразків там, де це дозволено нормативно та не створює ризику відновлення бойових властивостей [2; 6].

Формалізація напрямів удосконалення дозволяє перейти від загальних пропозицій до практичної системи дій. У цій статті напрями об'єднано у п'ять груп: технологічну, логістичну, економічну, цифрову та екологічну. Такий поділ зручний для планування, оскільки кожна група має власний результат і власні показники ефективності. Систему напрямів удосконалення та рекомендації за кожним із них наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Система напрямів удосконалення процесів утилізації засобів ближнього бою та розвідки

Напрямок	Сутність	Рекомендації
Технологічні	Оновлення засобів демілітаризації та діагностики.	Пріоритетно впроваджувати гідравлічні ножиці, плазмове різання, шпедери, неруйнівний контроль стволів і ствольних коробок.
Логістичні	Скорочення простою майна і перевантаження арсеналів.	Створювати регіональні ділянки демілітаризації, розділяти потоки за категоріями, планувати перевезення партіями з однаковим технологічним сценарієм.
Економічні	Зменшення витрат і повернення частини вартості матеріалів.	Оцінювати рециркуляцію до знищення; спрямовувати метал і полімери на переробку; використовувати законну конверсію у ММГ та навчальні зразки.
Цифрові	Прозорість руху кожної одиниці зброї.	Вести електронний облік, використовувати унікальний ID, прикріплювати акти, фото- або відеофіксацію та статуси: “на ремонті”, “демілітаризовано”, “передано на переробку”.
Екологічні	Зменшення негативного впливу на довкілля.	Відмовлятися від відкритого спалювання; застосовувати фільтрацію викидів, сортування.

Запропонована система напрямів удосконалення (табл. 3) може бути використана як основа для внутрішнього регламенту артилерійської бази або складу. Наприклад, під час надходження партії ЛСЗ спочатку формується електронний реєстр, після чого зразки розподіляються за категоріями. Якщо зброя належить до III–IV категорій, проводиться економічна оцінка ремонту. Якщо ремонт недоцільний або зразок належить до V категорії, обирається один із сценаріїв: демілітаризація з рециркуляцією, виготовлення навчального макета, передача матеріалів на переробку або повне знищення. При цьому вибір технології здійснюється не за принципом наявності найближчого обладнання, а за сукупністю критеріїв, поданих у табл. 2.

Важливим елементом моделі є контроль і облік. Після фактичної демілітаризації повинно бути підтверджено, що зразок не може бути відновлений як бойова зброя. Для цього доцільно застосовувати візуальний контроль, фото- або відеофіксацію, актування результату, а також цифрове оновлення статусу в єдиній базі. Лише після цього матеріали можуть передаватися на переробку або використовуватися для навчальних цілей у дозволеному порядку [2; 7].

Практична цінність запропонованого підходу полягає у тому, що він поєднує технічні, організаційні та облікові процедури. Для підрозділів АТЗ це дає можливість зменшити кількість майна, яке роками зберігається без чіткого рішення; для арсеналів і баз - розвантажити площі та підвищити безпеку; для системи логістичного забезпечення - отримати прогнозовані обсяги робіт і потребу в обладнанні; для держави - повернути частину вартості через рециркуляцію матеріалів.

Висновки. Удосконалення процесів утилізації засобів ближнього бою та розвідки в умовах воєнного стану має здійснюватися не шляхом окремих розрізнених заходів, а через впровадження єдиної організаційно-технологічної моделі. Центральним елементом такої моделі є послідовний алгоритм: надходження зразка, ідентифікація, діагностика, визначення категорії I–V, оцінка доцільності ремонту, вибір сценарію подальших дій, вибір технології демілітаризації, контроль, рециркуляція та цифрове закриття циклу.

Запропонований алгоритм дозволяє систематизувати процес прийняття рішень щодо утилізації озброєння залежно від технічного стану, обсягів майна, наявних ресурсів, екологічних обмежень і потреби у прозорому обліку. Для малих і середніх партій доцільними є технології різання та гідравлічного руйнування; для великих партій - промислове здрибнювання або централізоване переплавлення після сортування; відкриті та неконтрольовані методи повинні поступово вилучатися зі штатної практики.

Наукова новизна роботи полягає у формалізації підходу до вибору технологій утилізації на основі порівняльної оцінки продуктивності, вартості, мобільності, екологічності та безпеки контролю. Це дає можливість не лише описати напрями удосконалення, а й подати їх як систему взаємопов'язаних технологічних, логістичних, економічних, цифрових та екологічних рішень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення кількісної методики оцінювання ефективності різних способів демілітаризації ЛСЗ, визначення типових норм продуктивності для арсеналів і баз, а також створення цифрового модуля, який автоматично рекомендуватиме оптимальний сценарій поводження зі зразком залежно від його категорії, обсягу партії та доступної інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Про оборону України : Закон України від 06 груд. 1991 р. № 1932-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 9. – Ст. 106.
 2. Настанова з ракетно-артилерійського озброєння у Збройних Силах України. – К.: Міністерство оборони України, 2015. – 315 с.
 3. Основи військової логістики. Прогнозні моделі забезпечення / О. В. Гуляк, Б. О. Дем'янчук, О. М. Маслій, Д. В. Лисовенко, В. А. Маханьков, В. Ф. Обертас. – Одеса: Військова академія, 2019. – 262 с.
 4. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 березня 2021 року «Про Стратегію воєнної безпеки України» : Указ Президента України від 25 берез. 2021 р. № 121/2021. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/1212021-37661>
 5. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ : збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Львів: Вид-во АСВ, 2012. – 378 с.
 6. Меморандум про взаєморозуміння і співробітництво в галузі оборонних та військових відносин між Міністерством оборони України та Міністерством оборони Сполучених Штатів Америки від 08 верес. 2016 р. – К. : Міністерство оборони України, 2016. – 8 с.
 7. NATO Standard AJP-4. Allied Joint Doctrine for Logistics. Edition B, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2018. – 112 p.
 8. ATP 4-35. Munitions Operations and Distribution Techniques. – Washington: Headquarters, Department of the Army, 2014. – 94 p.
- Науковий керівник:** Головань А.В., канд.техн.наук, доц., Військова академія (м. Одеса).
Рецензент: Сергєєв В.В., канд.техн.наук., доц., Військова академія (м. Одеса).

УДК 355.415:623.455

Огороднік Д. – магістрант**Нікул С.** – канд. техн. наук, доц.

Військова академія (м. Одеса)

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ВИМОГ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПОЛЬОВИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СКЛАДІВ ЗА ДОСВІДОМ БОЙОВИХ ДІЙ

У статті розглянуто актуальні питання удосконалення вимог до організації польових артилерійських складів в умовах сучасних бойових дій. Проаналізовано вплив високоточної зброї, безпілотних авіаційних комплексів, засобів радіоелектронної та космічної розвідки на живучість системи зберігання, підготовки і підвезення боєприпасів. Визначено основні проблемні аспекти функціонування польових артилерійських складів та запропоновано напрями підвищення їх стійкості, мобільності, прихованості й адаптивності до умов високотехнологічної війни.

Ключові слова: польовий артилерійський склад, боєприпаси, розосередження, живучість, мобільність, маскування, технічне забезпечення, артилерія.

Постановка проблеми. Досвід сучасних бойових дій переконливо свідчить, що ефективність застосування артилерії залежить не лише від кількості наявних артилерійських систем, рівня підготовки розрахунків та можливостей розвідки, а й від спроможності системи забезпечення своєчасно подавати необхідну кількість боєприпасів до вогневих підрозділів. У сучасних умовах саме безперервність, прихованість і стійкість забезпечення засобами ураження стають одними з визначальних чинників підтримання високої інтенсивності вогневого впливу на противника.

Польові артилерійські склади є важливою ланкою системи технічного забезпечення військ. Вони призначені для приймання, короткострокового або тимчасового зберігання, обліку, підготовки та видачі боєприпасів підрозділам. Водночас умови, у яких функціонують такі склади, суттєво змінилися. Якщо раніше основними загрозами для них були авіаційні удари, артилерійські обстріли та диверсійно-розвідувальні групи противника, то нині до цих загроз додалися масове застосування безпілотних авіаційних комплексів, баражуючих боєприпасів, високоточної далекобійної зброї, космічної розвідки, радіоелектронної розвідки та автоматизованих систем виявлення цілей.

За цих умов традиційні підходи до організації польових артилерійських складів, які передбачали створення відносно великих місць накопичення боєприпасів, можуть створювати значні ризики.

Надмірна концентрація запасів на обмеженій території підвищує ймовірність їх одночасного ураження, спричиняє значні втрати матеріальних засобів, ускладнює відновлення системи підвезення та може негативно впливати на спроможність артилерії виконувати бойові завдання.

Таким чином, виникає необхідність перегляду та удосконалення вимог до організації польових артилерійських складів з урахуванням реального бойового досвіду, сучасних засобів ураження, розвитку розвідувально-ударних контурів противника та практики логістичного забезпечення військ у країнах-членах НАТО.

Актуальність проблеми зумовлена тим, що в умовах повномасштабної війни артилерія залишається одним із головних засобів вогневого ураження противника, а витрати артилерійських боєприпасів можуть досягати значних обсягів протягом короткого проміжку часу. Будь-яке порушення системи зберігання та підвезення боєприпасів безпосередньо впливає на темп бойових дій, можливість підтримки підрозділів, стійкість оборони або успішність наступальних дій.

Особливої актуальності ця проблема набуває через зростання можливостей противника щодо виявлення логістичних об'єктів. Сучасні безпілотні літальні апарати здатні вести спостереження в режимі, наближеному до реального часу, фіксувати переміщення транспорту, визначати місця накопичення матеріальних засобів, коригувати артилерійський вогонь та забезпечувати наведення високоточної зброї. Крім того, застосування тепловізійних, радіолокаційних і оптико-електронних засобів розвідки ускладнює традиційне маскування складів, транспортних засобів і маршрутів підвезення. [1; 3]

У таких умовах польовий артилерійський склад повинен розглядатися не як стаціонарний пункт накопичення боєприпасів, а як гнучкий, розосереджений, захищений і керований елемент системи забезпечення засобами ураження. Він має бути здатним швидко змінювати район розміщення, зберігати працездатність після вогневого впливу противника, мінімізувати демаскувальні ознаки та забезпечувати безперервну видачу боєприпасів підрозділам.

Метою статті є розробка пропозицій щодо удосконалення вимог до організації польових артилерійських складів з урахуванням досвіду сучасних бойових дій, загроз з боку високотехнологічного противника та необхідності підвищення живучості системи забезпечення артилерійських підрозділів боєприпасами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати роль польових артилерійських складів у системі технічного забезпечення бойових дій; визначити основні загрози для польових артилерійських складів в умовах сучасної війни; узагальнити проблемні аспекти організації зберігання, підготовки та видачі боєприпасів; розглянути доцільність застосування принципів розосередження, мобільності, інженерного захисту та маскування; сформулювати пропозиції щодо удосконалення вимог до організації польових артилерійських складів.

Виклад основного матеріалу. Польові артилерійські склади займають важливе місце у загальній системі забезпечення військ боєприпасами. Їх функціонування безпосередньо пов'язане з роботою органів управління логістикою, автомобільних підрозділів, служб забезпечення засобами ураження, інженерних підрозділів, підрозділів охорони та оборони, а також із системою розвідки і зв'язку.

Основними завданнями польового артилерійського складу є приймання боєприпасів від вищої ланки забезпечення, їх розміщення з урахуванням номенклатури, умов безпеки та черговості видачі, організація обліку, підготовка боєприпасів до застосування, видача підрозділам, а також забезпечення збереження запасів від ураження, пожеж, вибухів, диверсій та інших небезпечних факторів.

У традиційному розумінні ефективність роботи складу часто оцінювалася за його місткістю, зручністю під'їзних шляхів, швидкістю приймання і видачі боєприпасів, а також дотриманням правил безпеки. Однак досвід бойових дій останніх років показує, що цих критеріїв уже недостатньо. На перший план виходять живучість, прихованість, мобільність, здатність до швидкого відновлення після ураження та можливість функціонування в умовах постійної розвідувально-вогневої загрози. [1]

Сучасний противник здатний виявляти польові склади за низкою демаскувальних ознак. До них належать інтенсивний рух автомобільного транспорту, сліди техніки на місцевості, теплові сигнатури, скупчення особового складу, порушення природного фону місцевості, радіообмін, використання освітлення в темний час доби, а також характерні інженерні споруди. За наявності розвиненої системи розвідки навіть короткочасне перебування великої кількості транспортних засобів у певному районі може стати підставою для нанесення вогневого ураження.

Однією з головних проблем функціонування польових артилерійських складів є надмірна концентрація запасів. Великі обсяги боєприпасів, зосереджені на одному майданчику, спрощують

облік і видачу, але водночас створюють критичну вразливість. У разі успішного ураження такого об'єкта втрати можуть мати не лише матеріальний, а й оперативний характер, оскільки підрозділи тимчасово втрачають можливість вести вогонь з необхідною інтенсивністю.

Більш перспективним підходом є створення багаторівневої розосередженої системи зберігання боєприпасів. Її сутність полягає у розподілі запасів між основними, маневровими та резервними елементами. Основні елементи можуть забезпечувати накопичення визначених обсягів боєприпасів для планового ведення бойових дій, маневрові – швидке переміщення запасів відповідно до змін обстановки, а резервні – відновлення спроможностей у разі ураження окремих ділянок системи забезпечення.

Розосередження має здійснюватися не хаотично, а на основі оцінки бойового завдання, інтенсивності витрат боєприпасів, можливостей транспорту, стану дорожньої мережі, характеру місцевості, рівня загрози з повітря та ймовірності вогневого впливу противника. При цьому кожний окремих майданчик не повинен містити таку кількість боєприпасів, втрата якої може суттєво порушити функціонування всієї системи забезпечення.

Важливим напрямом удосконалення організації польових артилерійських складів є підвищення вимог до інженерного обладнання районів розміщення. Інженерна підготовка повинна передбачати не лише облаштування місць зберігання, а й створення системи захисту від уламків, ударної хвилі, вторинної детонації та впливу засобів ураження з повітря. Доцільним є використання заглиблених або напівзаглиблених укриттів, протиосколкових валів, природних складок місцевості, лісових масивів, інженерних загороджень та хибних об'єктів.

Особливої уваги потребує питання запобігання ланцюговій детонації боєприпасів. Для цього необхідно забезпечувати розділення запасів за партіями, номенклатурою та ступенем небезпеки, дотримуватися безпечних інтервалів між місцями зберігання, а також облаштовувати захисні перешкоди між окремими елементами складу. В умовах дефіциту часу інженерне обладнання району може здійснюватися поетапно, однак мінімальні заходи захисту та маскування мають виконуватися негайно після розгортання складу.

Маскування польових артилерійських складів повинно відповідати сучасному рівню розвитку засобів розвідки. Використання лише традиційних маскувальних сіток не забезпечує достатнього рівня прихованості. Доцільно застосовувати комплексне маскування, яке поєднує візуальне, теплове, радіолокаційне та радіоелектронне зниження помітності. При цьому важливо не тільки приховати самі запаси боєприпасів, а й мінімізувати ознаки діяльності: рух техніки, шум, сліди коліс, радіообмін, освітлення, місця завантаження і розвантаження.

Значну роль у підвищенні живучості польових артилерійських складів відіграє створення хибних позицій і макетів. Хибні об'єкти можуть відволікати увагу противника, змушувати його витрачати засоби ураження на другорядні цілі та ускладнювати процес прийняття рішення щодо нанесення удару. Водночас створення таких об'єктів має бути реалістичним, оскільки сучасні засоби розвідки здатні виявляти невідповідність між зовнішніми ознаками об'єкта та реальною активністю в районі.

Не менш важливою вимогою є мобільність польових артилерійських складів. Склад повинен бути організаційно і технічно здатним до швидкого згортання, переміщення та повторного розгортання в новому районі. Для цього доцільно використовувати контейнерні та модульні рішення, стандартизовані вантажні платформи, підготовлені комплекти навантажувально-розвантажувального обладнання, а також заздалегідь визначені запасні райони розміщення.

Контейнеризація зберігання і транспортування боєприпасів дозволяє скоротити час вантажних операцій, підвищити збереженість матеріальних засобів, спростити облік і створити передумови для швидкого переміщення запасів. Крім того, модульний принцип дозволяє формувати окремі комплекти боєприпасів під конкретні підрозділи або завдання, що зменшує час видачі та підвищує гнучкість системи забезпечення.

Окремим напрямом удосконалення є цифровізація обліку та контролю руху боєприпасів. В умовах інтенсивних бойових дій паперовий облік або несумісні між собою електронні таблиці не завжди забезпечують необхідну оперативність управління запасами. Доцільним є впровадження цифрових систем, які дозволяють відстежувати наявність, витрати, переміщення і потреби в боєприпасах у режимі, наближеному до реального часу.

Водночас цифровізація повинна здійснюватися з урахуванням вимог інформаційної безпеки. Дані про місця розміщення складів, обсяги запасів, маршрути підвезення та потреби підрозділів є чутливою інформацією, втрата якої може створити загрозу для всієї системи забезпечення. Тому цифрові засоби обліку мають поєднувати швидкість обміну інформацією із захистом каналів зв'язку, обмеженням доступу та можливістю роботи в умовах порушення зв'язку.

Важливим елементом організації польових артилерійських складів є оптимізація норм запасів. Норми накопичення повинні враховувати не тільки штатні розрахунки, а й фактичну інтенсивність бойових дій, витрати боєприпасів конкретними артилерійськими системами, можливості підвезення, ризик руйнування логістичних маршрутів і ймовірність втрати частини запасів унаслідок вогневого впливу противника. Надмірне накопичення збільшує вразливість, а недостатнє – створює ризик переривання вогневого ураження.

Доцільно застосовувати гнучкий підхід до визначення запасів, за якого їх обсяг залежить від бойового завдання, прогнозованої тривалості операції, характеру місцевості, віддаленості від джерел поповнення та наявності транспортних засобів. Такий підхід дозволяє краще узгодити потреби артилерійських підрозділів із реальними можливостями системи забезпечення.

Підготовка особового складу, який залучається до роботи польових артилерійських складів, також потребує удосконалення. Фахівці служби забезпечення засобами ураження повинні вміти діяти не лише в умовах планового приймання і видачі боєприпасів, а й під час загрози вогневого ураження, застосування противником БПЛА, порушення зв'язку, зміни району розміщення, пожежі, часткового руйнування складу або необхідності термінової евакуації запасів.

Підготовка має включати практичне відпрацювання розосередження боєприпасів, швидкого згортання складу, організації прихованого підвезення, дій при виявленні БПЛА противника, ліквідації наслідків ураження, евакуації пошкоджених транспортних засобів, охорони і оборони району розміщення. Крім того, особовий склад повинен знати порядок взаємодії з інженерними підрозділами, підрозділами протиповітряної оборони, радіоелектронної боротьби та військової служби правопорядку.

Порівняльний аналіз підходів країн-членів НАТО[5;6;7;8] свідчить про загальну тенденцію до децентралізації запасів, використання тимчасових логістичних вузлів, підвищення мобільності складів і застосування цифрових систем управління матеріальними засобами. У таких підходах основний акцент робиться не на створенні великих складів поблизу району бойових дій, а на формуванні гнучкої мережі пунктів забезпечення, здатної швидко змінювати конфігурацію залежно від оперативної обстановки.

З урахуванням зазначеного доцільно сформулювати основні пропозиції щодо удосконалення вимог до організації польових артилерійських складів. По-перше, необхідно нормативно закріпити принцип багаторівневого розосередження запасів боєприпасів із визначенням основних, маневрових і резервних елементів. По-друге, слід підвищити вимоги до інженерного обладнання районів розміщення, включаючи протиосколковий захист, укриття, захисні вали та хибні позиції. По-третє, потрібно передбачити обов'язкове застосування комплексного маскування, орієнтованого на протидію оптичній, тепловій, радіолокаційній та радіоелектронній розвідці.

По-четверте, необхідно впроваджувати модульні та контейнерні рішення, які забезпечують швидке переміщення запасів і скорочують час вантажних операцій. По-п'яте, доцільно розвивати цифрові системи обліку боєприпасів, здатні працювати в умовах обмеженого або нестійкого зв'язку. По-шосте, варто переглянути підходи до підготовки особового складу, посиливши практичну складову щодо дій в умовах постійної розвідувально-вогневої загрози.

Практичне значення запропонованих підходів полягає у підвищенні живучості польових артилерійських складів, зниженні ймовірності втрати значної кількості боєприпасів унаслідок одного удару, забезпеченні безперервності підвезення та створенні умов для більш стійкого функціонування артилерійських підрозділів. Удосконалення вимог до організації ПАС має розглядатися як складова загального розвитку системи логістичного та технічного забезпечення Збройних Сил України [3].

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що сучасний характер бойових дій суттєво змінює вимоги до організації польових артилерійських складів. Масове застосування БПЛА, високоточної зброї, засобів радіоелектронної та космічної розвідки значно підвищує вразливість традиційних місць накопичення боєприпасів і потребує переходу до більш гнучкої, розосередженої та мобільної системи зберігання і підвезення.

Основними напрямками удосконалення вимог до організації польових артилерійських складів є запровадження багаторівневого розосередження запасів, підвищення рівня інженерного обладнання районів, комплексне маскування, створення хибних позицій, застосування контейнерних і модульних рішень, цифровізація обліку та підвищення рівня підготовки особового складу.

Запропоновані підходи дозволяють підвищити живучість системи забезпечення засобами ураження, зменшити втрати боєприпасів від вогневого ураження противника, забезпечити безперервність підвезення та створити передумови для підтримання високої інтенсивності артилерійського вогню у довготривалих операціях.

Перспективами подальших досліджень є розробка методики оцінювання живучості польових артилерійських складів, визначення оптимальних параметрів розосередження запасів, обґрунтування норм мобільності та створення типових моделей організації ПАС для різних умов бойової обстановки.

Список використаних джерел

1. Бойовий статут Сухопутних військ Збройних Сил України. Частина II. Батальйон, рота. – Київ : Алерта, 2024. – 286 с.
 2. Настанова з ракетно-артилерійського озброєння у Збройних Силах України. – К.: Міністерство оборони України, 2015. – 315 с.
 3. Основи військової логістики. Прогнозні моделі забезпечення / О. В. Гуляк, Б. О. Дем'янчук, О. М. Маслій, Д. В. Лисовенко, В. А. Маханьков, В. Ф. Обертас. – Одеса: Військова академія, 2019. – 262 с.
 4. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ : збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Львів: Вид-во АСВ, 2012. – 378 с.
 5. NATO Standard AJP-4. Allied Joint Doctrine for Logistics. Edition B, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2018. – 112 p.
 6. NATO Standard AJP-3.14. Allied Joint Doctrine for Force Protection. Edition A, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2020. – 94 p.
 7. ATP 4-35. Munitions Operations and Distribution Techniques. – Washington: Headquarters, Department of the Army, 2014. – 94 p.
 8. ATP 4-90. Brigade Support Battalion. – Washington: Headquarters, Department of the Arm 2026. – 76 p.
- Науковий керівник:** Нікул С., канд. техн. наук, доц., Військова академія (м. Одеса).
Рецензент: Маслій Н., канд. техн. наук, доц.

УДК 623.4:621.7:004.92

Шевчук М. В. – магістрант

Головань В. Г. – канд. техн. наук, проф.
Військова академія (м. Одеса)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СКЛАДОВИХ РАКЕТНО-АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОЗБРОЄННЯ НА ОСНОВІ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглянуті актуальні питання підвищення ефективності виробництва складових ракетно-артилерійського озброєння (РАО) на основі впровадження адитивних технологій (3D-друку) в умовах сучасного розвитку оборонно-промислового комплексу (ОПК). Проаналізовано вплив традиційних виробничих обмежень на тривалість технологічного циклу виготовлення складних деталей та необхідність переходу до цифрових і гнучких виробничих систем. Детально досліджено основні види адитивних технологій (FDM, SLS, SLM, SLA) з оцінкою їх технологічних можливостей, переваг та обмежень у контексті виробництва компонентів РАО. Визначено ключові проблемні аспекти впровадження 3D-друку, зокрема вартісні обмеження, вимоги до матеріалів та забезпечення стабільної якості продукції. Запропоновано перспективні напрями підвищення ефективності виробництва шляхом цифровізації конструкторсько-технологічної підготовки, впровадження гібридних виробничих систем та використання цифрових моделей виробів для швидкого прототипування і малосерійного виробництва.

Ключові слова: адитивні технології, 3D-друк, ракетно-артилерійське озброєння, оборонно-промисловий комплекс, цифрове виробництво, прототипування, SLM, FDM, виробничі технології, інновації.

Постановка проблеми. Досвід сучасного розвитку ОПК та практики застосування озброєння в умовах інтенсивних бойових дій переконливо свідчить про зростання вимог до оперативності, гнучкості та ефективності процесів виробництва складових РАО. У сучасних умовах характер бойових

дій, що відзначається високою динамічністю, маневреністю та швидкою зміною тактичної обстановки, зумовлює необхідність забезпечення безперервного технічного оновлення та оперативного виготовлення комплектуючих виробів для РАО.

Значні навантаження на зразки РАО, а також їх експлуатація в складних умовах навколишнього середовища призводять до прискореного зносу конструкційних елементів, появи мікродфектів, втомних руйнувань матеріалів і зниження їх експлуатаційних характеристик. У результаті виникає потреба у швидкому відновленні або заміні окремих вузлів і деталей, що створює додаткове навантаження на систему виробництва та ремонтно-відновлювальні підрозділи.

У цих умовах традиційні технології виготовлення деталей РАО не завжди забезпечують необхідну оперативність, економічну ефективність та технологічну гнучкість. Особливо це проявляється у випадках виробництва складних за геометрією або малосерійних компонентів, де значні витрати часу припадають на підготовчі етапи, включаючи виготовлення оснастки та інструментального забезпечення.

Таким чином, виникає об'єктивна необхідність пошуку та впровадження інноваційних підходів до організації виробничих процесів, здатних забезпечити скорочення циклу виготовлення, підвищення адаптивності виробництва та зниження матеріальних витрат. Одним із найбільш перспективних напрямів у цьому контексті є використання адитивних технологій (3D-друку), які дозволяють здійснювати виготовлення складних деталей безпосередньо на основі цифрових моделей.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності виробництва складових РАО в умовах стрімкого зростання вимог до оперативності, гнучкості та технологічної автономності ОПК. Сучасні тенденції розвитку воєнно-технічної сфери свідчать про постійне ускладнення конструкцій озброєння, підвищення вимог до його функціональних характеристик, а також скорочення життєвого циклу окремих зразків РАО.

За наявними оцінками, значна частина виробничих потужностей і технологічного обладнання ОПК базується на традиційних методах обробки матеріалів, які не завжди забезпечують необхідну швидкість виготовлення складних деталей, особливо в умовах потреби оперативного відновлення або малосерійного виробництва. Це призводить до збільшення тривалості виробничих циклів, підвищення витрат на виготовлення оснастки та обмеження можливостей швидкої адаптації до змін у вимогах до конструкції виробів.

Існуюча система виробничо-логістичного забезпечення оборонного сектору не повною мірою відповідає сучасним викликам, пов'язаним із необхідністю швидкого реагування на потреби підрозділів та забезпечення безперервності постачання критично важливих компонентів озброєння. Додатково ускладнює ситуацію залежність від складних технологічних ланцюгів, які є чутливими до перебоїв у постачанні матеріалів та комплектуючих.

Отже, зростання вимог до оперативності виробництва, обмеженість ресурсів традиційних технологій та необхідність підвищення автономності виробничих процесів зумовлюють актуальність впровадження інноваційних підходів. Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування адитивних технологій (3D-друку), які дозволяють суттєво скоротити час виготовлення деталей, підвищити гнучкість виробництва та забезпечити можливість швидкого переходу від цифрової моделі до готового виробу.

Метою статті є комплексне дослідження можливостей підвищення ефективності виробництва складових РАО на основі застосування адитивних технологій (3D-друку) в умовах сучасного розвитку ОПК, а також розроблення науково обґрунтованих підходів щодо вдосконалення технологічних процесів виготовлення з метою підвищення їхньої оперативності, економічної доцільності та технологічної гнучкості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати сучасний стан виробництва складових РАО та основні обмеження традиційних технологічних процесів;
- визначити класифікаційні ознаки та особливості застосування адитивних технологій у військово-промисловому виробництві;
- узагальнити проблемні аспекти впровадження 3D-друку в умовах оборонного виробництва, зокрема щодо матеріалів, точності та сертифікації виробів;
- провести аналіз основних типів адитивних технологій (FDM, SLS, SLM, SLA) з урахуванням їх придатності для виготовлення компонентів озброєння;

- розглянути доцільність інтеграції 3D-друку у гібридні виробничі системи як елемент цифрової трансформації оборонної промисловості;
- сформулювати рекомендації щодо підвищення ефективності виробничих процесів шляхом впровадження адитивного виробництва та цифрового моделювання.

Виклад основного матеріалу. Виробництво складових РАО належить до високотехнологічних напрямів ОПК та характеризується підвищеними вимогами до точності виготовлення, стабільності геометричних параметрів, механічної міцності, термостійкості та надійності в умовах екстремальних експлуатаційних навантажень [1; 2]. Сучасні зразки озброєння функціонують у широкому діапазоні температур, вібраційних впливів, динамічних перевантажень і агресивних зовнішніх середовищ, що висуває особливі вимоги до якості кожного конструктивного елемента [3].

Традиційні технологічні процеси виготовлення деталей базуються на механічній обробці матеріалів різанням, литті, куванні, штампуванні та зварюванні. Ці методи залишаються фундаментом промислового виробництва, однак у сучасних умовах вони демонструють низку обмежень. До основних з них належать значні втрати матеріалу у вигляді стружки, висока енергоємність процесів, тривалі виробничі цикли, необхідність виготовлення спеціалізованої оснастки, а також обмежена технологічна гнучкість [5]. Особливо це проявляється при виробництві складних геометричних форм, внутрішніх каналів, інтегрованих конструкцій або малосерійних виробів, де економічна ефективність традиційних методів суттєво знижується.

У сучасних умовах розвитку ОПК ключовим фактором стає оперативність реагування на потреби військ, що передбачає можливість швидкого виготовлення або відновлення компонентів озброєння. У зв'язку з цим значного поширення набувають адитивні технології (3D-друк), які принципово змінюють підхід до організації виробничих процесів. Їхня сутність полягає у пошаровому формуванні виробу на основі цифрової 3D-моделі без використання традиційної механічної обробки як основного методу формоутворення.

Застосування адитивного виробництва дозволяє суттєво скоротити час від етапу проектування до виготовлення готового виробу, що особливо важливо для виробництва складових РАО. Крім того, технологія забезпечує зменшення кількості виробничих операцій, мінімізацію відходів матеріалів, підвищення коефіцієнта їх використання та можливість виготовлення деталей із внутрішніми складними структурами, які практично неможливо отримати традиційними методами.

Важливою перевагою адитивних технологій є також значне підвищення рівня гнучкості виробництва. Зміна конструкції виробу не потребує переналаштування складних технологічних ліній або виготовлення нової оснастки, оскільки коригування здійснюється на рівні цифрової моделі. Це створює передумови для швидкого впровадження конструктивних удосконалень та адаптації виробів до змінних вимог експлуатації.

У сучасній промисловості застосовується декілька основних типів адитивних технологій, які відрізняються принципом формування виробу та типом використовуваного матеріалу. До найбільш поширених належать FDM (Fused Deposition Modeling), що базується на пошаровому наплавленні термопластичних матеріалів; SLS (Selective Laser Sintering), який використовує селективне лазерне спікання порошкових матеріалів; SLM (Selective Laser Melting), що передбачає повне лазерне плавлення металевих порошків; DMLS (Direct Metal Laser Sintering), орієнтований на виготовлення металевих конструкцій високої міцності [6–9].

Для виробництва відповідальних елементів РАО пріоритетними є саме металеві адитивні технології, оскільки вони забезпечують необхідні показники міцності, жорсткості, зносостійкості та термостійкості. У якості матеріалів застосовуються високоякісні порошкові сплави на основі титану, нікелю, алюмінію та легованих конструкційних сталей, що дозволяє забезпечити відповідність виробів жорстким вимогам військового призначення.

Разом із тим впровадження адитивних технологій у виробництво складових РАО супроводжується низкою об'єктивних обмежень. Насамперед це висока вартість промислового обладнання та витратних матеріалів, що обмежує широкомасштабне застосування технології. Додатковими факторами є відносно низька продуктивність при серійному виробництві, необхідність висококваліфікованого персоналу для роботи з цифровими моделями та обладнанням, а також складність стандартизації та сертифікації виробів оборонного призначення.

Окрему увагу слід приділити проблемі забезпечення стабільності фізико-механічних властивостей виробів, отриманих методом адитивного виробництва. Через пошаровий характер формування можуть

виникати анізотропія матеріалу, мікропори, внутрішні напруження та інші дефекти структури, що особливо критично для елементів, які працюють в умовах високих навантажень, ударних впливів та циклічної втоми [6, 7].

Перспективним напрямом розвитку є інтеграція адитивних технологій у гібридні виробничі системи, які поєднують традиційні та цифрові методи виготовлення. Такий підхід дозволяє використовувати переваги обох технологічних напрямів: точність і міцність класичної обробки та гнучкість і швидкість 3D-друку.

Серед основних напрямів подальшого розвитку доцільно виділити автоматизацію виробничих процесів із мінімізацією людського фактора, впровадження концепції цифрових двійників (digital twin) для моделювання життєвого циклу виробів, інтеграцію CAD/CAM/CAE систем у єдиний цифровий контур виробництва, розвиток багатоматеріального адитивного друку, а також підвищення швидкості та точності обладнання нового покоління [4;5].

Реалізація зазначених заходів дозволить суттєво підвищити ефективність виробництва складових РАО, скоротити тривалість виробничого циклу, зменшити витрати ресурсів, підвищити технологічну автономність ОПК та забезпечити його адаптацію до сучасних умов високодинамічного розвитку воєнно-технічної сфери.

Висновки. Проведений комплексний аналіз показав, що сучасні умови розвитку ОПК та характер експлуатації РАО висувають підвищені вимоги до ефективності його виробництва. Зростання складності конструкцій виробів, скорочення термінів їх життєвого циклу та необхідність швидкого реагування на потреби військ обумовлюють обмеженість традиційних технологічних підходів, особливо у випадках виготовлення складних або малосерійних компонентів.

Встановлено, що впровадження адитивних технологій (3D-друку) є одним із найбільш перспективних напрямів підвищення ефективності виробництва складових РАО. Їх застосування дозволяє істотно скоротити час виготовлення деталей, зменшити витрати матеріалів, знизити обсяг технологічних відходів та забезпечити більш високу гнучкість виробничих процесів. Важливою перевагою є також можливість швидкого переходу від цифрової моделі до готового виробу без необхідності складної технологічної підготовки виробництва.

Аналіз основних адитивних технологій показав, що найбільш придатними для виготовлення відповідальних елементів є металеві методи (SLM, DMLS), які забезпечують необхідні показники міцності, термостійкості та надійності. Разом із тим їх широке впровадження стримується високою вартістю обладнання, потребою у кваліфікованих фахівцях та складністю забезпечення стабільної якості виробів у процесі серійного виробництва.

Підкреслено, що подальший розвиток у цій сфері пов'язаний із переходом до гібридних виробничих систем, які поєднують традиційні технології обробки з адитивним виробництвом, а також із впровадженням сучасних цифрових інструментів для проєктування, моделювання та контролю виробничих процесів, що дозволяють більш точно прогнозувати поведінку виробів і оптимізувати їх конструкцію ще на етапі розробки.

Таким чином, використання адитивних технологій у виробництві складових РАО є обґрунтованим і перспективним напрямом, який дозволяє підвищити оперативність, ефективність та технологічну гнучкість оборонного виробництва в сучасних умовах.

Список використаних джерел

1. Про оборону України : Закон України від 06 груд. 1991 р. № 1932-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 9. – Ст. 106.
2. Про особливості реформування підприємств оборонно-промислового комплексу державної форми власності : Закон України від 13 лип. 2021 р. № 1630-IX // Відомості Верховної Ради України. – 2021. – № 44. – Ст. 355.
3. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 18 червня 2021 року «Про Стратегію розвитку оборонно-промислового комплексу України» : Указ Президента України від 20 серп. 2021 р. № 372/2021. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/3722021-39733>
4. NATO Standard AJP-4. Allied Joint Doctrine for Logistics. Edition B, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2018. – 112 p.
5. Основи військової логістики : навчальний посібник / О. В. Гуляк, А. А. Горбачов, І. О. Свідерок, О. П. Пономаренко. – Одеса : Військова академія, 2019. – 304 с.

6. Адитивні технології у машинобудуванні та оборонній промисловості : монографія / за ред. В. М. Ковальчука. – К. : Техніка, 2021. – 248 с.
7. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2nd ed. – New York : Springer, 2015. – 498 p.
8. ISO/ASTM 52900:2021(E). *Additive manufacturing – General principles – Terminology* / Developed by ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. – West Conshohocken : ASTM International / ISO, 2021. – 25 p.
9. ISO/ASTM 52900:2021(E). *Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary*. – 2nd ed. – Geneva : ISO ; West Conshohocken : ASTM International, 2021. – 25 p.
- Науковий керівник:** Головань В.Г., канд. техн. наук, проф., Військова академія (м. Одеса).
- Рецензент:** Сергєєв В.В., канд. техн. наук, доц., Військова академія (м. Одеса).

УДК 623.746

ЩЕРБИНА А.В. – магістрант

РУСІН Р.В. – старший викладач

Військова академія (м. Одеса)

РОЗРОБКА МЕТОДИК ЗАХИСТУ ТА ПРОТИДІЇ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ СУПРОТИВНИКА

У статті розглянуто питання протидії безпілотним літальним апаратам супротивника в сучасних умовах ведення бойових дій. Проаналізовано основні напрямки застосування БПЛА, зокрема ведення розвідки, коригування вогню та нанесення ударів по цілях [1]. Визначено основні загрози, які створюють безпілотні системи для військових підрозділів і об'єктів. Особливу увагу приділено особливостям виявлення БПЛА, що ускладнюються їх малими розмірами, низькою помітністю та можливістю дії на малих висотах. Розглянуто основні способи протидії, включаючи застосування засобів радіоелектронної боротьби, протиповітряної оборони та організаційних заходів. У роботі узагальнено підходи до зменшення ефективності застосування БПЛА противником та підвищення рівня захищеності підрозділів. Отримані результати можуть бути використані при організації заходів протидії безпілотним системам у сучасних умовах.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, БПЛА, протидія, радіоелектронна боротьба, виявлення, захист.

Постановка завдання. Незважаючи на наявність різних засобів протидії безпілотним літальним апаратам, проблема їх ефективного застосування залишається актуальною. Основна складність полягає не лише у наявності засобів ураження або придушення, а й у своєчасному виявленні БПЛА, правильній ідентифікації загрози та виборі найбільш доцільного способу впливу.

У практичних умовах застосування окремого засобу протидії не завжди забезпечує потрібний результат. Наприклад, засоби радіоелектронної боротьби можуть бути недостатньо ефективними без попереднього виявлення каналів управління та постійного моніторингу радіоелектронної обстановки. Тому важливим є не тільки придушення БПЛА, а й організація системи спостереження, виявлення, класифікації та прийняття рішення.

У зв'язку з цим завданням статті є обґрунтування узагальненої методики протидії БПЛА, яка поєднує етапи виявлення, ідентифікації, вибору способу впливу, реалізації заходів протидії та подальшого контролю їх ефективності.

Актуальність проблеми. Актуальність проблеми зумовлена стрімким розвитком та масовим застосуванням безпілотних літальних апаратів у сучасних збройних конфліктах. БПЛА стали невід'ємною складовою ведення бойових дій, що значно підвищує ефективність розвідки, коригування вогню та ураження цілей. Їх використання дозволяє противнику отримувати оперативну інформацію про обстановку на полі бою та швидко реагувати на її зміну.

У сучасних умовах безпілотні системи створюють серйозну загрозу для особового складу, військової техніки та об'єктів інфраструктури. Особливо це стосується малорозмірних БПЛА, які важко виявити та знищити традиційними засобами. Вони можуть діяти приховано, на малих висотах, а також застосовуватись раптово, що значно ускладнює організацію ефективної протидії.

Додаткову складність створює те, що противник вдосконалює тактику застосування безпілотних систем, поєднуючи їх з іншими засобами ураження. Це призводить до зростання навантаження на підрозділи та потребує швидкого прийняття рішень в умовах обмеженого часу.

З огляду на це, підвищення ефективності протидії безпілотним літальним апаратам є важливим завданням для забезпечення захищеності підрозділів, збереження їх боєздатності та зниження втрат у сучасних умовах ведення бойових дій.

Метою статті є підвищення ефективності протидії безпілотним літальним апаратам противника шляхом аналізу існуючих методів та визначення найбільш доцільних підходів до їх застосування в сучасних умовах.

Виклад основного матеріалу. У сучасних умовах ведення бойових дій безпілотні літальні апарати відіграють важливу роль та активно застосовуються противником для виконання різних завдань [2]. До основних напрямків їх використання відносяться ведення повітряної розвідки, коригування вогню артилерії, нанесення ударів по живій силі та техніці, а також здійснення дистанційного мінування та ретрансляції сигналу.

Застосування БПЛА дозволяє противнику отримувати оперативну інформацію про обстановку на полі бою та швидко реагувати на її зміни.

Безпілотні системи можуть мати різну конструкцію та призначення [4]. Найбільш поширеними є мультикоптери, які відзначаються мобільністю та можливістю застосування на малих висотах, а також безпілотні апарати літакового типу, що мають більшу дальність польоту та тривалість перебування у повітрі. Кожен тип має свої переваги та недоліки, що визначає особливості їх застосування. В сучасних умовах значного поширення набули також ударні безпілотні апарати типу FPV-дронів, які використовуються для ураження окремих цілей.

Їх застосування характеризується високою точністю та відносно низькою вартістю, що дозволяє противнику застосовувати їх масово. Це значно ускладнює організацію протидії, оскільки навіть незначна затримка у виявленні може призвести до ураження.

Крім того, використання FPV-дронів дозволяє противнику діяти приховано та здійснювати точкові удари по найбільш уразливих елементах техніки та позицій.

Особливу небезпеку становлять малорозмірні безпілотники, які завдяки своїм малим габаритам, низькій тепловій та радіолокаційній помітності можуть залишатися непоміченими до моменту виконання завдання. Вони часто використовуються для коригування вогню або скидання боєприпасів, що створює додаткову загрозу для підрозділів. Крім того, такі БПЛА можуть застосовуватись групами, що ще більше ускладнює їх нейтралізацію.

Враховуючи зазначене, важливим завданням є своєчасне виявлення безпілотних літальних апаратів. Виявлення може здійснюватися як візуально особовим складом, так і за допомогою технічних засобів спостереження. Проте ефективність виявлення значною мірою залежить від умов місцевості, часу доби та характеристик самого БПЛА. У складних погодних умовах або вночі цей процес значно ускладнюється.

Для ефективної протидії безпілотним літальним апаратам застосовується комплекс заходів, який включає їх виявлення, придушення та знищення. Найбільш поширеним способом є використання засобів радіоелектронної боротьби [6], які дозволяють впливати на канали управління та передачі сигналу безпілотника. У результаті цього БПЛА може втратити керування або не виконати поставлене завдання. Слід зазначити, що засоби радіоелектронної боротьби не завжди забезпечують гарантоване придушення безпілотних апаратів, оскільки сучасні БПЛА можуть використовувати альтернативні канали управління або працювати в автономному режимі. У таких випадках виникає необхідність застосування додаткових засобів впливу та комбінування різних способів протидії.

Разом з тим, ефективність засобів радіоелектронної боротьби залежить від технічних характеристик безпілотного апарата, умов застосування та наявності відповідних ресурсів. У деяких випадках противник використовує захищені або альтернативні канали зв'язку, що ускладнює їх придушення. Це вимагає постійного вдосконалення засобів боротьби та адаптації до нових умов.

Крім засобів радіоелектронної боротьби, для протидії БПЛА застосовуються засоби протиповітряної оборони, а також стрілецька зброя. Особливо це актуально для боротьби з малорозмірними безпілотниками, які діють на малих висотах і можуть бути уражені вогнем з землі. Однак ефективність таких засобів залежить від підготовки особового складу та умов застосування.

Важливе значення мають організаційні заходи, зокрема маскуванню позицій, використання укриттів, обмеження демаскуючих ознак та правильне розміщення техніки і особового складу. Це дозволяє зменшити ймовірність виявлення підрозділу та підвищити його захищеність. Дотримання цих заходів значно знижує ефективність застосування БПЛА противником.

Таким чином, ефективна протидія безпілотним літальним апаратам можлива лише за умови комплексного застосування різних засобів і заходів, що доповнюють один одного та враховують особливості сучасних бойових дій.

Додатково слід враховувати, що ефективність протидії безпілотним літальним апаратам значною мірою залежить від рівня підготовки особового складу. Недостатня обізнаність щодо ознак виявлення БПЛА, а також відсутність практичних навичок реагування може призводити до запізненого виявлення загрози та неправильних дій під час її нейтралізації.

Важливим елементом протидії є організація постійного спостереження за повітряним простором, особливо в районах можливого застосування безпілотників. Це включає визначення відповідальних осіб, чергування спостерігачів та своєчасну передачу інформації про виявлені цілі. Такий підхід дозволяє підвищити швидкість реагування та зменшити ймовірність ураження.

Окрему увагу необхідно приділяти аналізу дій противника та вивченню типових сценаріїв застосування БПЛА. Це дає можливість прогнозувати можливі загрози та заздалегідь вживати заходів для їх нейтралізації. Наприклад, використання безпілотників для коригування вогню часто супроводжується повторюваними маршрутами польоту, що може бути використано для їх виявлення.

Для підвищення ефективності протидії БПЛА доцільно застосовувати не окремі заходи, а послідовну методику дій. У загальному вигляді вона може включати такі етапи: виявлення, ідентифікацію, прийняття рішення, вибір способу впливу, реалізацію заходів протидії та контроль результату.

На першому етапі здійснюється виявлення безпілотного літального апарата. Воно може проводитись візуальним спостереженням, акустичним способом, а також із використанням технічних і радіотехнічних засобів. Важливо, щоб спостереження за повітряним простором здійснювалося постійно, оскільки несвоєчасне виявлення БПЛА значно скорочує час на реагування.

Наступним етапом є ідентифікація виявленої цілі. На цьому етапі визначається тип БПЛА, можливий характер його завдання, напрямок руху, рівень загрози та ймовірний спосіб управління. Саме від правильної ідентифікації залежить вибір подальших дій.

Після цього приймається рішення щодо способу впливу. Якщо БПЛА використовує радіоканал управління або передачі даних, доцільним може бути застосування засобів радіоелектронної боротьби. Якщо апарат діє автономно або придушення не дає результату, необхідно розглядати інші способи протидії, зокрема застосування вогневих засобів або додаткових організаційних заходів.

Окрему увагу слід приділити тому, що застосування РЕБ без попередньої радіорозвідки та моніторингу може бути малоефективним. Перед придушенням необхідно виявити наявність сигналу, визначити його характер та оцінити можливість впливу. Тому радіоелектронна боротьба повинна розглядатися не як окремий засіб, а як частина загальної системи протидії.

На основі аналізу існуючих підходів авторами запропоновано узагальнену методику протидії БПЛА, а саме: виявлення → ідентифікація → прийняття рішення → вплив → контроль результату. Такий підхід дозволяє не лише реагувати на появу БПЛА, а й більш обґрунтовано обирати спосіб протидії залежно від конкретної обстановки.

Крім того, доцільним є поєднання різних способів протидії, зокрема застосування засобів радіоелектронної боротьби разом із вогневими засобами та заходами маскуванню. Такий комплексний підхід дозволяє підвищити ефективність захисту [7] та знизити ризик ураження особового складу і техніки.

Таким чином, підвищення ефективності протидії безпілотним літальним апаратам можливе лише за умови системного підходу, який включає технічні, організаційні та тактичні заходи.

Слід також враховувати, що розвиток безпілотних літальних апаратів відбувається дуже швидкими темпами [3], що постійно ускладнює організацію ефективної протидії. З'являються нові типи БПЛА з покращеними технічними характеристиками, збільшеною дальністю польоту та стійкістю до впливу засобів радіоелектронної боротьби.

У сучасних умовах противник активно застосовує безпілотники не лише як окремі засоби, а як елемент комплексних дій, поєднуючи їх з артилерією, ракетними ударами та іншими засобами ураження. Це значно підвищує загальну ефективність бойових дій та створює додаткове навантаження на систему протидії.

Важливим напрямком є також використання сучасних технологій для підвищення ефективності протидії, зокрема застосування автоматизованих систем спостереження, обробки інформації та прийняття рішень. Це дозволяє скоротити час реагування на загрозу та підвищити точність дій підрозділів.

Разом з тим, необхідно враховувати обмеженість ресурсів, що вимагає раціонального використання наявних засобів та вибору найбільш доцільних способів протидії залежно від конкретної обстановки. Саме тому важливим є поєднання технічних можливостей із правильною організацією дій особового складу.

У підсумку, ефективна протидія безпілотним літальним апаратам потребує постійного вдосконалення підходів, адаптації до змін обстановки та використання певних рішень.

Крім того, важливим аспектом є постійне вдосконалення тактики застосування засобів протидії з урахуванням змін у способах використання БПЛА противником. Аналіз досвіду бойових дій дозволяє виявляти слабкі місця у застосуванні безпілотних систем та використовувати їх для підвищення ефективності захисту.

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що безпілотні літальні апарати є одним із ключових елементів сучасних бойових дій та активно застосовуються противником для виконання розвідувальних, ударних та допоміжних завдань. Їх використання суттєво підвищує ефективність бойових дій та створює значні загрози для особового складу, військової техніки та об'єктів.

Визначено, що особливу небезпеку становлять малорозмірні безпілотні апарати, які характеризуються низькою помітністю, високою маневреністю та можливістю дії на малих висотах, що значно ускладнює їх своєчасне виявлення та ураження. У зв'язку з цим традиційні засоби протидії не завжди забезпечують необхідний рівень ефективності.

У ході роботи встановлено, що ефективна протидія БПЛА можлива лише за умови комплексного застосування різних засобів і заходів, зокрема засобів радіоелектронної боротьби, протиповітряної оборони, а також організаційних рішень, спрямованих на маскування та зниження демаскуючих ознак підрозділів.

Доведено, що важливим фактором підвищення ефективності протидії є рівень підготовки особового складу, здатність своєчасно виявляти загрози та приймати обґрунтовані рішення в умовах обмеженого часу. Недостатній рівень підготовки може суттєво знизити ефективність навіть сучасних технічних засобів.

Крім того, встановлено, що постійний розвиток безпілотних технологій потребує адаптації існуючих підходів до протидії та впровадження нових рішень, що враховують зміни у способах застосування БПЛА противником.

Таким чином, підвищення ефективності протидії безпілотним літальним апаратам потребує системного підходу, поєднання технічних можливостей із правильною організацією дій, а також постійного вдосконалення методів і засобів захисту.

Список використаних джерел

1. *Обнаружение и противодействие БПЛА : метод. посібник. – 1-ша ред. – [Б. м. : б. в.], 2025 (Серпень). – 124 с.*
2. *Довідник екіпажу безпілотного комплексу (системи) / Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України. – К. : ЦНДІ ЗС України, 2023. – 148 с.*
3. *Доктрина «Безпілотні системи» / Збройні Сили України. – К. : [б. в.], 2026. – 52 с.*
4. *Класифікація безпілотних систем військового призначення : ВП 4-00(46).32 / Збройні Сили України. – К. : [б. в.], 2025. – 44 с.*
5. *Методичні рекомендації «Боротьба з безпілотними літальними апаратами» / Збройні Сили України. – К. : [б. в.], 2024. – 68 с.*
6. *Каталог безпілотних літальних апаратів «Небесний русоріз» (2024–2025). – [Б. м. : б. в.], 2025. – 186 с.*
7. *NATO Standard STANAG 4671. Unmanned Aerial Vehicle Systems Airworthiness Requirements (USAR). Edition B, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2019. – 294 p.*
8. *Unmanned Systems Roadmap 2018–2042 / U.S. Department of Defense. – Washington, D.C. : Defense Technical Information Center, 2018. – 132 p.*

9. *Unmanned Aerial Systems: Threats and Countermeasures to Critical Infrastructure* / Budgett J., Menthe L., Osoba O. A. [et al.] ; RAND Corporation. – Santa Monica, CA : RAND, 2020. – 142 p. – (Research Report ; RR-A242-1).

10. *Drone Warfare and Countermeasures in Modern Conflicts* / Center for Strategic and International Studies ; ed. by S. Jones. – Washington, D.C. : CSIS, 2024. – 76 p. – (CSIS Defense Outlook Series).

Науковий керівник: Головань А. канд.техн.наук, проф. Військова академія (м.Одеса)

Рецензент: Кравчук О. канд.техн.наук, с.н.с. Військова академія (м.Одеса)

УДК 623.462.1:623.451.08

Яценко О. О. – магістрант

Петрушенко М. М. – д-р. техн. наук, проф.

Військова академія (м. Одеса)

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ТАКТИЧНО-ОПЕРАТИВНИХ БАЛІСТИЧНИХ РАКЕТ З ВІДОКРЕМЛЮВАНОЮ БОЙОВОЮ

У статті розглянуто основні вимоги до сучасних тактично-оперативних балістичних ракет з відокремлюваною у польоті бойовою частиною. Проаналізовано вплив сучасних засобів протиракетної оборони, радіоелектронної боротьби, розвідки та високоточної зброї на ефективність застосування ракетних комплексів. Визначено ключові напрями підвищення точності, живучості, мобільності та здатності подолання протиракетної оборони. Обґрунтовано необхідність комплексного підходу до вдосконалення конструкції ракет, систем управління та бойового застосування.

Ключові слова: балістична ракета, тактичний рівень, бойова частина, наведення, точність, ПРО, живучість.

Постановка проблеми. Досвід сучасних бойових дій свідчить про значне зростання ролі високоточної зброї, зокрема тактично-оперативних балістичних ракет (ТОБР), у досягненні оперативних і стратегічних цілей. Такі ракети здатні уражати важливі об'єкти противника на значній глибині, забезпечуючи порушення систем управління, логістики та оборони [1; 4].

Разом із тим, стрімкий розвиток засобів протиповітряної та протиракетної оборони суттєво знижує ефективність традиційних балістичних ракет. Сучасні системи ПРО здатні виявляти, супроводжувати та перехоплювати балістичні цілі на різних ділянках траєкторії. Це вимагає перегляду підходів до проектування ракет та формування нових вимог до їх характеристик [4; 6].

Особливої актуальності набуває застосування ракет з відокремлюваною бойовою частиною, яка дозволяє ускладнити процес перехоплення та підвищити точність ураження цілей.

Актуальність проблеми дослідження зумовлена сукупністю факторів, що визначають сучасний характер збройної боротьби та тенденції розвитку озброєння і військової техніки.

По-перше, спостерігається суттєве зростання ефективності систем протиракетної оборони, які здатні виявляти, супроводжувати та знищувати балістичні цілі на різних ділянках траєкторії. Це значно ускладнює застосування традиційних ракетних засобів ураження та вимагає пошуку нових технічних рішень.

По-друге, відбувається інтенсивний розвиток засобів розвідки та цілевказання, включаючи космічні, безпілотні та радіоелектронні системи. Це забезпечує противнику можливість оперативного виявлення пускових установок і визначення параметрів польоту ракет, що підвищує ймовірність їх перехоплення або знищення на стартових позиціях.

По-третє, зростає необхідність забезпечення високої точності ураження цілей, що обумовлено переходом до концепції високоточної зброї. Ураження точкових об'єктів потребує мінімізації кругового ймовірного відхилення та впровадження сучасних систем наведення.

По-четверте, підвищуються вимоги до живучості ракетних комплексів, що повинні функціонувати в умовах постійного вогневого впливу, інформаційного протиборства та радіоелектронного придушення. Це передбачає застосування мобільних пускових установок, засобів маскування та автоматизації управління.

По-п'яте, суттєво змінюється характер сучасних бойових дій, які набувають ознак мережево-центричних операцій із високим рівнем інтеграції розвідувальних, ударних та інформаційних систем.

У таких умовах ефективність ракетного озброєння визначається не лише його технічними характеристиками, а й здатністю діяти у складі єдиної інформаційної системи.

Таким чином, традиційні підходи до створення тактично-оперативних балістичних ракет вже не забезпечують необхідного рівня ефективності. Це зумовлює необхідність їх комплексного вдосконалення, зокрема шляхом впровадження відокремлюваних бойових частин, підвищення маневреності, точності та здатності до подолання сучасних систем протиракетної оборони.

Метою статті є комплексне обґрунтування основних вимог до сучасних тактично-оперативних балістичних ракет з відокремлюваною бойовою частиною з урахуванням умов ведення сучасних бойових дій, розвитку засобів протиракетної оборони та зростання ролі високоточної зброї.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких взаємопов'язаних наукових і прикладних завдань: здійснити аналіз сучасних тенденцій розвитку ракетного озброєння та визначити їх вплив на зміну вимог до тактично-оперативних балістичних ракет; дослідити основні загрози, що виникають для балістичних ракет у процесі їх застосування, зокрема з боку систем протиракетної оборони, засобів розвідки та радіоелектронної боротьби; визначити особливості функціонування ракет з відокремлюваною бойовою частиною та оцінити їх переваги у порівнянні з традиційними рішеннями; сформулювати ключові технічні та тактико-технічні вимоги до конструкції, систем управління і бойового застосування таких ракет; обґрунтувати основні напрями подальшого розвитку тактично-оперативних балістичних ракет з урахуванням перспективних технологій та змін характеру збройної боротьби. Таким чином, реалізація зазначених завдань дозволяє сформулювати науково обґрунтовану систему вимог до ракетного озброєння, що відповідає сучасним викликам і забезпечує підвищення ефективності його бойового застосування.

Виклад основного матеріалу. Сучасні тактично-оперативні балістичні ракети є складними технічними системами, що інтегрують досягнення у сфері ракетобудування, електроніки, навігації та інформаційних технологій. Ефективність їх застосування визначається сукупністю характеристик, серед яких ключовими є точність, живучість, мобільність та здатність подолання ПРО [2; 4].

Однією з визначальних характеристик сучасних тактично-оперативних балістичних ракет є висока точність ураження цілей, яка безпосередньо впливає на ефективність їх бойового застосування. Кількісною мірою точності виступає величина кругового ймовірного відхилення (КЙВ), що характеризує радіус кола, в межах якого з певною ймовірністю (як правило, 0,5) падає бойова частина ракети відносно заданої точки прицілювання.

Забезпечення високої точності досягається шляхом комплексного використання сучасних систем наведення та управління, зокрема: застосування високоточних інерціальних систем наведення, які забезпечують автономність функціонування ракети та незалежність від зовнішніх джерел інформації; використання супутникових навігаційних систем для корекції траєкторії польоту та зменшення накопичення похибок інерціальної системи; впровадження систем самонаведення на кінцевій ділянці траєкторії, що дозволяє здійснювати уточнення координат цілі безпосередньо перед ураженням; використання сучасних алгоритмів обробки інформації, фільтрації сигналів та прогнозування траєкторії, які підвищують стійкість системи управління до перешкод і похибок вимірювань.

Крім того, важливу роль відіграє підвищення точності роботи датчиків, стабільність функціонування бортових систем, а також удосконалення математичних моделей руху ракети.

Підвищення точності ураження дозволяє істотно зменшити витрати боєприпасів, скоротити час виконання бойового завдання та забезпечити ефективне ураження навіть малорозмірних або захищених цілей. У сучасних умовах це є одним із ключових факторів підвищення бойової ефективності ракетних комплексів

Відокремлювана бойова частина (ВБЧ) є одним із ключових елементів сучасної тактично-оперативної балістичної ракети, що значною мірою визначає її бойову ефективність та здатність долати системи протиракетної оборони. Використання ВБЧ дозволяє розділити траєкторію руху ракети-носія та бойового елемента, що суттєво ускладнює процес виявлення, супроводу та перехоплення цілі противником.

До основних вимог, які висуваються до відокремлюваної бойової частини, належать: можливість відокремлення на заданій ділянці траєкторії, що забезпечує оптимальні умови для подальшого руху бойової частини та підвищує ефективність її застосування; здатність до маневрування, особливо на кінцевій ділянці польоту, з метою ускладнення прогнозування траєкторії та підвищення ймовірності подолання засобів ПРО; зниження помітності для засобів протиракетної оборони, що досягається за рахунок зменшення ефективної площі розсіювання, використання

спеціальних матеріалів та форм; висока точність наведення, яка забезпечується інтеграцією з системами управління ракети та застосуванням автономних або комбінованих систем наведення; стійкість до впливу зовнішніх факторів, зокрема високих температур при вході в атмосферу, механічних навантажень, а також дії радіоелектронних перешкод.

Крім того, важливим аспектом є забезпечення надійності функціонування механізмів відокремлення та стабілізації бойової частини після відділення від ракети-носія.

Застосування відокремлюваних бойових частин дозволяє суттєво підвищити бойові можливості ракетного озброєння, оскільки зменшується час реакції систем ПРО, ускладнюється процес супроводу цілі та зростає ймовірність досягнення заданої точки ураження. У сукупності це забезпечує підвищення ефективності застосування тактично-оперативних балістичних ракет у сучасних умовах ведення бойових дій.

Процес подолання протиракетної оборони базується на комплексному впливі на інформаційні та вогневі контури систем перехоплення з метою критичного зниження ймовірності знищення бойового блоку. Науково-технічна реалізація цього завдання передбачає насамперед використання стохастичного та детермінованого маневрування на різних ділянках траєкторії, що спричиняє зростання динамічної похибки систем наведення протиракет через неможливість точної екстраполяції вектора швидкості цілі. Одночасно з цим застосовуються складні комплекси засобів подолання, що функціонують за принципом імітації сигнатур бойового заряду. Це досягається через розгортання масивів хибних цілей з ідентичною ефективною площею розсіювання та тепловим випромінюванням, що створює стан інформаційної надмірності для радіолокаційних засобів виявлення. Ефективність таких заходів підсилюється використанням квазібалістичних та настільних траєкторій, які зміщують радіогоризонт і скорочують час на прийняття рішення автоматизованими системами управління обороною. Важливим аспектом є також інтеграція технологій зниження помітності, що включає застосування композитних радіопоглинальних матеріалів та методів екранування теплового сліду для мінімізації ймовірності захоплення цілі інфрачервоними головками самонаведення. У сукупності ці чинники трансформують процес перехоплення у задачу з високим рівнем математичної невизначеності, де енергетичні та обчислювальні витрати сторони, що обороняється, прогресивно зростають відносно засобів нападу.

Мобільність сучасних ракетних комплексів розглядається як інтегральний показник тактичної гнучкості та живучості, що досягається шляхом мінімізації часових параметрів перебування об'єкта у стаціонарному стані та максимізації оперативності його маневру. У науковому дискурсі ці характеристики розкриваються через наступні аспекти:

Використання автономних самохідних пускових установок на високопрохідних шасі дозволяє розосереджувати засоби ураження на значній площі, нівелюючи можливість їх одночасного знищення превентивним ударом. Висока питома потужність та інтеграція сучасних навігаційних систем забезпечують можливість розгортання комплексу на непередбачених позиціях з автоматичною прив'язкою до місцевості. Мінімізація часового інтервалу між отриманням цілевказівки та безпосереднім стартом реалізується через високий ступінь автоматизації передпускових операцій, що критично важливо для випередження циклу виявлення та реакції засобів розвідки противника.

Здатність до негайного залишення стартової позиції після пуску – реалізація принципу «вистрілив – змінив позицію» – є основним методом протидії контрбатарейній боротьбі, оскільки дозволяє вийти із зони ймовірного вогневого удару у відповідь до моменту прильоту засобів ураження. Прихованість стратегічного та оперативного переміщення забезпечується комплексом заходів радіоелектронного маскування, використанням інфрачервоного екранування рушійних установок та дотриманням суворої дисципліни випромінювання. У сукупності ці чинники створюють умови для функціонування комплексів у режимі високої живучості, де мобільність виступає як пасивний, але високоефективний засіб захисту від високоточної зброї та інтегрованих систем розвідки противника.

Живучість ракетного комплексу розглядається як фундаментальна властивість системи зберігати функціональну цілісність та здатність до виконання бойових завдань в умовах активного вогневого, радіоелектронного та інформаційного впливу з боку противника. Науково-технічна реалізація цього принципу базується на стратегії мінімізації ймовірності ураження через управління фізичними полями об'єкта та оптимізацію його архітектурної побудови.

Розосередження елементів комплексу на місцевості дозволяє трансформувати критичну ціль у сукупність малорозмірних децентралізованих об'єктів, що змушує противника до непропорційного збільшення витрат боєприпасів та деконцентрації зусиль розвідки. Ефективність цього заходу

підсилюється суцільним маскуванням, спрямованим на викривлення та нівелювання візуальних, теплових і радіолокаційних ознак присутності техніки, що інтегрує об'єкт у фонову сигнатуру навколишнього середовища.

Використання мережі хибних позицій та імітаторів з ідентичними фізичними параметрами випромінювання створює для противника ситуацію цільової невизначеності, спрямовуючи його ресурси на враження фіктивних цілей. Вирішальним чинником у забезпеченні живучості стає високий рівень автоматизації управління, що дозволяє скоротити цикл «виявлення – прийняття рішення – маневр» до значень, які менші за час реакції засобів ураження противника. У результаті поєднання цих методів система набуває властивостей адаптивної стійкості, де функціонування забезпечується не лише за рахунок фізичного захисту, а через активне уникнення ідентифікації та швидку регенерацію боєздатності після впливу.

Інтеграція сучасних ракетних комплексів у єдиний інформаційно-комунікаційний простір базується на принципах мережецентричного управління, що трансформує окрему одиницю озброєння в активний вузол глобальної бойової системи. Науково-технічна реалізація цього підходу передбачає створення гетерогенних мереж обміну даними, які забезпечують миттєву трансляцію цілевказання від віддалених сенсорів – супутників, безпілотних літальних апаратів чи засобів радіотехнічної розвідки – безпосередньо до системи керування вогнем комплексу. Це дозволяє реалізувати концепцію сенсорно-ударних ланцюгів із мінімальною латентністю, де ідентифікація цілі та її вогневе ураження відбуваються в режимі реального часу [5].

Автоматизація процесів підготовки до пуску в такому середовищі досягається шляхом інтелектуальної обробки великих масивів даних та автоматичного розрахунку польотних завдань, що нівелює людський чинник і мінімізує часовий інтервал передстартових операцій. Системна інтеграція дозволяє алгоритмізувати управління розподілом цілей, оптимізуючи використання боєзапасу та координуючи групові удари для подолання ешелонованої оборони противника. У результаті загальна ефективність управління зростає завдяки високій ситуаційній обізнаності та здатності системи до адаптивного функціонування в умовах динамічної зміни бойової обстановки, перетворюючи розрізнені вогневі засоби на єдиний високотехнологічний організм.

Висновки. Резюмуючи вищевикладене, слід констатувати, що еволюція тактико-оперативних балістичних комплексів спрямована на досягнення синергетичного ефекту через поєднання прецизійної точності, високого ступеня автономності та адаптивної стійкості до засобів протидії. Науково обґрунтоване впровадження відокремлюваних бойових частин виступає критичним чинником інтенсифікації бойових можливостей, оскільки дозволяє не лише диверсифікувати типи ураження, а й суттєво ускладнити алгоритми селекції цілей для систем протиракетної оборони за рахунок фрагментації сигнатури об'єкта на термінальній ділянці траєкторії.

Такий системний підхід до модернізації ракетного озброєння забезпечує трансформацію класичного засобу вогневого впливу в інструмент стратегічного домінування. Інтеграція технологій маневрування, мінімізації помітності та цифрової автоматизації створює умови для ефективного функціонування в умовах високодинамічного багатосферного конфлікту, де перевага визначається швидкістю циклу передачі даних від сенсора до виконавця та гарантованою імовірністю подолання ешелонованих систем захисту противника.

Список використаних джерел

1. Бойовий статут Сухопутних військ Збройних Сил України. Ч. II. Батальйон, рота / Командування Сухопутних військ ЗС України. – К. : [б. в.], 2021. – 284 с.
 2. Настанова з ракетно-артилерійського озброєння у Збройних Силах України / Міністерство оборони України. – К. : [б. в.], 2018. – 320 с.
 3. Основи військової логістики. Прогнозні моделі забезпечення / О. В. Гуляк, Б. О. Дем'янчук, О. М. Маслій, Д. В. Лисовенко, В. А. Маханьков, В. Ф. Обертас. – Одеса: Військова академія, 2019. – 262 с.
 4. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ : збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Львів: Вид-во ACB, 2012. – 378 с.
 5. NATO Standard AJP-4. Allied Joint Doctrine for Logistics. Edition C, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2023. – 142 p.
 6. NATO Standard AJP-3.14. Allied Joint Doctrine for Force Protection. Edition A, Version 1. – Brussels : NATO Standardization Office, 2020. – 98 p.
- Науковий керівник:** Петрушенко М.М., д-р. техн. наук, проф., Військова академія (м. Одеса).
Рецензент: Кравчук О.І., канд.техн.наук, с.н.с., Військова академія (м. Одеса).

УДК 355.691

Волченко Д.Д. – магістрант

Березенський Р.В. – канд. техн. наук, доц.

Військова академія (м. Одеса), Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОБЛІКУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА МАЙНА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті розглянуто актуальні питання удосконалення системи обліку та контролю руху автомобільної техніки й автомобільного майна у логістичному забезпеченні Збройних Сил України в умовах воєнного стану. Традиційна система ведення обліку, яка базується переважно на паперових носіях інформації та використанні неінтегрованих електронних таблиць, не забезпечує необхідного рівня оперативності, достовірності, прозорості та ефективності управління матеріальними ресурсами. Особливу увагу приділено проблемам надмірної бюрократизації процесів, впливу людського фактора, відсутності єдиної інформаційної бази та обмеженим можливостям аналітичного опрацювання даних. Метою дослідження є обґрунтування необхідності впровадження програмного забезпечення та розробка удосконаленої методики обліку і контролю руху автомобільної техніки та майна в системі логістичного забезпечення. У роботі запропоновано удосконалену методику, що базується на принципах системності, централізації, автоматизації, прозорості та персоналізованої відповідальності. Методика передбачає створення єдиного інформаційного середовища для обліку автомобільної техніки, автомобільного майна, складських ресурсів і ремонтних підрозділів із можливістю оперативного обміну даними в режимі реального часу. Обґрунтовано доцільність використання сучасних технологій ідентифікації об'єктів, зокрема QR-кодів, штрих-кодування та RFID-міток. Запропоновано механізми автоматизованого формування звітності, контролю технічного стану техніки, обліку витрат запасних частин та моніторингу залишків матеріальних засобів. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості підвищення ефективності логістичного забезпечення, скорочення часових витрат на ведення документації, покращення контролю за рухом матеріальних ресурсів та підвищення рівня прозорості управлінських процесів.

Ключові слова: облік, контроль, автомобільна техніка, автомобільне майно, спеціальне програмне забезпечення, процес, методика, логістичне забезпечення.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток збройних сил провідних держав світу характеризується активним впровадженням цифрових технологій у сферу управління військами, логістичного забезпечення та обліку матеріальних ресурсів. В умовах зростання інтенсивності бойових дій, високої мобільності підрозділів і необхідності оперативного прийняття управлінських рішень особливого значення набуває ефективність функціонування системи логістичного забезпечення. Саме логістика є одним із ключових елементів забезпечення боєздатності військ, оскільки від своєчасності постачання, обліку та контролю матеріальних ресурсів безпосередньо залежить здатність військових формувань виконувати поставлені завдання.

Досвід ведення сучасних бойових дій та локальних збройних конфліктів свідчить про те, що значна частина успіху бойових дій визначається не лише рівнем підготовки особового складу та наявністю озброєння, а й ефективністю організації системи забезпечення та відновлення техніки. Особливо важливу роль у цьому процесі відіграє автомобільна техніка, яка забезпечує мобільність військ, перевезення особового складу, боєприпасів, паливно-мастильних матеріалів, евакуацію пошкодженої техніки та виконання інших завдань логістичного характеру.

В умовах воєнного стану та ведення активних бойових дій на території України значно зросли обсяги використання автомобільної техніки та автомобільного майна у системі логістичного забезпечення Збройних Сил України. Одночасно збільшилася кількість зразків техніки різних типів і країн-виробників, що надходять у межах міжнародної військової допомоги. Це суттєво ускладнює процеси обліку, контролю технічного стану, організації ремонту та забезпечення запасними частинами.

Разом із тим існуюча система обліку та контролю руху автомобільної техніки і майна в багатьох випадках продовжує базуватися на паперових носіях інформації або використанні окремих електронних таблиць, що не інтегровані в єдину інформаційну систему. Такий підхід супроводжується значними витратами часу на ведення документації, дублюванням інформації, підвищеним впливом людського фактора та обмеженими можливостями оперативного аналізу даних. Відсутність

централізованої системи обліку ускладнює взаємодію між підрозділами, складами та ремонтними органами, що негативно впливає на швидкість прийняття управлінських рішень і загальну ефективність логістичного забезпечення.

За таких умов виникає об'єктивна необхідність удосконалення підходів до організації обліку та контролю руху автомобільної техніки і майна шляхом впровадження сучасних цифрових рішень та автоматизованих систем управління. Актуальність зазначеної проблеми зумовлює необхідність розробки удосконаленої методики обліку та контролю, яка б забезпечувала оперативність отримання інформації, прозорість руху матеріальних ресурсів, інтеграцію складських і ремонтних процесів, а також підвищення ефективності функціонування системи логістичного забезпечення Збройних Сил України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання удосконалення логістичного забезпечення військ та автоматизації процесів управління матеріальними ресурсами в сучасних умовах є одним із пріоритетних напрямів розвитку збройних сил провідних держав світу. У наукових працях вітчизняних і зарубіжних дослідників значна увага приділяється цифровізації логістичних процесів, впровадженню інформаційних систем управління ресурсами, автоматизації обліку техніки та матеріальних засобів, а також створенню єдиного інформаційного простору для підтримки прийняття управлінських рішень.

У сучасних умовах цифровізація логістичних процесів розглядається як один із ключових напрямів розвитку систем матеріально-технічного забезпечення військ [1–3]. Дослідники відзначають, що інтеграція інформаційних систем, автоматизація документообігу та застосування засобів автоматичної ідентифікації дозволяють суттєво підвищити оперативність управління ресурсами та знизити вплив людського фактора [4]. У країнах НАТО значна увага приділяється створенню єдиного цифрового логістичного середовища, що забезпечує інтеграцію процесів обліку, ремонту, транспортування та складського забезпечення, впровадження кодифікації дозволяє уніфікувати процеси обліку, підвищити прозорість логістичних операцій, оптимізувати управління запасами та забезпечити оперативний обмін інформацією між різними ланками забезпечення, досвід країн НАТО свідчить, що використання єдиних цифрових стандартів є необхідною умовою ефективного функціонування сучасної військової логістики [5]. Особливого значення набувають технології RFID та QR-кодування, які забезпечують оперативний контроль руху матеріальних ресурсів у режимі реального часу [6].

У зарубіжних наукових працях значна увага приділяється автоматизації процесів контролю технічного стану техніки, управління ремонтними роботами та моніторингу використання матеріальних ресурсів. Дослідники наголошують, що інтеграція складських, ремонтних і транспортних процесів у межах єдиної інформаційної системи дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень, знизити вплив людського фактора та забезпечити більш ефективний контроль руху матеріальних засобів. Сучасні наукові дослідження також акцентують увагу на використанні штучного інтелекту, аналітичних платформ та автоматизованих систем прогнозування у сфері військової логістики [7].

Вітчизняні наукові дослідження переважно присвячені загальним питанням розвитку логістичного забезпечення Збройних Сил України, адаптації системи забезпечення до стандартів НАТО та впровадженню сучасних інформаційних технологій у військову сферу. У роботах українських науковців наголошується на необхідності переходу від паперових форм ведення обліку до автоматизованих систем управління, які забезпечують оперативне отримання достовірної інформації та підвищують ефективність використання матеріально-технічних ресурсів.

Разом із тим аналіз наукових публікацій свідчить, що питання комплексної автоматизації обліку та контролю руху автомобільної техніки й автомобільного майна в умовах ведення активних бойових дій залишається недостатньо дослідженим. Наявні підходи переважно стосуються окремих аспектів логістичного забезпечення без комплексного поєднання процесів складського обліку, контролю технічного стану, ремонту, аналітики та управління рухом автомобільної техніки в межах єдиного цифрового середовища.

Таким чином, проведений аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про актуальність проблеми цифровізації обліку та контролю руху автомобільної техніки і майна, а також про необхідність розробки удосконаленої методики, яка забезпечуватиме інтеграцію логістичних процесів, підвищення прозорості управління матеріальними ресурсами та відповідатиме сучасним вимогам функціонування Збройних Сил України в умовах воєнного стану.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість наукових досліджень у сфері військової логістики та автоматизації процесів управління матеріально-технічним забезпеченням, питання комплексного обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна у Збройних Силах України залишається недостатньо дослідженим. Більшість існуючих підходів орієнтовані переважно на загальні аспекти логістичного забезпечення військ без детального врахування специфіки функціонування служби забезпечення військової техніки в умовах сучасних бойових дій.

У документах НАТО значна увага приділяється питанням централізації логістичних процесів, інтеграції інформаційних систем та забезпечення прозорості руху матеріальних ресурсів. Зокрема, у доктрині Allied Joint Doctrine for Logistics (AJP-4) визначено необхідність створення єдиного інформаційного середовища для підтримки логістичних процесів, координації технічного забезпечення та оперативного управління ресурсами. Разом із тим зазначені підходи розглядаються переважно на оперативному та стратегічному рівнях, без достатньої деталізації процедур ведення обліку автомобільної техніки у військових частинах.

У Allied Joint Doctrine for Logistics (AJP-4) логістика визначається як система планування та реалізації процесів переміщення, забезпечення, технічного обслуговування і ремонту військ, що потребує постійного інформаційного супроводу та контролю [5]. Однак питання інтеграції обліку технічного стану автомобільної техніки, ремонтних процесів і складського забезпечення у межах єдиної цифрової системи залишаються недостатньо розкритими.

Сучасні наукові праці у сфері військової логістики також акцентують увагу на необхідності цифрової трансформації систем забезпечення. Зокрема, дослідники відзначають, що автоматизація логістичних процесів дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень, знизити вплив людського фактора та забезпечити прозорість руху матеріальних ресурсів. Проте більшість досліджень стосується цивільних логістичних моделей або загальних принципів цифровізації без адаптації до умов функціонування військових формувань.

Недостатньо дослідженими залишаються питання організації єдиного цифрового середовища для взаємодії служби забезпечення військової техніки, ремонтних органів та складів зберігання матеріальних засобів. На практиці зазначені елементи часто функціонують відокремлено, що призводить до дублювання інформації, збільшення обсягів паперового документообігу та ускладнення контролю за використанням запасних частин і матеріалів.

Крім того, у наукових роботах недостатньо уваги приділяється питанням застосування сучасних засобів автоматичної ідентифікації, зокрема QR-кодування та RFID-технологій, для забезпечення контролю руху автомобільної техніки і майна. Водночас міжнародний досвід свідчить, що використання подібних технологій дозволяє значно скоротити час облікових операцій та підвищити достовірність інформації.

Таким чином, проведений аналіз наукових джерел свідчить про відсутність комплексного підходу до організації обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна у Збройних Силах України на основі сучасних цифрових технологій. Недостатньо дослідженими залишаються питання інтеграції процесів експлуатації, ремонту, складського забезпечення та аналітичного супроводу в єдину інформаційну систему, що і обумовлює необхідність подальших досліджень у даному напрямі.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження проблем організації обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна у Збройних Силах України, а також розробка удосконаленого підходу до ведення облікових процесів на основі впровадження сучасних цифрових технологій та єдиної інтегрованої інформаційної системи.

Для досягнення поставленої мети у статті визначено такі основні завдання:

- провести аналіз сучасного стану системи обліку та контролю руху автомобільної техніки і майна у військових частинах;
- визначити основні недоліки традиційної системи ведення обліку в умовах високої інтенсивності бойових дій та значного обсягу логістичних процесів;
- дослідити сучасні підходи до автоматизації логістичних процесів у збройних силах держав-членів НАТО та можливості їх адаптації до умов функціонування Збройних Сил України;

- обґрунтувати необхідність створення єдиного інформаційного середовища для інтеграції процесів обліку, технічного обслуговування, ремонту та складського забезпечення автомобільної техніки;

- розробити удосконалену методику обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна із використанням сучасних засобів автоматизації, ідентифікації та аналітичного супроводу;

- визначити основні напрями підвищення ефективності управління матеріальними ресурсами автомобільної служби шляхом цифровізації облікових процесів.

Об'єктом дослідження є система обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна у Збройних Силах України.

Предметом дослідження виступають організаційні та інформаційні процеси ведення обліку, контролю технічного стану, переміщення, ремонту та забезпечення автомобільної техніки і майна в умовах функціонування військових підрозділів.

Методологічною основою дослідження є загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, зокрема метод аналізу та узагальнення – для дослідження існуючих підходів до організації обліку; системний метод – для формування комплексного підходу до побудови інтегрованої системи обліку; метод порівняння – для аналізу підходів, що використовуються у країнах НАТО; а також структурно-функціональний метод – для розробки удосконаленої методики обліку та контролю руху автомобільної техніки і майна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний характер ведення бойових дій висуває підвищені вимоги до ефективності системи логістичного забезпечення військ, оперативності управління матеріальними ресурсами та швидкості прийняття рішень у сфері технічного забезпечення. Одним із ключових елементів функціонування системи логістики є організація обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна, від ефективності яких безпосередньо залежить рівень боєготовності підрозділів, своєчасність виконання ремонтних заходів та забезпечення мобільності військ.

У сучасних умовах функціонування Збройних Сил України система обліку автомобільної техніки значною мірою продовжує базуватись на використанні паперових носіїв інформації та окремих електронних таблиць, що не інтегровані між собою. Такий підхід призводить до дублювання документації, збільшення навантаження на посадових осіб автомобільної служби, втрати оперативності обміну інформацією та виникнення помилок внаслідок впливу людського фактора.

Особливої актуальності проблема набуває в умовах постійного переміщення підрозділів, значної різномарочності автомобільної техніки, надходження великої кількості зразків техніки від міжнародних партнерів та високої інтенсивності виконання бойових завдань. У таких умовах традиційна система обліку не забезпечує достатнього рівня прозорості, швидкості та достовірності інформації.

З метою підвищення ефективності управління автомобільною технікою та майном пропонується впровадження єдиної інтегрованої інформаційної системи обліку та контролю, яка забезпечуватиме централізоване ведення баз даних, автоматизацію документообігу, контроль технічного стану техніки, інтеграцію ремонтних органів і складів матеріально-технічного забезпечення, а також можливість оперативного формування звітності.

Основою запропонованого підходу є принцип створення єдиного цифрового середовища, у межах якого всі операції з автомобільною технікою та майном фіксуються в режимі реального часу. Це дозволяє забезпечити постійний контроль за переміщенням матеріальних засобів, їх технічним станом, проведенням технічного обслуговування та ремонтів.

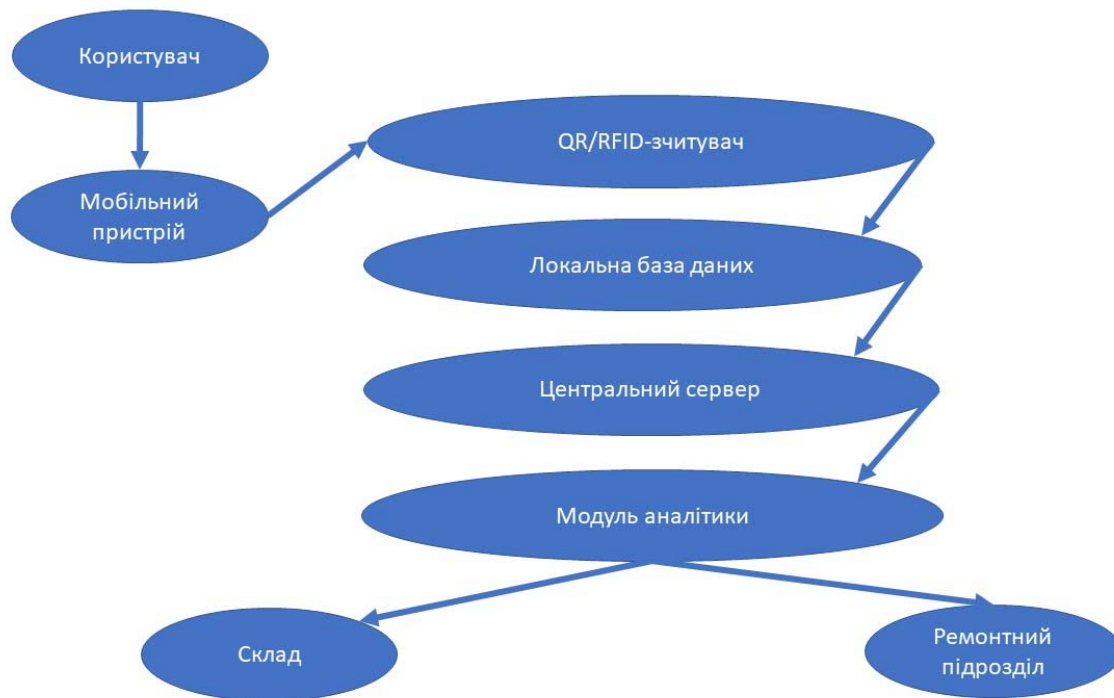


Рис. 1 – Структурна схема функціонування автоматизованої системи обліку автомобільної техніки та майна

Одним із ключових елементів запропонованої системи є використання сучасних технологій автоматичної ідентифікації об'єктів обліку, зокрема QR-кодів та RFID-міток.

Функціонування запропонованої автоматизованої системи обліку автомобільної техніки та автомобільного майна передбачає послідовне виконання ряду інформаційних та облікових процедур.

На першому етапі здійснюється авторизація користувача у системі відповідно до визначеного рівня доступу. Після цього оператор за допомогою мобільного пристрою або RFID-зчитувача виконує ідентифікацію об'єкта обліку шляхом сканування QR-коду або RFID-мітки.

Отримана інформація автоматично звіряється з даними локальної бази даних. У разі підтвердження відповідності система надає доступ до інформації щодо технічного стану об'єкта, історії ремонтів, переміщень та залишкового ресурсу.

Після виконання необхідної операції (приймання, переміщення, ремонт, списання або видача майна) інформація автоматично оновлюється у локальній базі даних із фіксацією часу виконання операції та відповідальної посадової особи.

У разі відсутності зв'язку система забезпечує автономне функціонування із локальним збереженням інформації. Синхронізація з центральним сервером здійснюється автоматично після відновлення каналу передачі даних.

Використання RFID-технологій у логістичних системах дозволяє забезпечити автоматизований контроль переміщення матеріальних ресурсів, скоротити час проведення інвентаризації та підвищити достовірність облікових операцій [8].

Запропонований алгоритм дозволяє забезпечити оперативність облікових операцій, зменшити вплив людського фактора та підвищити достовірність інформації щодо руху автомобільної техніки та майна.

Важливою особливістю запропонованої системи є її адаптація до умов ведення бойових дій та можливого впливу засобів радіоелектронної боротьби противника.

З метою забезпечення стійкості функціонування системи передбачається використання локального режиму роботи із можливістю автономного збереження даних без постійного доступу до мережі Інтернет. Синхронізація інформації між підрозділами та центральним сервером здійснюється після відновлення каналів зв'язку.

Для захисту інформації пропонується використання криптографічного шифрування службових даних та багаторівневої системи авторизації користувачів. Усі дії посадових осіб фіксуються у журналі подій системи.

З метою зниження ризику демаскування підрозділів в умовах застосування засобів радіоелектронної розвідки противника використання RFID-зчитувачів доцільно обмежувати у районах безпосереднього бойового зіткнення. У таких умовах основним засобом ідентифікації можуть виступати QR-коди, які не створюють активного радіовипромінювання.

QR-код (Quick Response Code) являє собою двовимірний матричний код, що містить закодовану інформацію про об'єкт обліку та може швидко зчитуватись за допомогою мобільних пристроїв або спеціалізованих сканерів. Основною перевагою QR-кодів є простота виготовлення, низька вартість впровадження та можливість оперативного доступу до інформації про техніку або майно без необхідності ручного введення даних.

Застосування QR-кодів та цифрових засобів ідентифікації значно спрощує процес отримання інформації про технічний стан техніки та історію її експлуатації [9].

У межах системи обліку автомобільної техніки QR-код може містити:

- інвентарний номер техніки;
- марку та модель;
- VIN-номер або номер шасі;
- інформацію про відповідальну особу;
- дату останнього технічного обслуговування;
- поточний технічний стан;
- історію ремонтів;
- дані щодо використаних запасних частин;
- інформацію про місце дислокації.

Розміщення QR-кодів безпосередньо на техніці, агрегатах, контейнерах із запасними частинами або складських стелажах дозволяє значно прискорити процес проведення інвентаризації, списання майна, передачі техніки між підрозділами та контролю залишків матеріальних ресурсів.

Більш технологічним рішенням є використання RFID-міток (Radio Frequency Identification), принцип роботи яких базується на радіочастотній ідентифікації об'єктів. RFID-система складається з мітки, що містить електронний чип та антену, а також пристрою зчитування інформації. На відміну від QR-кодів, RFID-мітки не потребують прямого візуального контакту зі сканером, що дозволяє автоматично зчитувати інформацію навіть на значній відстані.

Використання RFID-технологій у системі військового обліку дозволяє:

- автоматизувати процес інвентаризації;
- контролювати переміщення техніки через контрольні пункти;
- відстежувати рух матеріальних ресурсів у режимі реального часу;
- зменшити ризик втрати або несанкціонованого переміщення матеріальних засобів;
- забезпечити автоматичне оновлення інформації у базі даних.

Особливо ефективним є застосування RFID-міток на складах зберігання автомобільного майна та ремонтних базах, де існує значний обсяг облікових операцій та постійний рух запасних частин і агрегатів. Інтеграція RFID-технологій із єдиною інформаційною системою дозволяє автоматично фіксувати факт видачі запасних частин, їх використання під час ремонту та оновлення залишків на складах.

Запропонована система також передбачає інтеграцію процесів експлуатації, ремонту та складського забезпечення в межах єдиного інформаційного середовища. Кожна операція щодо автомобільної техніки повинна супроводжуватись електронною фіксацією у системі із зазначенням відповідальної посадової особи, часу виконання операції та її підстави. Такий підхід дозволяє забезпечити повну прозорість руху матеріальних ресурсів та створює передумови для ефективного контролю.

Окрему увагу доцільно приділити аналітичним можливостям системи. На основі накопичених даних система може автоматично формувати:

- звіти щодо технічного стану автомобільної техніки;
- статистику ремонтів;
- аналіз витрат запасних частин;
- прогнозування потреб у матеріальних ресурсах;
- контроль термінів проведення технічного обслуговування;
- оцінку ефективності експлуатації техніки.

Використання аналітичних інструментів дозволяє суттєво підвищити обґрунтованість управлінських рішень та забезпечити більш ефективне планування логістичного забезпечення.

Важливим елементом функціонування системи є забезпечення інформаційної безпеки та розмежування доступу користувачів. Кожна посадова особа повинна мати визначений рівень доступу до інформації відповідно до службових обов'язків. Усі дії користувачів фіксуються у програмі, що забезпечує можливість подальшого контролю та аналізу.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика традиційної та автоматизованої системи обліку

Показник	Традиційний облік	Автоматизований облік
Ймовірність помилки при введенні даних	0,10	0,01
Формування звітності	Ручне	Автоматичне
Контроль переміщення майна	Обмежений (до тижня)	Он-лайн
Оновлення інформації	Із затримкою	Миттєво
Навантаження на особовий склад	Значне	Знижене

З метою математичного обґрунтування ефективності запропонованого підходу та кількісної оцінки впливу засобів автоматизації на пропускну здатність елементів логістичної системи Збройних Сил України, у дослідженні застосовано аналітичний апарат теорії масового обслуговування. Враховуючи стохастичний характер логістичних процесів в умовах ведення бойових дій, процес обліку та реєстрації автомобільної техніки (АТ) та автомобільного майна на збірних пунктах пошкоджених машин або складах військово-технічного майна доцільно формалізувати як одноканальну систему масового обслуговування з необмеженою чергою та дисципліною обслуговування перший прийшов – перший вийшов (модель Кендалла $M/M/1$).

Приймається, що вхідний потік заявок (надходження одиниць АТ, які потребують обліково-реєстраційних дій) є найпростішим (пуассонівським) з інтенсивністю λ (од./год). Час обслуговування підпорядковується експоненційному закону розподілу, де каналом обслуговування виступає посадова особа автомобільної служби, яка здійснює ідентифікацію та внесення даних до інформаційної системи з інтенсивністю μ (од./год).

На основі апріорних даних, отриманих шляхом експертного оцінювання та хронометражу логістичних операцій, встановлено, що математичне сподівання часу обслуговування однієї одиниці техніки за традиційною (паперовою) системою становить $t_1 = 10$ хв ($\mu_1 = 6$ од./год). Впровадження спеціалізованого програмного забезпечення із застосуванням технологій автоматичної ідентифікації (QR/RFID) дозволяє скоротити тривалість операції до $t_2 = 2$ хв ($\mu_2 = 30$ од./год). Для моделювання пікових (кризових) навантажень на логістичний пункт розрахункова інтенсивність вхідного потоку приймається на рівні $\lambda = 5$ од./год.

Коефіцієнт завантаження системи (інтенсивність навантаження) ρ , що визначає ймовірність зайнятості каналу обслуговування, розраховується за формулою (1)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність вхідного потоку заявок, од./год; μ – інтенсивність обслуговування, од./год.

Як критерії ефективності функціонування досліджуваної системи обрано середню кількість одиниць техніки в черзі (L_q) та середній час очікування заявки в черзі (W_q), які для стаціонарного режиму моделі $M/M/1$ визначаються за формулами (2) та (3)

$$L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho}, \quad (2)$$

де ρ – коефіцієнт завантаження системи.

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}, \quad (3)$$

де L_q – середня кількість заявок у черзі, од.; λ – інтенсивність вхідного потоку заявок, од./год.

Загальний час перебування одиниці техніки в системі ($W_{\text{заг.час}}$) визначається як сума часу очікування та тривалості безпосереднього обслуговування. Результати моделювання операційних характеристик для обох станів системи зведено до табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна оцінка операційних характеристик системи обліку автомобільної техніки

Показник ефективності (операційна характеристика)	Традиційна система (паперовий облік)	Автоматизована система (QR/Rfid)
Коефіцієнт завантаження системи, ρ	0,83	0,17
Середня кількість техніки в черзі, L_q (од.)	4,16	0,03
Середній час очікування в черзі, W_q (хв)	50,0	0,40
Загальний час перебування в системі, $W_{\text{заг.час}}$ (хв)	60,0	2,40

Отримані результати математичного моделювання дають підстави для таких науково обґрунтованих висновків. Наближення коефіцієнта завантаження традиційної системи до критичної межі ($\rho_1 \approx 0,83$) свідчить про її перехід у нестабільний стан, що детермінує експоненційне зростання черги. Натомість автоматизована система ($\rho_2 \approx 0,17$) гарантує високий запас стійкості функціонування логістичного пункту навіть за умов змін вхідного потоку.

Скорочення тривалості одиничної облікової операції у 5 разів шляхом цифровізації створює нелінійний синергетичний ефект у масштабах усієї логістичної системи. Зокрема, час очікування техніки в черзі скорочується більше ніж на два порядки (майже у 138 разів), а загальний цикл перебування техніки на пункті обліку зменшується у 25 разів.

В умовах сучасного збройного протистояння, що характеризується тотальним застосуванням противником засобів повітряної розвідки та розвідувально-ударних комплексів, скупчення навіть 3–5 одиниць техніки протягом більше 5–10 хв формує критичну демаскувальну ознаку. Впровадження запропонованої автоматизованої системи суттєво знижує ймовірність утворення черг ($L_q \rightarrow 0$), що є важливим фактором підвищення живучості підрозділів логістики та забезпечення безперервності процесу відновлення озброєння і військової техніки.

Таким чином, запропонований підхід до удосконалення системи обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна базується на інтеграції сучасних цифрових технологій, автоматизації облікових процесів та створенні єдиного інформаційного середовища. Впровадження QR-кодів, RFID-міток та автоматизованої системи контролю дозволить підвищити оперативність управління матеріальними ресурсами, знизити вплив людського фактора, забезпечити прозорість логістичних процесів та підвищити ефективність функціонування автомобільної служби в умовах сучасних бойових дій.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження встановлено, що існуюча система обліку та контролю руху автомобільної техніки і автомобільного майна у Збройних Силах України в умовах сучасних бойових дій потребує суттєвого удосконалення. Використання паперових носіїв інформації та неінтегрованих електронних таблиць не забезпечує необхідного рівня оперативності, достовірності та прозорості облікових процесів, що негативно впливає на ефективність логістичного забезпечення військ.

Проведений аналіз сучасних підходів до організації військової логістики та досвіду країн-членів НАТО показав, що одним із ключових напрямів розвитку систем матеріально-технічного забезпечення є цифровізація облікових процесів, централізація інформаційних ресурсів та інтеграція різних функціональних елементів логістичної системи в єдине інформаційне середовище.

У межах дослідження обґрунтовано необхідність впровадження спеціалізованого програмного забезпечення для організації обліку та контролю руху автомобільної техніки і майна. Запропоновано удосконалену методику, яка базується на принципах системності, централізації, автоматизації, прозорості та персоналізації відповідальності. Визначено основні етапи функціонування системи, що охоплюють процеси приймання, реєстрації, експлуатації, ремонту, переміщення та списання автомобільної техніки.

Особливу увагу приділено використанню сучасних технологій автоматичної ідентифікації, зокрема QR-кодів та RFID-міток, застосування яких дозволяє підвищити швидкість обробки інформації, знизити вплив людського фактора, автоматизувати процеси інвентаризації та забезпечити контроль руху матеріальних ресурсів у режимі реального часу.

Запропонований підхід до інтеграції ремонтних органів, складів зберігання матеріальних засобів та автомобільної служби в межах єдиної цифрової системи створює передумови для формування комплексного інформаційного середовища, що забезпечує прозорість використання матеріальних ресурсів, підвищує ефективність аналітичної роботи та сприяє оперативному прийняттю управлінських рішень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої методики як основи для подальшого впровадження автоматизованих систем обліку та контролю у діяльність автомобільної служби Збройних Сил України, а також для вдосконалення організації логістичного забезпечення в умовах воєнного стану.

Перспективи подальших досліджень доцільно спрямувати на розробку структури та функціональної моделі спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації обліку автомобільної техніки і майна, дослідження можливостей інтеграції GPS-моніторингу та систем супутникового контролю, а також удосконалення механізмів захисту інформації та кібербезпеки в автоматизованих системах військового обліку.

Результати дослідження узгоджуються із сучасними тенденціями цифрової трансформації логістичних систем та підтверджують доцільність впровадження автоматизованих систем управління матеріальними ресурсами у військовій сфері [10].

Список використаних джерел

1. Helo P., Thai V. V. Logistics 4.0 – digital transformation with smart connected tracking and tracing devices. *International Journal of Production Economics*. 2024. Vol. 275. Article 109336. DOI: 10.1016/j.ijpe.2024.109336.
2. Sollfrank A., Boeke S. Enablement and Logistics as Critical Success Factors for Military Operations: Comparing Russian and NATO Approaches. *The RUSI Journal*. 2024. Vol. 169, No. 7. P. 10–22. DOI: 10.1080/03071847.2024.2434137.
3. Тесніков О., Фурсова В. Напрямки розвитку військової логістики в Україні в умовах воєнного стану як фактору її економічної безпеки. *Economy and Society*. 2024. No. 62. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-62-111.
4. Nicoletti B., Appolloni A. Digital transformation in ecosystems: integrated operations model and its application to fifth-party logistics operators. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. 2024. Vol. 17, No. 1. P. 91–122. DOI: 10.1108/JGOSS-04-2023-0024.
5. Allied Joint Doctrine for Logistics (AJP-4). NATO Standardization Office. Brussels, 2018. 84 p.
6. Watanabe H., Saito K., Miyazaki S. et al. Proof of Authenticity of Logistics Information with Passive RFID Tags and Blockchain. 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2011.05442.
7. Трофіменко О., Соколов А., Логінова Н. Штучний інтелект у сфері військової логістики. *System Technologies*. 2024. No. 5(154). P. 164–171. DOI: 10.34185/1562-9945-5-154-2024-17.
8. Haddud A., DeSouza A., Khare A., Lee H. Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2017. Vol. 28, No. 8. P. 1055–1085. DOI: 10.1108/JMTM-05-2017-0094.
9. Fernandez-Carames T. M., Blanco-Novoa O., Froiz-Miguez I., Fraga-Lamas P. Towards an autonomous Industry 4.0 warehouse: a UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2402.00709.
10. Prodan D. Ye., Rybalchenko L. V., Chubenko O. I., Bibik M. V. Digitalization of logistics processes, resource management and operational planning in the State Special Transport Service. *Systems and Technologies*. 2025. Vol. 69, No. 1. P. 230–236. DOI: 10.32782/2521-6643-2025-1-69.27.

Науковий керівник: Березенський Р.В., канд. техн. наук, доц., Військова академія (м. Одеса).

Рецензент: Коркін О.Ю. д-р філос., Військова академія (м. Одеса).

УДК 623.64:623438.4:629.33

САВІРСЬКИЙ М. В. – магістрант

МАХАНЬКОВ В.А.

Військова академія (м. Одеса), Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ВАЖКОЇ БЕЗПІЛОТНОЇ ЕВАКУАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ В СИСТЕМІ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

Сучасні бойові дії характеризуються суттєвим зростанням інтенсивності ураження автомобільної техніки, широким застосуванням безпілотних систем, високою цільністю вогневого впливу та ускладненням умов функціонування систем забезпечення. У таких умовах традиційні підходи до організації автотехнічного забезпечення, зокрема евакуації пошкодженої техніки, виявляються недостатньо ефективними через високі ризики для особового складу та обмежену можливість роботи в зоні безпосереднього вогневого впливу противника.

У статті проведено комплексний аналіз факторів, що впливають на ефективність функціонування системи автотехнічного забезпечення, з урахуванням реальних умов ведення бойових дій. Визначено вагові коефіцієнти впливу основних факторів, зокрема засобів ураження, стану маршрутів, рівня маскування, логістичної віддаленості, укомплектованості підрозділів, погодних умов та технологічного рівня забезпечення. На основі цього сформовано інтегральний показник рівня загроз.

Запропоновано математичну модель функціонування системи автотехнічного забезпечення у вигляді однорідного марківського процесу з двома станами, що дозволяє кількісно оцінити ефективність системи через показники ймовірності працездатності та середнього часу простою. Проведено сценарний аналіз із використанням лінійної та експоненційної моделей впливу факторів.

Обґрунтовано, що застосування важкої безпілотної евакуаційної платформи дозволяє підвищити інтенсивність відновлення та знизити чутливість системи до зовнішніх загроз, що призводить до підвищення ефективності автотехнічного забезпечення на 10–20 % залежно від умов.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення організації автотехнічного забезпечення підрозділів в умовах бойових дій. Отримані результати можуть бути використані під час обґрунтування напрямів розвитку роботизованих засобів евакуації військової автомобільної техніки.

Ключові слова: автотехнічне забезпечення; евакуація техніки; безпілотні наземні платформи; марківські процеси; ефективність.

Постановка проблеми. Ефективність функціонування сучасних підрозділів безпосередньо залежить від рівня їх технічної готовності, яка забезпечується системою автотехнічного забезпечення [1]. В умовах сучасних бойових дій значно зростає кількість пошкодженої техніки, що потребує своєчасної евакуації та відновлення.

Особливістю сучасного поля бою є постійний контроль противника за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), застосування високоточної артилерії та мінування маршрутів [2]. Це призводить до того, що традиційні евакуаційні засоби не можуть ефективно виконувати свої завдання через високий ризик ураження.

У таких умовах виникає суперечність між необхідністю швидкої евакуації техніки та неможливістю безпечного використання класичних ремонтно-евакуаційних засобів. Це зумовлює необхідність пошуку нових підходів до організації автотехнічного забезпечення (АТЗ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання підвищення ефективності логістичного забезпечення відповідно до основ технічного забезпечення [1], військ активно досліджується в сучасній науковій літературі. Значна увага приділяється застосуванню безпілотних систем, зокрема для розвідки, спостереження та доставки матеріальних засобів.

Разом з тим, більшість досліджень зосереджена на повітряних безпілотних системах [3], тоді як застосування наземних роботизованих платформ для евакуації техніки залишається недостатньо опрацьованим.

Існуючі підходи [4] не враховують комплексного впливу бойових факторів на ефективність системи АТЗ, що ускладнює прийняття обґрунтованих рішень щодо впровадження нових технічних засобів.

Виділення невирішених частин проблеми. Аналіз сучасного стану організації автотехнічного забезпечення свідчить, що низка питань залишається недостатньо опрацьованою. Зокрема, відсутній

комплексний підхід до оцінювання впливу сукупності бойових факторів на ефективність функціонування системи АТЗ в умовах сучасних збройних конфліктів. Недостатньо формалізованими залишаються [5] процеси евакуації пошкодженої автомобільної та броньованої техніки з районів із підвищеним рівнем вогневого ураження, що ускладнює прийняття обґрунтованих організаційно-технічних рішень.

Окремо слід відзначити недостатній рівень опрацювання питань щодо застосування безпілотних та роботизованих платформ у системі евакуації та відновлення техніки, а також відсутність усталених підходів до визначення їх місця і ролі в загальній структурі автотехнічного забезпечення підрозділів.

Постановка завдання. Метою статті є розробка науково обґрунтованого підходу до підвищення ефективності автотехнічного забезпечення шляхом застосування важкої безпілотної евакуаційної платформи на основі математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Ефективність системи автотехнічного забезпечення [1] визначається здатністю підрозділів своєчасно здійснювати технічну розвідку, евакуацію та ремонт пошкодженої техніки в умовах вогневого впливу противника.

Основними умовами ефективного функціонування системи автотехнічного забезпечення є безперервне отримання достовірної інформації про технічний стан автомобільної техніки, що дозволяє своєчасно виявляти несправності та оцінювати обсяг необхідних відновлювальних заходів. Важливим також є оперативне реагування на зміну оперативної обстановки та втрати техніки, що забезпечує адаптивність системи до динамічних умов бойових дій. Значну роль відіграє своєчасне та обґрунтоване прийняття рішень начальником автомобільної служби, яке визначає ефективність використання наявних сил і засобів.

Крім того, критичною умовою є достатній рівень забезпеченості підрозділів засобами ремонту та евакуації, що безпосередньо впливає на швидкість відновлення боєздатності техніки. Не менш важливим фактором є підготовленість особового складу до дій у складних умовах обстановки, що визначає здатність ефективно виконувати завдання в умовах підвищеного ризику та обмеженого часу.

Порушення зазначених умов призводить до збільшення часу простою техніки, зниження темпів її відновлення та зростання втрат.

Аналіз досвіду бойових дій дозволив визначити основні фактори, що впливають на ефективність системи автотехнічного забезпечення.

Найбільший вплив має загроза з боку безпілотних літальних апаратів противника (до 30 %), БпЛА забезпечують розвідку, коригування вогню та ураження ремонтних підрозділів і евакуаційної техніки, що часто призводить до зриву заходів.

Стан і доступність маршрутів руху становлять близько 20 %. Руйнування інфраструктури, мінування та вогневий вплив противника значно ускладнюють евакуацію. Рівень маскування та застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) оцінюється на рівні 15 %. Їх використання знижує ймовірність виявлення підрозділів і підвищує ефективність виконання завдань. Відстань до районів евакуації та ремонтних підрозділів також становить близько 15 %. Збільшення логістичного плеча суттєво впливає на тривалість евакуації. Укомплектованість ремонтно-евакуаційних підрозділів становить близько 10 % і визначає можливості виконання завдань за наявності сприятливих умов. Погодні умови, час доби та рівень застосування сучасних технічних засобів мають сумарний вплив близько 10 %.

Для оцінки ефективності функціонування системи автотехнічного забезпечення [1] застосовано однорідний марківський процес з двома станами (рис. 1).

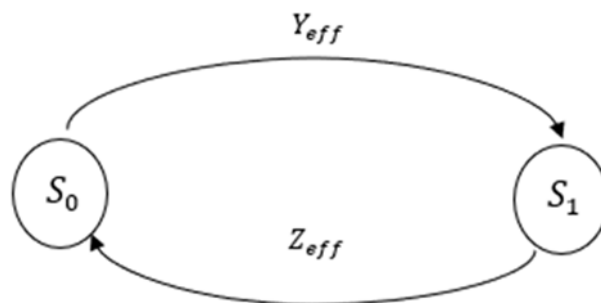


Рис. 1 – Граф переходу станів системи АТЗ

У моделі виділено два стани: де S_0 - система АТЗ функціонує (працездатний стан – система виконує свої завдання: ремонт, евакуацію, технічну розвідку, має ресурси та безпечно працює);

S_1 - система АТЗ не функціонує (непрацездатний стан, наприклад, відмова або збій роботи).

Перехід між цими станами є випадковим та описується інтенсивностями залежить від факторів загроз:

Y - інтенсивність переходу з працездатного стану S_0 у непрацездатний стан S_1 (частота відмов);

Z - інтенсивність переходу з непрацездатного стану S_1 у працездатний S_0 (частота відновлення).

$P_1(t)$ – ймовірність, що система не функціонує.

Стан охоплює всю систему, тому:

$$P_0(t) + P_1(t) = 1 \quad (1)$$

де $P_0(t)$ – ймовірність того, що система в момент часу t перебуває у працездатному стані;

$P_1(t)$ – ймовірність того, що система в момент часу t перебуває у стані відмови або відновлення.

Система диференціальних рівнянь:

$$\frac{dP_0}{dt} = -YP_0(t) + ZP_1(t) \quad (2)$$

де $\frac{dP_0}{dt}$ – швидкість зміни ймовірності перебування системи у працездатному стані;

Y – інтенсивність відмов системи, що характеризує зменшення ймовірності працездатного стану внаслідок виникнення відмов;

Z – інтенсивність відновлення системи, збільшення ймовірності працездатного стану за рахунок відновлення системи після ремонту.

$$\frac{dP_1}{dt} = YP_0(t) - ZP_1(t) \quad (3)$$

З урахуванням умови нормування отримаємо:

$$P_0(t) = \frac{Z}{Y+Z} + \frac{Y}{Y+Z} e^{-(Y+Z)t} \quad (4)$$

$$P_1(t) = 1 - P_0(t) \quad (5)$$

Стала ефективність:

$$P_0^\infty = \frac{Z}{Y+Z} \quad (6)$$

Середній час перебування в непрацездатному стані (СЧП – Середній час простою):

$$\text{СЧП} = \frac{1}{Z} \quad (7)$$

На основі аналізу факторів впливу побудовано інтегрований коефіцієнт Q . Для його формування використано адитивну зважену модель. Вагові коефіцієнти семи факторів (БпЛА – 30 %, маршрути – 20 %, маскуванню/РЕБ – 15 % тощо) визначено методом експертного оцінювання. Експертне опитування проводилося серед викладацького складу кафедри автотранспортного забезпечення та автомобільної підготовки Військової академії (м. Одеса), а консенсусні значення ваг отримано шляхом усереднення індивідуальних оцінок за умови досягнення узгодженості думок експертів. Формування переліку факторів та їх інтерпретація також узгоджувалися з положеннями Воєнної доктрини України, що дозволило врахувати основні напрями та характер сучасних загроз у секторі безпеки і оборони.

Такий підхід є обґрунтованим у зв'язку з обмеженим доступом до деталізованої статистики втрат та бойового застосування в умовах воєнного часу.

Тому виділено основні фактори впливу на систему – (БпЛА 30 %, маршрути 20 %, маскуванню/РЕБ 15 % і т.д.) тоді $p = [0,30; 0,20; 0,15; 0,15; 0,10; 0,05; 0,05]$, наприклад, p_1 – частка впливу БпЛА – (0,30), p_2 – маршрути (0,20).

Нормалізований інтегрований фактор:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^7 p_i s_i(t) \quad s_i(t) \in [0,1] \quad (8)$$

де $Q(t)$ – інтегрований коефіцієнт впливу загроз у момент часу t ;
 $s_i(t)$ – поточна інтенсивність впливу фактора (0 – відсутній, 1 – повний).

У розрахунках для компактності приймаємо сталі Q рівні:

1. Низький: $Q = 0,20$;

2. Середній: $Q = 0,60$;

3. Високий: $Q = 1,00$.

Для порівняння пропонується розглянути дві моделі:

Лінійна модель:

$$Y_{eff}(t) = Y_0(1 + \beta_Y Q(t)) \quad (9)$$

$$Z_{eff}(t) = Z_0(1 - \beta_Z Q(t)) \quad (10)$$

де Y_0, Z_0 – базовані інтенсивності (за відсутності впливу $Q = 0$, а $\beta_Y, \beta_Z \in [0,1]$ – чутливості).

Експоненційна модель:

$$Y_{eff}(t) = Y_0 \exp(Y_Y Q(t)) \quad (11)$$

$$Z_{eff}(t) = Z_0 \exp(-Y_Z Q(t)) \quad (12)$$

де $Y_Y, Y_Z \geq 0$ – параметри що задають швидкість насичення.

Лінійний варіант простий і дає пропорційний вплив Q .

Експоненційний варіант корисний, якщо при зростанні загрози ефект «прискорюється» або має насичення (невідомні ефекти/складні взаємодії факторів).

Стаціонарна ефективність

$$P_0^\infty = \frac{Z_{eff}}{Y_{eff} + Z_{eff}} \quad (12)$$

Середня доступність за інтервал часу:

Якщо, Y_{eff}, Z_{eff} – сталі, то

$$P_0(T) = \frac{1}{T} \int_0^T P_0(t) dt = P_0^\infty + \frac{Y_{eff}}{Y_{eff} + Z_{eff}} \cdot \frac{1 - e^{-(Y_{eff} + Z_{eff})T}}{(Y_{eff} + Z_{eff})T} \quad (14)$$

критерій стійкості та оптимізації:

$$E^* = \max_F \min_Q \Phi(F, Q) \quad (15)$$

де E^* – оптимальне (ефективне) значення критерію функціонування системи;

F – множина або вектор показників ефективності функціонування системи.

При підвищенні Q (більше загроз/обмежень) – інтенсивність відмов – зростає, інтенсивність відновлення Z – зменшується відповідно стаціонарна доступність P_0^∞ падає, а середній час простою зростає. Експоненційна модель дає сильніший (ширший) ефект при високих Q ніж лінійна.

Середня доступність на інтервал T – приклад для $T = 100$ год (високий фактор впливу, $Q = 1,00$)

Підставляємо в формулу:

$$P_0^{100} = P_0^\infty + \frac{Y}{Y+Z} \cdot \frac{1 - e^{-(Y+Z)100}}{(Y+Z)100}. \quad (16)$$

Лінійний варіант при $Q = 1$:

1. $P_0^\infty \approx 0,5556$;

2. $\lambda = Y + Z = 0,045$;

3. $P_0^{100} = 0,65$.

Експоненційний варіант при $Q = 1,00$;

1. $P_0^\infty \approx 0,4526$;

2. $\lambda \approx 0,04965$;
3. $P_0^{100} = 0,56$.

Таблиця 1

Показники надійності

№	Модель	Сценарій	Q	Y_{eff}	Z_{eff}	$\lambda = Y + Z$	P_0^∞	MDT	P_0^{100}
1	Лінійна	Низький	0,2	0,012	0,045	0,057	0,7895	22,22	0,8263
2	Лінійна	Середній	0,6	0,016	0,035	0,051	0,6863	28,57	0,7474
3	Лінійна	Високий	1,0	0,02	0,025	0,045	0,5556	40,00	0,6532
4	Експоненційна	Низький	0,2	0,0122	0,0426	0,0548	0,7772	23,47	0,8177
5	Експоненційна	Середній	0,6	0,0182	0,0309	0,0492	0,6294	32,32	0,7042
6	Експоненційна	Високий	1,00	0,0272	0,0225	0,0496	0,4525	44,51	0,5620

ЛІНІЙНА МОДЕЛЬ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ

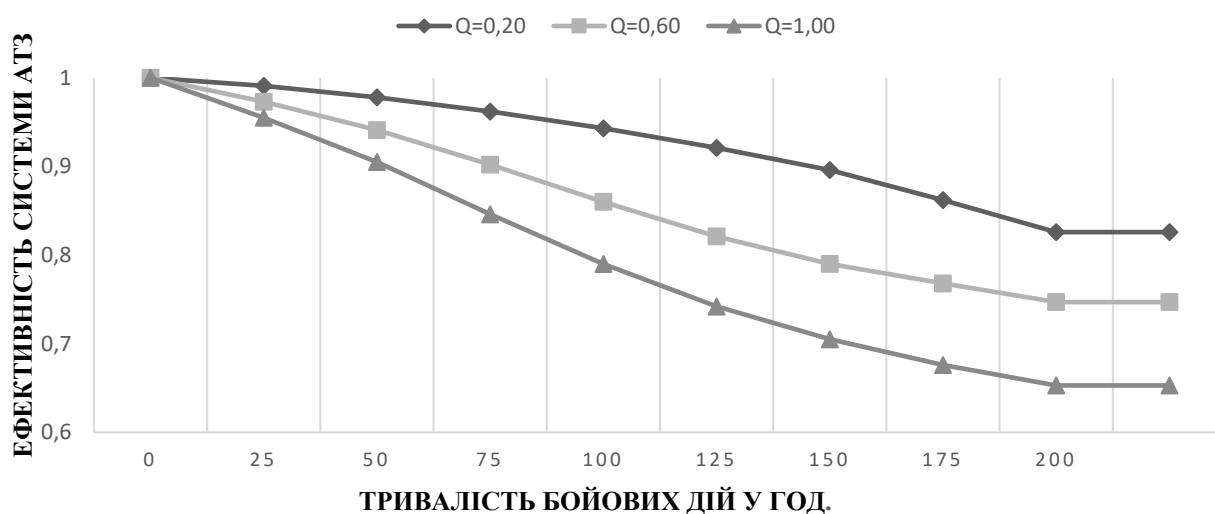


Рис. 2 – Лінійна модель факторів впливу

Запропонована модель дозволяє оцінити вплив бойових факторів на ефективність системи АТЗ через зміну інтенсивностей відмов і відновлення.

На основі двостанової марковської моделі наведеної вище проведено сценарний аналіз ефективності АТЗ при різних рівнях інтегрального фактора загрози Q . Для Q розглянуто низький (0,2), середній (0,6) та високий (1,0) сценарії; залежність інтенсивностей відмов і відновлення моделювали двома способами: лінійно та експоненційно. Результати демонструють, що при зростанні Q стаціонарна ймовірність готовності P_0^∞ знижується, а середній час простою зростає – тобто підвищення загроз безпосередньо знижує ефективність АТЗ. Аналіз показує також, що заходи з підвищення Z_{eff} (швидкість відновлень: краща комплектація, організація маршрутів, РЕБ) мають великий позитивний вплив на P_0^∞ і зменшують середній час простою техніки.

Особливо показовим є те, що при високому рівні загроз ($Q = 1,0$) ефективність системи знижується майже вдвічі порівняно з базовими умовами.

Для кількісної оцінки доцільності впровадження роботизованої евакуаційної платформи [6] доцільно використати результати моделювання функціонування системи автотехнічного забезпечення, отримані на основі марківського процесу [1] з двома станами:

S_0 – система функціонує;

S_1 – система не функціонує.

У межах моделі ключовими параметрами є:

Інтенсивність відмов системи (λ), яка зростає під впливом бойових факторів;

Інтенсивність відновлення (μ), що характеризує здатність системи АТЗ повертатися до працездатного стану.

Як було встановлено, інтегрований коефіцієнт загроз Q (що враховує вплив БпЛА, стан маршрутів, маскування, віддаленість ремонтних пунктів тощо) істотно впливає на параметри λ та μ : при зростанні Q відбувається збільшення λ у 1,5–2 рази, одночасно μ знижується на 30–50 %.

У межах моделі ключовими параметрами є інтенсивність відмов λ та інтенсивність відновлення μ . Як показано в розділі 2, інтегрований коефіцієнт загроз Q суттєво впливає на ці параметри: зі зростанням Q інтенсивність відмов λ збільшується в 1,5–2,0 рази, а інтенсивність відновлення μ зменшується на 30–50 %. Відповідно до положень [7] Концепції розвитку сектору безпеки і оборони України спрямований на обґрунтування необхідності підвищення стійкості та адаптивності систем технічного забезпечення в умовах зростання рівня бойових загроз, що потребує впровадження сучасних підходів до організації відновлення озброєння і військової техніки.

Запропонована гібридна роботизована евакуаційна платформа (розділ 3) дозволяє цілеспрямовано впливати на зазначені параметри: зниження інтенсивності відмов (λ). Завдяки безекіпажній роботі, зниженій акустичній та тепловій помітності (гібридна дизель-електрична установка послідовного типу), а також можливості руху в безшумному режимі платформа зменшує час перебування евакуаційних засобів у зоні вогневого ураження. Це призводить до зниження ефективного значення λ на 25–40 % (залежно від значення Q). А також збільшення інтенсивності відновлення (μ). Роботизація первинного етапу евакуації дозволяє оперативно виводити пошкоджену техніку з небезпечної зони, що скорочує час початку ремонтно-відновлювальних робіт. У термінах моделі це відповідає зростанню μ на 35–60 %. Зниження інтегрованого коефіцієнта загроз Q .

Платформа безпосередньо зменшує вплив найбільш значущих факторів: загрози БпЛА (за рахунок зниженої помітності), проблем маршрутів руху та маскування/РЕБ.

У результаті зміни параметрів λ та μ відбувається зростання стаціонарної ймовірності працездатного стану системи:

$$P_{0\infty} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (17)$$

Розрахунки за моделлю (табл. 1) показують, що при впровадженні роботизованої платформи стаціонарна ймовірність $P_{0\infty}$ зростає на 0,12–0,28 (у відносних одиницях) залежно від початкового рівня Q . Це еквівалентно зменшенню середнього часу простою техніки та підвищенню загальної стійкості системи АТЗ до бойових факторів.

Порівняльні розрахунки показують, що застосування платформи забезпечує зростання $P_{0\infty}$ на 0,11–0,27 (абсолютних одиниць) залежно від рівня загроз. Це відповідає скороченню СЧП на 22–38%.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика моделі

Q	Сценарій	λ	μ	$P_{0\infty}$	СЧП (год)	$\Delta P_{0\infty}$	$\Delta \text{СЧП}$
0,6	Без платформи	0,0182	0,0309	0,629	32,3	—	—
0,6	З платформою	0,0135	0,0450	0,769	22,2	+0,140	-31 %
1,0	Без платформи	0,0272	0,0225	0,453	44,5	—	—
1,0	З платформою	0,0190	0,0370	0,661	27,0	+0,208	-39 %

Таким чином, результати марківського моделювання підтверджують, що впровадження важкої безпілотної евакуаційної платформи є ефективним технічним рішенням для підвищення функціональної надійності системи автотехнічного забезпечення в умовах високої інтенсивності сучасних бойових дій.

Це призводить до суттєвого зменшення стаціонарної ймовірності працездатності системи $P_{0\infty}$ та збільшення часу простою техніки.

Запропонована роботизована евакуаційна платформа впливає на зазначені параметри наступним чином: зниження інтенсивності відмов (λ), використання безекіпажної платформи дозволяє мінімізувати втрати особового складу евакуаційних підрозділів, які є критичним елементом системи АТЗ. Крім того, скорочується час перебування техніки в зоні ураження, що зменшує ймовірність її повторного пошкодження. У термінах моделі це еквівалентно зменшенню ефективного значення λ . Збільшення інтенсивності відновлення (μ) тобто роботизація первинного етапу евакуації забезпечує швидше виведення пошкодженої техніки з-під вогневого впливу до безпечних зон. Це скорочує час початку ремонтних робіт і підвищує загальну швидкість відновлення, що відповідає зростанню параметра μ .

Впровадження платформи фактично зменшує вплив найбільш критичних факторів, а саме зниження інтегрованого коефіцієнта загроз (Q):

1. Загрози з боку БпЛА (за рахунок зниження помітності та дистанційності застосування);
2. Логістичних обмежень (за рахунок роботи в складних умовах місцевості);
3. Людського фактору (зменшення участі особового складу в небезпечній зоні).

Таким чином, результати марківського моделювання підтверджують, що роботизація евакуаційних заходів є ефективним напрямком підвищення функціональної надійності системи автотехнічного забезпечення в умовах сучасної війни.

Ключовим результатом моделювання є встановлення того, що основним фактором підвищення ефективності системи є збільшення інтенсивності відновлення Z .

Саме цей параметр безпосередньо визначає швидкість повернення системи до працездатного стану. В умовах бойових дій його зростання можливе лише за рахунок:

- скорочення часу евакуації;
- зниження ризику для персоналу;
- можливості роботи в зоні вогневого впливу.

Проведений аналіз показує, що сукупна дія цих факторів призводить до зростання тривалості евакуаційного циклу, зниження ймовірності своєчасного відновлення техніки та підвищення втрат серед особового складу евакуаційних підрозділів.

У межах теоретичного розгляду система АТЗ може бути представлена як стохастична система з обмеженою надійністю, де інтенсивність відмов зростає під впливом бойових загроз, а інтенсивність відновлення – знижується. За таких умов класичні підходи до організації евакуації не забезпечують необхідного рівня стійкості функціонування системи.

Одним із напрямів підвищення ефективності АТЗ є впровадження безпілотних (роботизованих) засобів, призначених для виконання завдань у зоні підвищеного ризику. Використання безекіпажної платформи на етапі первинної евакуації дозволяє функціонально розмежувати небезпечну та відносно безпечну ділянки евакуаційного процесу.

У сучасних умовах ведення бойових дій спостерігається стійка тенденція до зростання ролі безпілотних і роботизованих систем у різних сферах військового застосування. Найбільш активно такі системи [3] використовуються для ведення розвідки, ураження цілей, логістичного забезпечення та інженерних робіт. Водночас напрямок евакуації пошкодженої техніки залишається недостатньо розвиненим, що створює передумови для впровадження спеціалізованих роботизованих рішень [5] у системі автотехнічного забезпечення.

Як показує світовий досвід [3], безекіпажні наземні платформи вже успішно застосовуються у військовій сфері. Зокрема, роботизований комплекс [8], Milrem THeMIS (рис. 3), використовується для логістики, евакуації поранених і транспортування вантажів у складних умовах.



Рис. 3 – Роботизований комплекс Milrem THeMIS

Бойова роботизована платформа - Ripsaw M5 (рис. 4), є більш перспективним зразком, як приклад [8] широкого спектру застосування, розроблена компанією Howe & Howe Technologies (Textron Systems). Вона є п'ятим поколінням лінійки [9] Ripsaw і створювалася для програми Армії США Robotic Combat Vehicle Medium (RCV-M). Платформа має масу від 7,5 до 10,5 тонн, розвиває швидкість понад 65 км/год., і може нести 30-мм. автоматичну гармату, кулемети та протитанкові ракети. Завдяки високій прохідності, модульній броні та сучасним сенсорам з 360-градусним оглядом вона розглядається, як багатоцільова роботизована машина для підтримки бойових підрозділів, включаючи функції транспортування і забезпечення, розвідки та супроводу військ, суттєво знижуючи ризики для особового складу.



Рис. 4 – платформа Ripsaw M5

Попри значні досягнення у створенні безпілотних платформ, більшість існуючих зразків орієнтовані на легкі або середні задачі і не здатні ефективно виконувати евакуацію важкої автомобільної техніки масою 10–25 т. в умовах бездоріжжя та вогневого впливу противника. Це обумовлює необхідність створення важких роботизованих евакуаційних засобів [8].

Одним із перспективних напрямів реалізації роботизованих евакуаційних засобів є використання перевірених гусеничних шасі, зокрема транспортера-тягача МТ-Т (рис. 5), який має високу прохідність, значне тягове зусилля та конструктивну придатність до модернізації. Його базові характеристики (маса близько 25 т., тягове зусилля до 25 тс., наявність лебідки, гусеничний рушій) створюють основу для формування важкої роботизованої евакуаційної платформи.

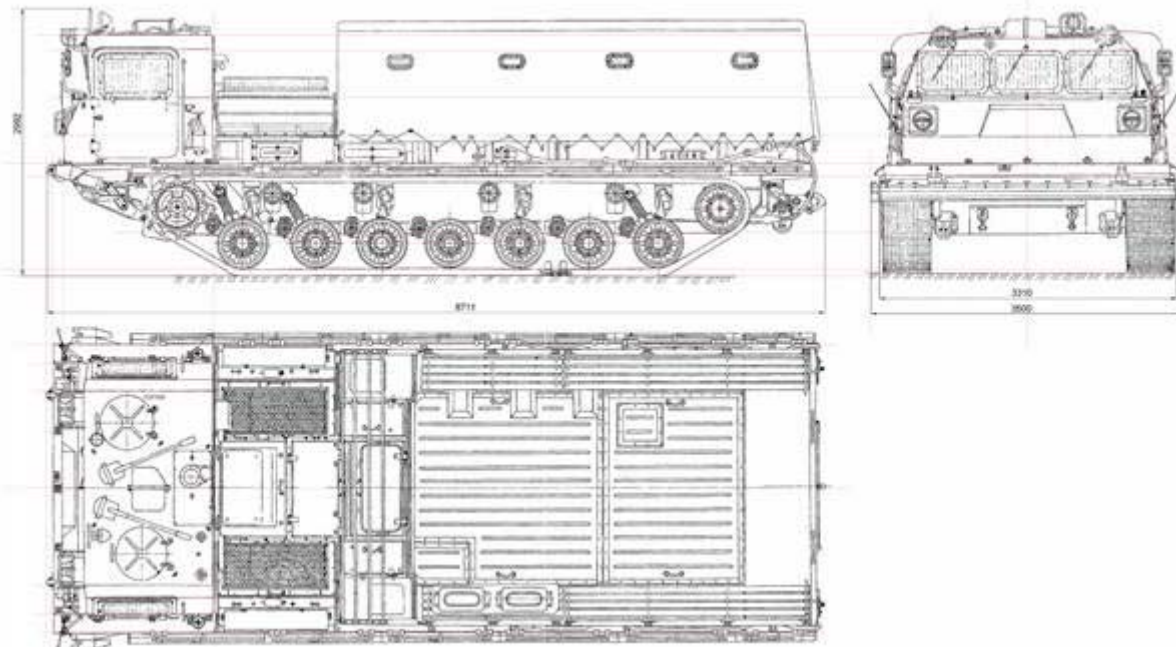


Рис. 5 – Конструктивні креслення – МТ-Т

На основі проведеного аналізу та результатів дослідження запропоновано концепцію важкої безекіпажної евакуаційної платформи [4] на базі МТ-Т, адаптованої для виконання первинної евакуації техніки з-під вогневого впливу противника.

Таблиця 3

Ключові тактико-технічні характеристики запропонованої платформи

Параметр	Значення
Бойова маса	26,5–27,5 т.
Тип рушія	гусеничний
Силова установка	гібридна дизель-електрична
Двигун	дизель типу 6ТД-2, потужністю ≈ 710 к.с.
Генератор	450–500 кВт.
Напруга/DC-шини	600–800 В.
Акумуляторний модуль	150–200 кВт/год.
Запас ходу в електричному режимі	до 8–10 км.
Тягові електродвигуни	аксіального типу, сумарна потужність до 600–700 кВт.
Максимальне тягове зусилля	до 30–35 тс.
Максимальна швидкість	до 60 км/год.
Лебідка	тягове зусилля 25 тс, довжина троса до 100 м.
Система керування	дистанційна з елементами автономності
Сенсорний комплекс	камери 360°, тепловізор, лідар
Захист	знижений силует, решітчастий екран (anti-FPV), термоекранування

Концептуально платформа виконує роль проміжної ланки між зоною бойових дій та районами роботи штатних евакуаційних підрозділів. Її основним завданням є швидке виведення пошкодженої техніки з-під вогневого впливу до відносно безпечних маршрутів евакуації.

Таким чином, аналіз існуючих роботизованих систем [10] і можливостей базових гусеничних платформ свідчить про доцільність створення важких безекіпажних евакуаційних засобів. Запропонована платформа на базі МТ-Т поєднує перевірену механічну основу з сучасними електричними та роботизованими технологіями, що дозволяє суттєво підвищити ефективність автотехнічного забезпечення та знизити ризики для особового складу в умовах сучасної війни.

Система керування платформою реалізовано за комбінованим принципом і поєднує дистанційне керування оператором з елементами автономності. Сенсорний комплекс включає систему камер кругового огляду (360°), багатоспектральний тепловізор та лідар, що забезпечує надійну ситуаційну обізнаність в умовах обмеженої видимості та інтенсивних бойових дій.

Захист платформи забезпечується зниженим силуетом, решітчастими протикумулятивними екранами (anti-FPV) та термоекрануванням, що комплексно знижує ймовірність виявлення та ураження платформи.

Застосування безпілотної платформи забезпечує: зниження ризику ураження особового складу за рахунок виключення його перебування в зоні вогневого впливу, скорочення часу реагування на втрату техніки, підвищення ймовірності збереження пошкоджених зразків озброєння і військової техніки;

Зменшення навантаження на штатні евакуаційні підрозділи.

Додатково, використання гібридної електросилової установки [11] розширює функціональні можливості платформи за рахунок забезпечення високих тягових характеристик, адаптивності до змінних навантажень та зниження демаскуючих ознак під час роботи.

Таким чином, з теоретичної точки зору, інтеграція безпілотної евакуаційної платформи у систему АТЗ дозволяє підвищити її стійкість, скоротити час відновлення техніки та мінімізувати втрати особового складу, що відповідає вимогам ведення сучасних високоінтенсивних бойових дій.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У статті обґрунтовано доцільність застосування важкої безпілотної евакуаційної платформи як перспективного напрямку підвищення ефективності системи автотехнічного забезпечення в умовах сучасних бойових дій. Встановлено, що зростання інтенсивності вогневого впливу противника, активне застосування безпілотних літальних апаратів, складність маршрутів евакуації та високі ризики для особового складу суттєво обмежують можливості традиційних ремонтно-евакуаційних засобів. У результаті проведеного дослідження систему автотехнічного забезпечення розглянуто як стохастичну систему, ефективність якої визначається співвідношенням інтенсивності відмов та інтенсивності відновлення. Запропонований інтегральний коефіцієнт загроз дозволив формалізувати вплив основних факторів бойової обстановки на функціонування системи та провести оцінювання її працездатності за різних сценаріїв. Результати математичного моделювання підтвердили, що зі зростанням рівня загроз знижується ймовірність

працездатного стану системи, збільшується середній час простою техніки та погіршується здатність підрозділів своєчасно виконувати завдання з евакуації та відновлення техніки.

Доведено, що впровадження важкої безекіпажної евакуаційної платформи дозволяє підвищити функціональну стійкість системи автотехнічного забезпечення за рахунок скорочення часу перебування пошкодженої техніки в зоні вогневого впливу, зменшення ризиків для особового складу та прискорення початку ремонтно-відновлювальних робіт. Визначено, що найбільший ефект досягається на первинному етапі евакуації, коли використання екіпажних евакуаційних засобів є найбільш небезпечним. Запропонована концепція роботизованої платформи на базі гусеничного шасі з гібридною силовою установкою, дистанційним керуванням та елементами автономності дозволяє ефективно виконувати евакуацію пошкодженої техніки безпосередньо із зони бойового впливу противника. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для обґрунтування напрямів розвитку роботизованих засобів евакуації, удосконалення організації автотехнічного забезпечення та формування вимог до перспективних безпілотних наземних платформ військового призначення.

Перспективи подальших досліджень доцільно спрямувати на уточнення параметрів математичної моделі з урахуванням статистичних даних бойового застосування, проведення імітаційного моделювання процесів евакуації в різних тактичних умовах, а також розроблення методики бойового застосування важких роботизованих евакуаційних платформ. Окремого опрацювання потребують питання автономного руху в умовах радіоелектронної протидії, захисту каналів управління, інтеграції платформи з розвідувальними безпілотними системами та оцінювання ефективності її застосування у взаємодії з ремонтно-евакуаційними підрозділами.

Список використаних джерел

1. Дем'янчук Б. О., Верпівський С. М. Основи автотехнічного забезпечення: моделювання процесів. Одеса: Військова академія, 2015. 330 с.
2. Варваренець Ю. В., Слюсаренко О. І., Циганков П. М. Основні рекомендації з проведення відновлення зразків ОБТ Сухопутних військ Збройних Сил України: досвід та перспективи застосування безпілотних авіаційних та наземних роботизованих комплексів // Збірник наукових праць Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного. Львів, НАСВ. https://asv.mil.gov.ua/sites/default/files/2025-03/1-zbirnyk-tez_2024_.pdf
3. Алексеев В. М., Жук О. В., Матака І. В. Актуальність застосування НРК у сучасному бою // Збірник наукових праць Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного. Львів, НАСВ. https://asv.mil.gov.ua/sites/default/files/2025-03/1-zbirnyk-tez_2024_.pdf
4. Теорія і практика застосування БПЛА/UA Dynamics. – Київ: UA Dynamics, 2023. – 132 с. – URL: PDF-документ. https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/03/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F_%D1%96_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90_ua_dynamics_brochure_.pdf
5. Дачковський В. О. Основи евакуації озброєння та військової техніки: навч. посіб. НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2017. 180 с.
6. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси : монографія. Житомир : ПП «Рута», 2023. 524с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/57111/1/strutynskyi_gurzhiy_nazemni_robotyzovani_kompleks_u.pdf.
7. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року «Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України» : Указ Президента України від 14 березня 2016 р. № 92/2016. – URL: База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/go/92/2016>
8. Козубенко О. ТHeMIS – естонський бойовий робот, за яким полює росія // АрміяInform2022. 5 вересня. URL: <https://armyinform.com.ua/2022/09/05/themis-estonskyj-bojovyj-robot-za-yakym-polyuye-rosiya/>
9. ТHeMIS – естонський бойовий робот, за яким полює росія // Militarnyi. 2022. 5 вересня. URL: <https://militarnyi.com/uk/news/u-ssha-projshly-vognevi-vyprobuvannya-nazemnogo-bezpylotnyka-ripsaw-m5/>
10. Нижник Я. В., Чередніков О. М., Журахов О. В., Захарченко Д. С. Аналіз тактико-технічних характеристик наземних роботизованих комплексів очищення територій, забруднених вибухонебезпечними предметами // Технічні системи та технології. 2025. № 8. С. 112. DOI: 10.37701/ts.08.2025.11
11. Крайник Л. В., Кіхтан А. В., Кохан В. Ф., Волощук М. Я. Концептуальні основи формування гібридного привода автомобіля високої прохідності // Озброєння та військова техніка. 2022. № 27. С. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.10-18>.

Науковий керівник: Маханьков В.А. – старший викладач, Військова академія (м. Одеса).

Рецензент: Коркін О.Ю. д-р філос., Військова академія (м. Одеса).

УДК 623.486:629.33:621.79

БОГУШ О.В. – магістрант

Військова академія (м. Одеса), Україна

ЗАСТОСУВАННЯ 3D-ДРУКУ В СИСТЕМІ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ

У статті досліджено можливості впровадження технологій адитивного виробництва (3D-друку) у систему автотехнічного забезпечення військових підрозділів в умовах сучасних бойових дій. Актуальність теми зумовлена необхідністю оперативного відновлення техніки, скорочення термінів ремонту та зменшення залежності від централізованого постачання запасних частин. В умовах інтенсивного використання військової техніки та ускладненої логістики постає проблема у впровадженні нових технологічних рішень, здатних забезпечити автономність ремонтних підрозділів. Проаналізовано сучасний стан технічного забезпечення, основні проблеми ремонту техніки в польових умовах та перспективи використання мобільних засобів 3D-друку для оперативного виготовлення запасних частин безпосередньо в районі виконання бойових завдань. Особливу увагу приділено можливостям застосування 3D-принтерів для виготовлення крипильних елементів, корпусних деталей, кронштейнів, адаптерів, захисних кожухів та інших допоміжних вузлів. Визначено основні переваги використання адитивного виробництва, серед яких скорочення часу ремонту, зниження логістичного навантаження, зменшення витрат на транспортування та зберігання запасних частин, а також підвищення автономності ремонтних підрозділів. Окремо обґрунтовано практичну доцільність використання Raspberry Pi та програмного забезпечення OctoPrint для організації автономного керування процесами друку. Запропоновано структуру мобільного ремонтного підрозділу та проведення порівняльного аналізу економічної ефективності традиційного виробництва деталей і адитивного виробництва. Встановлено, що собівартість окремих деталей може бути значно нижчою в порівнянні з традиційними методами, що підтверджує перспективність впровадження у систему технічного забезпечення ЗСУ.

Ключові слова: 3D-друк, адитивне виробництво, автотехнічне забезпечення, військова техніка, ремонт, запасні частини.

Постановка завдання. У сучасних умовах ведення бойових дій питання оперативного відновлення автомобільної техніки набуває особливої актуальності. Висока інтенсивність експлуатації військових транспортних засобів, складність логістики постачання запасних частин та необхідність швидкого повернення техніки до строю вимагають пошуку нових рішень.

Водночас логістичне забезпечення запасними частинами часто ускладнюється через активні бойові дії та обмежені можливості централізованого постачання. Це негативно впливає на оперативність ремонту та рівень технічної готовності автомобільної техніки військових підрозділів [2, 4].

У таких умовах особливого значення набуває впровадження новітніх технологій, здатних забезпечити автономність ремонтних підрозділів та оперативне виготовлення необхідних деталей безпосередньо у районі виконання бойових завдань. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання технологій 3D-друку [1, 3].

Актуальність проблеми зумовлена необхідністю підвищення автономності ремонтних підрозділів, скорочення часу відновлення техніки та зниження залежності від централізованих складів запасних частин. Використання технологій адитивного виробництва дозволяє скоротити час ремонту техніки, знизити логістичне навантаження та забезпечити швидке виготовлення окремих запасних частин безпосередньо у польових умовах [3, 5].

Крім того адитивне виробництво активно впроваджується у військових структурах провідних країн світу, що підтверджує перспективність їх використання у системі технічного забезпечення Збройних Сил України [1].

Мета статті є дослідження можливостей застосування технологій 3D-друку в системі автотехнічного забезпечення підрозділів та обґрунтування доцільності застосування використання мобільних адитивних технологій для ремонту автомобільної техніки.

Виклад основного матеріалу. 3D-друк є технологією пошарового створення виробів на основі цифрової моделі. На відміну від традиційних методів механічної обробки, адитивне виробництво дозволяє швидко виготовляти складні деталі без використання великої кількості обладнання [1].

У системі автотехнічного забезпечення адитивних технологій можуть використовуватися для виготовлення:

- кріпильних елементів;
- корпусних деталей;
- захисних кожухів;
- кронштейнів;
- адаптерів;
- елементів систем кріплення;
- тимчасових ремонтних вузлів.

Особливо ефективним є використання адитивних технологій для тимчасового відновлення працездатності техніки до проведення повноцінного ремонту [2, 3].

Оперативне виготовлення таких деталей дозволяє уникнути простою техніки та скоротити терміни відновлення.

Таблиця.1.

Порівняння можливостей друку за допомогою різних матеріалів

Матеріал	Міцність	Температурна стійкість	Сфера застосування
PLA	Середня	Низька	Корпусні елементи
PETG	Висока	Середня	Кріплення
ABS	Висока	Висока	Технічні вузли

Для забезпечення автономного керування 3D-принтерами доцільним є використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi у поєднанні з програмним забезпеченням OctoPrint.

Основні переваги такого рішення:

- дистанційне керування друком;
- контроль параметрів роботи принтера;
- моніторинг стану друку;
- зменшення потреби у постійній присутності оператора;
- можливість роботи в польових умовах;
- компактність і низьке енергоспоживання.

Таке рішення дозволяє організувати мобільний друкарський модуль, який може бути інтегрований до пересувних ремонтних засобів [1, 3].

Досвід США свідчить про активне використання 3D-принтерів для друку запасних частин безпосередньо в зоні виконання бойових завдань. Україні також передавалися 3D-принтери для виготовлення необхідних комплектуючих для військової техніки [4].

Особливо ефективним є використання технології для техніки, яка має складну логістику постачання або експлуатується в умовах постійного дефіциту запасних частин.

3D-друк дозволяє:

- скоротити логістичні витрати;
- зменшити залежність від централізованих складів;
- підвищити автономність підрозділів;
- скоротити час відновлення техніки;
- забезпечити гнучкість ремонтних рішень [1, 2].

Разом із перевагами існують певні обмеження:

- не всі деталі можуть бути виготовлені методом 3D-друку;
- обмеження за міцністю матеріалів;
- необхідність створення цифрових моделей;
- потреба у кваліфікованому персоналі;
- залежність від джерел живлення;
- потреба у контролі якості надрукованих виробів [1, 5].

Тому технологія повинна розглядатися не як повна заміна традиційного ремонту, а як ефективний допоміжний інструмент [2, 3].

Порівняльний аналіз вартості виготовлення деталей традиційним способом та методом 3D-друку.

Однією з важливих переваг використання технологій 3D-друку в системі автотехнічного забезпечення є суттєве зниження вартості виготовлення окремих запасних частин, особливо у випадках дрібносерійного виробництва або термінового ремонту в польових умовах. Традиційне виготовлення деталей передбачає використання верстатного обладнання, залучення значної кількості персоналу, транспортування комплектуючих та тривалі логістичні процедури [2].

У свою чергу, адитивне виробництво дозволяє створювати необхідні елементи безпосередньо на місці експлуатації техніки, використовуючи цифрову модель та мінімальний набір обладнання.

Особливо це актуально для пластикових корпусних елементів, кронштейнів, захисних кожухів, кріплень, адаптерів та допоміжних технічних вузлів [1, 3].

Таблиця 2.

Порівняльна вартість оригінальних деталей ВАТ та собівартості їх виготовлення методом 3D-друку

Деталь	Оригінальна ціна (грн)	Собівартість друку (грн)	Економія
Кріплення, скоба	2 000–6 000	10–50	120–300 разів
Корпус датчика	3 000–9 000	30–100	~100 разів
Втулка, шестерня	1 500–4 000	50–300	10–20 разів
Монтажний елемент	5 000–25 000	100–500	50–100 разів

За результатами аналізу встановлено, що середня собівартість виготовлення окремих деталей методом 3D-друку може бути на 30–60% нижчою порівняно з традиційними способами виробництва, особливо за умов обмеженої логістики та необхідності термінового ремонту (рис. 1).

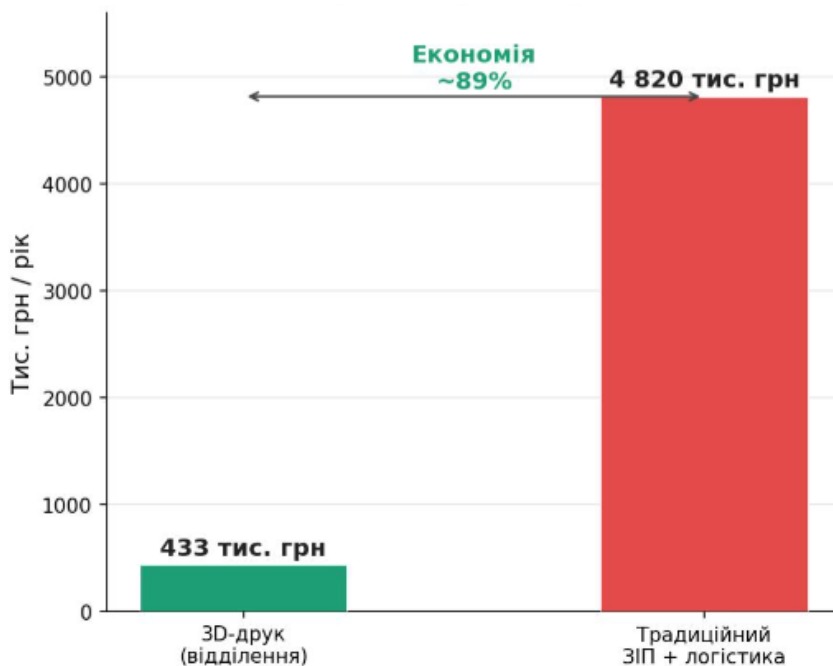


Рис. 1 – Порівняння річних витрат на деталі ВАТ: метод 3D-друку та традиційний ЗІП

Для практичного впровадження технологій адитивного виробництва доцільним є створення мобільного ремонтного модуля 3D-друку у складі пересувних ремонтних засобів. Такий підрозділ може функціонувати як окремий елемент системи технічного забезпечення батальйону або бригади.

До складу підрозділу доцільно включити:

- оператора 3D-принтера;
- спеціаліста з цифрового моделювання;
- техніку з обслуговування обладнання;
- комплект мобільних 3D-принтерів;

- Raspberry Pi для автономного керування;
- систему живлення (генератор, акумулятори);
- комплект матеріалів для друку (PLA, PETG, ABS, Nylon);
- ноутбук із програмним забезпеченням для створення та редагування моделей.

Такий підхід дозволяє забезпечити автономність роботи, оперативне виготовлення деталей та зменшення навантаження на центральні ремонтні бази [2, 3].

Наукова новизна дослідження полягає у можливості створення мобільних ремонтних модулів для оперативного виготовлення деталей допоміжних елементів автомобільної техніки безпосередньо в районі виконання завдань.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що впровадження технологій 3D-друку в систему автотехнічного забезпечення військових підрозділів є перспективним напрямом підвищення ефективності ремонтно-відновлювальних робіт [1, 2].

Застосування адитивного виробництва дозволяє суттєво скоротити терміни ремонту автомобільної техніки, знизити логістичне навантаження, підвищити автономність ремонтних підрозділів та забезпечити оперативне виготовлення необхідних запасних частин безпосередньо в польових умовах.

Використання Raspberry Pi та OctoPrint створює можливість формування мобільних автономних комплексів 3D-друку, що є особливо актуальним в умовах сучасних бойових дій [1,2].

Перспективами подальших досліджень є розробка практичних методик впровадження мобільних систем 3D-друку у штатну структуру ремонтних підрозділів Збройних Сил України, а також визначення переліку деталей, найбільш придатних для оперативного адитивного виробництва [3].

Список використаних джерел

1. Альзейн Т. Дослідження «Масштабний 3D-друк – аналіз ринку». 2023. С. 2–12.
2. Дем'янчук Б.О., Вернівський С.М., Меленчук В.М. Основи автотехнічного забезпечення. Одеса: Військова академія, 2015. 220 с.
3. Кливняк О. Удосконалення технологічних процесів ремонту автомобільної техніки шляхом застосування пересувних ремонтних засобів у бойових умовах. Одеса, 2025. 80 с.
4. США передали Україні 3D-принтери для друку запчастин / Мілітарний. 2023. 21 верес. URL: <https://military.com/uk/news/ssha-peredaly-ukrayini-3d-pryntery-dlya-druku-zapchastyn/>
5. Про затвердження Інструкції про порядок технічного забезпечення ракетно-артилерійського озброєння у Збройних Силах України : Наказ Міністерства оборони України від 05.08.2013 № 541. / Міністерство оборони України. – К. : [б. в.], 2013.

Науковий керівник: Угольніков О., канд. фіз.-мат. наук, доц., Військова академія (м. Одеса).

Рецензент: Лебедєв Б., кафедри, канд. наук, доц., Військова академія (м. Одеса).

ВИМОГИ ДО СТАТЕЙ

для публікації в збірнику наукових праць курсантів і студентів Військової академії (м. Одеса)
«Національна безпека України»

Вимоги до змісту статей

За змістом стаття, яка подається до редакції, повинна відповідати профілю підготовки за спеціальністю, є самостійним науковим дослідженням, має внутрішню єдність і відображає хід і результати розробки обраної теми. Стаття повинна відповідати сучасному рівню розвитку науки, відображати як загальнонаукові, так і спеціальні методи наукового пізнання, правомірність, містити принципово новий матеріал, наводити вагомий і переконливий докази на користь обраної теми та тематиці збірника («Національна безпека України. Збірник наукових праць курсантів і студентів»). Мови статті: українська, англійська.

Вимоги до структурних елементів статті

Анотація: коротка характеристика роботи мовою основного тексту, що містить перелік основних питань статті.

Ключові слова: певні слова з тексту, за якими може вестися пошук наукової статті в мережі Інтернет та здатні надати уявлення про зміст пропонованої статті, оптимальний обсяг 5-8 слів - шрифт Times New Roman, кегль 11, курсив, пропускається рядок.

Постановка проблеми: сутність наукової проблеми, її значення, підстави й вихідні дані для розробки теми, стан розробленості, обґрунтування необхідності проведення дослідження.

Актуальність проблеми: формулюється доцільність роботи для розвитку відповідної галузі науки шляхом аналізу та порівняння з відомими рішеннями проблеми.

Мета статті і завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

Виклад основного матеріалу: огляд спеціальної літератури, методи дослідження, використані для досягнення мети; матеріал дослідження і його обсяг; наукова новизна; практичне значення одержаних результатів.

Висновки мають містити стисле викладення теоретичних і практичних результатів, що отримані автором, а також обґрунтування перспектив проведення подальших досліджень.

Список використаних джерел складають відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи ДСТУ 8302:2015. Бібліографічні описи документу. Загальні вимоги і правила складання.

Вимоги до набору та оформлення статей

1. Обсяг: комп'ютерний набір – 4–10 сторінок машинописного тексту, формат аркуша А4, розмір полів: зверху – 2,5 см, знизу – 2,5 см, ліве – 2 см, праве – 2 см. Сторінки не нумеруються.

2. УДК – шрифт Times New Roman, кегль 11, вирівнювання по лівому полю без абзацного відступу. Немає пропуску рядка.

3. Автор (прізвище та ініціали), зазначити статус (курсант, студент, магістрант), – шрифт Times New Roman, кегль 11, напівжирний, прямий, вирівнювання по лівому полю без абзацного відступу. Решта авторів оформлюється так само з нової строки. Немає пропуску рядка.

4. Назва організації – місце навчання, роботи або служби автора (авторів), Times New Roman, кегль 11, курсив, вирівнювання по лівому полю без абзацного відступу. Також зазначається місто, де

знаходиться ВНЗ (якщо в назві закладу є назва міста, то не потрібно зазначати). Якщо автори статті з різних навчальних закладів (установ), то належність кожного визначається за допомогою надстрочного позначення цифрами. Пропускається рядок.

5. Назва статті – шрифт Times New Roman, кегль 11, великі напівжирні літери, вирівнювання по центру без абзацного відступу, пропускається рядок.

6. Анотація (мовою основного тексту статті, обсяг – до 10 рядків) – шрифт Times New Roman, кегль 11, курсив, вирівнювання за шириною, абзацний відступ 0,75 см, міжрядковий інтервал одинарний.

7. Ключові слова – шрифт Times New Roman, кегль 11, курсив, пропускається рядок.

8. Текст статті розташовується у один стовпчик, відступ першого рядка абзацу – 0,75 см, вирівнювання – за шириною, шрифт Times New Roman, кегль 11, накреслення пряме, міжрядковий інтервал одинарний.

Відступ підзаголовків, структурних елементів статті, таблиць, рисунків, формул, від тексту зверху 6 пт, знизу 6 пт.

Посилання на літературу (джерела інформації) зі списку використаних джерел вказується у квадратних дужках, за необхідності з визначенням сторінки, наприклад [3, с. 54–55].

Забороняється для форматування тексту статті використовувати пропуски, табуляцію і т.п., а також встановлювати ручне перенесення.

Між значеннями величини та значенням одиниць її виміру обов'язково використовувати нерозривний пропуск (Ctrl+Shift+пропуск).

9. Набір формул – редактор формул Microsoft Equation:

– змінні, латинські літери - курсив, Times New Roman;

– стандартні математичні функції, цифри, українські літери – накреслення пряме, Times New Roman;

– матриці, вектори – напівжирний, накреслення пряме, Times New Roman;

– грецькі літери, символи – накреслення пряме, Symbol.

Розміри: звичайний індекс 11 пт, великий індекс 7 пт, малий індекс 6 пт, великий символ 14 пт, малий символ 11 пт.

Виключення становлять ті символи операторів, що набираються прямим шрифтом, наприклад, диференціала d , оператора Лапласа p , уявної одиниці j або i , основи натуральних логарифмів e і стандартних функцій, наприклад, $\cos$, $\arctg$, $\ln$, $\lg$, sign і т.п. У десяткових дробах ціла частина відділяється комою (а не крапкою).

Формули центрують, а ті, на які є посилання – нумерують. Нумери формул вказують у круглих дужках і вирівнюють по правому полю сторінки.

Забороняється використовувати для набору формул графічні об'єкти, кадри й таблиці.

Наприклад:

Значення суми квадратів відхилень визначають за виразом:

$$Q_x = \left[\sum_{ij}^{pq} (\sum_k^n X_{ijk})^2 \right] / n - H, \quad (1)$$

де $(\sum_k^n X_{ijk})^2$ – квадрат суми чисел кожного ij -го члена дисперсійної системи;

H – середнє значення квадрату суми чисел.

Таблиця, як правило, розташовується під текстом після першого згадування або на наступній сторінці. Якщо таблиця виходить за формат сторінки, її розділяють на частини, при цьому в кожній частині повторюють заголовок таблиці.

Слово «Таблиця» вказують курсивом один раз над заголовком таблиці, над іншими частинами пишуть «Продовження таблиці» зі вказівкою її номера. Назву таблиці вказують жирним шрифтом без крапки в кінці. До і після назви таблиці встановлюють інтервали у 6 пт.

На кожну таблицю має бути посилання у тексті статті.

Наприклад:

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

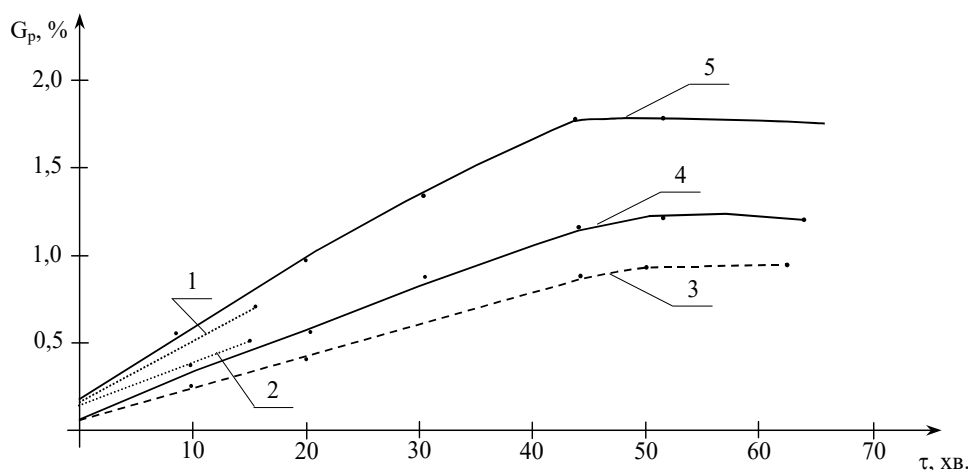
Зразки	Тривалість, хв.			
	20	30	40	50
Перший	2,1	3,4	3,8	4,5
Другий	2,4	3,1	4,0	4,8
Третій	2,2	3,5	3,9	4,6

Рисунки, діаграми і графіки створюються чорно-білими. Допускається використання діаграм і графіків Microsoft Excel у градаціях чорного. Максимальний розмір поля рисунку за шириною не має перевищувати 160 мм.

На кожний рисунок у тексті статті має бути посилання. Рисунки подаються одразу після посилання на них в дужках, наприклад, (рис. 1) або в тексті, наприклад, «...як показано на рис. 3».

Рисунки нумерують і підписують – шрифт Times New Roman, кегль 10, напівжирний, вирівнювання – по центру. Розшифрування позначень роблять перед назвою рисунка курсивом. Перед і після назви рисунка – інтервал 6 пт. Підписи під рисунком, номери та назви сканованих рисунків виконують лише у редакторі Microsoft Word, а не сканують разом з рисунком.

Не допускаються кольорові та фонові рисунки.



1 – контрольний зразок № 1; 2 – контрольний зразок № 2;
3 – контрольний зразок № 3; 4 – контрольний зразок № 4;
5 – контрольний зразок № 5

Рис. 2. Експериментальні дослідження

Наприклад:

1. Бібліографічний список виділяється підзаголовком «Список використаних джерел» (шрифт Times New Roman, кегль 12, прямий, напівжирний) та оформлюється згідно із міждержавним стандартом ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 (шрифт Times New Roman, кегль 11, курсив).

2. Наводяться відомості про наукового керівника: ПІБ, наукова ступінь, вчене звання, посада, назва організації, місто та країна – шрифт Times New Roman, кегль 11.

3. Наводяться відомості про рецензента (ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва організації, місто та країна) – шрифт Times New Roman, кегль 11, пропускається рядок.

4. На адресу редколегії (65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10) на e-mail: **zbinyk.kurs@gmail.com** надсилається:

стаття, оформлена згідно наведених вимог в електронному вигляді, редактор Word Microsoft 97 (або пізніші версії) та у вигляді формату .pdf, назва файлу за прізвищем автора (або першого зі списку авторів, наприклад, Шевченко.doc);

рецензія на статтю (якщо висилається на електронну адресу, сканована копія з печаткою установи);

дані про автора (авторів) статті: прізвище, ім'я, по-батькові, посада (організація, заклад), місто та країна, контактний телефон, e-mail. Подається на окремому аркуші зі статтею (у паперовому вигляді), при наданні статті в електронному вигляді, дані про автора (авторів) подаються наприкінці статті на окремому аркуші.

Автор статті несе відповідальність за правильність і достовірність викладеного матеріалу, належність останнього йому особисто, точність викладених у роботі фактів (даних) та якість перекладу цитат з іншомовних джерел (за наявності).

Наукове видання

НАЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ

Збірник наукових праць курсантів

Випуск 5

Частина 1

Редактори

Оленєв М. В., Альбещенко О. С.

Комп'ютерна верстка

Труш С. Й.

Адреса редакції: 65009, м. Одеса, вул. Фонтанська дорога, 10, Військова академія (м. Одеса)

Тел.: (0482) 63-76-60,

E-mail: va_odesa@post.mil.gov.ua

*Надруковано з готового оригінал-макета
у друкарні Військової академії (м. Одеса)*

Підписано до друку 20.05.2026 р.

Формат 297х420/2. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Авт.арк. – 3,09. Обл.вид.арк. – 3,19. Друк.арк. – 17. Ум.друк.арк. – 3,91.

Замовлення № 329 РВВ ВА 2026. Наклад 5 прим.

