

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-73>

УДК 004.9:005.4:358.1

РУБЕЛЬ ЮРІЙ

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0009-0003-1891-2446>

e-mail: yurii.b.rubel@lpnu.ua

ГРИЦЮК ЮРІЙ

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0001-8183-3466>

e-mail: yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua

СУЧАСНИЙ СТАН АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ УСТАНОВОК

Виявлено особливості функціонування та тенденції розвитку сучасних автоматизованих систем управління вогнем (АСУВ) артилерійських установок на прикладі зарубіжних та українських розробок. Проаналізовано основні характеристики систем, такі як тривалість розгортання, точність наведення, ступінь автоматизації та інтеграція з іншими видами озброєнь, за допомогою методів порівняльного аналізу, з використанням аналітичного огляду наукових джерел. Встановлено, що провідними тенденціями у вдосконаленні АСУВ є впровадження штучного інтелекту для оптимізації траєкторії стрільби та прогнозування бойових сценаріїв, що дає змогу значно скоротити тривалість реакції та істотно підвищити точність артилерійського вогню. Охарактеризовано вплив таких систем, як німецька "MONARC", чеська "PVNPG-14M" та українські "Кропива", "Delta" і "Combat", на оперативність ухвалення бойових рішень, точність ураження цілей і скорочення тривалості реакції артилерійських підрозділів за умов реальних бойових операцій. З'ясовано, що використання портативних та мобільних пристроїв із відповідним програмним забезпеченням, як це реалізовано в українській системі "Кропива", дає змогу значно скоротити тривалість розгортання й мінімізувати ризик людських помилок під час передачі й оброблення бойової інформації. Виявлено також істотні недоліки АСУВ, серед яких особливо виділяються високі вимоги до кваліфікації операторів, ризики кібератак і складність адаптації до динамічно змінних умов електронної протидії. Встановлено потребу подальшого розвитку протоколів захисту інформації та стандартів сумісності систем відповідно до міжнародних вимог НАТО. Визначено перспективні напрями удосконалення АСУВ шляхом глибшої інтеграції штучного інтелекту, розширення взаємодії з безпілотними платформами й подальшого підвищення рівня автоматизації ухвалення рішень.

Ключові слова: автоматизоване управління вогнем артилерії, бойова ефективність, коригування стрільби, мережево-центрична взаємодія, алгоритми машинного навчання, штучний інтелект.

RUBEL YURIY**HRYTSIUK YURIY**

Lviv Polytechnic National University

CURRENT STATE OF AUTOMATED FIRE CONTROL SYSTEMS FOR ARTILLERY SYSTEMS

This study identifies the operational characteristics and development trends of contemporary Automated Fire Control Systems (AFCS) for artillery units, based on the analysis of both international and Ukrainian implementations. Using comparative analysis and a structured review of scientific literature, the research evaluates key performance indicators such as deployment time, targeting accuracy, degree of automation, and system interoperability with other weapon platforms.

The study reveals that one of the leading trends in AFCS advancement is the integration of artificial intelligence (AI) for trajectory optimization and combat scenario forecasting. Consequently, these improvements enable a substantial reduction in response time and significantly enhance the accuracy of artillery fire.

For example, systems like the German "MONARC," the Czech "PVNPG-14M," and the Ukrainian "Kropyva," "Delta," and "Combat" demonstrate marked improvements in tactical decision-making, precision targeting, and reaction speed during real-world combat engagements. Moreover, the use of portable and mobile platforms with embedded software—exemplified by Ukraine's "Kropyva" system—proves effective in minimizing setup time and reducing the likelihood of human error in transmitting and processing fire control data.

The analysis also identifies several critical limitations inherent in current AFCS, including high operator skill requirements, susceptibility to cyberattacks, and challenges in adapting to rapidly evolving electronic warfare environments. As a result, the study underscores the need for further development of cybersecurity protocols and interoperability standards aligned with NATO guidelines.

The benefits of this study lie in defining promising directions for AFCS enhancement, such as deeper integration of AI algorithms, expanded cooperation with unmanned platforms, and a higher degree of automation in decision-making processes.

Keywords: automated artillery fire control, combat effectiveness, fire correction, network-centric interaction, machine learning algorithms, artificial intelligence.

Стаття надійшла до редакції / Received 20.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 16.06.2025

Вступ

Автоматизовані системи управління вогнем артилерійських установок (АСУВ) розглядаються як один із найважливіших чинників швидкого і точного застосування вогневих засобів у сучасних конфліктах [20]. У ряді наукових праць [13, 24] досліджуються шляхи вдосконалення програмно-алгоритмічних рішень для розрахунку балістичних параметрів та підвищення рівня автоматизації. Також пропонуються вдосконалені алгоритми підготовки даних для стрільби й інтеграція систем підтримки прийняття рішень, що підвищують ефективність артилерійського ураження [2]. Одним з провідних напрямів розвитку є мережево-центрична інтеграція АСУВ у єдиний інформаційний простір [14,19], а також впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) для автоматизації ключових функцій, зокрема – прогнозування траєкторії польоту снаряда та ідентифікації цілей для нанесення ударів [22, 25].

Водночас, залишається низка не вирішених питань: не до кінця реалізовано комплексну інтеграцію АСУВ у мережево-центричні середовища [14, 20], бракує сталих протоколів для сумісності з безпілотними розвідувальними системами [20], а впровадження ШП відбувається фрагментарно [25, 26]. Це ускладнює своєчасне надходження даних про ціль, швидке коригування вогню та оперативну взаємодію з іншими бойовими платформами [19, 20]. Отже, розроблення уніфікованих методів і технічних рішень, здатних забезпечити надійну інтеграцію та високу точність стрільби, залишається актуальним завданням. В умовах сучасних динамічних бойових дій, де швидкість і точність реагування артилерії значною мірою визначають успіх операцій, подальше вдосконалення АСУВ є вкрай необхідним.

Формулювання цілей статті

Об'єкт дослідження: з'ясування сучасного стану автоматизованих систем управління вогнем артилерійських установок.

Предмет дослідження: методи і засоби визначення стану автоматизованих систем управління вогнем, які дають змогу підвищити точність стрільби та оперативність прийняття бойових рішень в умовах сучасних бойових дій.

Метою роботи є: визначення сучасного стану та напрямів вдосконалення автоматизованих систем управління вогнем, що забезпечить їхню інтеграцію у мережево-центричний інформаційний простір та підвищить рівень їх ефективного застосування в умовах динамічних змін бойових обстановок.

Для досягнення зазначеної мети дослідження визначено такі основні **завдання дослідження:**

- Узагальнити сучасні підходи до побудови автоматизованих систем управління вогнем артилерійських установок із урахуванням зарубіжного та українського досвіду, що дасть змогу виявити найбільш ефективні рішення для їх практичного впровадження та визначити пріоритетні напрями подальших розробок;
- Здійснити порівняльний аналіз характеристик відібраних АСУВ, зокрема – швидкості розгортання, точності наведення, ступеня автоматизації й інтеграції з іншими бойовими системами, що дасть можливість визначити сильні та слабкі сторони кожної системи та обґрунтувати найбільш перспективні шляхи їх удосконалення з урахуванням реальних бойових умов;
- Визначити основні технологічні тренди розвитку АСУВ, враховуючи використання штучного інтелекту, мережево-центричної взаємодії та безпілотних платформ для коригування вогню, що забезпечить підвищення оперативності прийняття рішень, скорочення тривалості реагування артилерійських підрозділів та суттєве покращення точності й ефективності виконання бойових завдань;
- Встановити переваги та недоліки існуючих АСУВ, що дозволить не лише об'єктивно оцінити їхню ефективність в умовах сучасних бойових дій, а й забезпечить методологічне підґрунтя для формування обґрунтованих напрямів їх подальшої модернізації та адаптації до вимог мережево-центричних операцій.

Аналіз досліджень і публікацій

Сучасні автоматизовані системи управління вогнем мають тривалу історію поступового переходу від суто механічних та ручних методів розрахунку до складних інформаційно-технічних комплексів [1, 2, 4]. Ранні дослідження були спрямовані переважно на вдосконалення балістичних розрахунків і визначення параметрів стрільби. Водночас, як сучасні автоматизовані системи зосереджені на інтелектуальному управлінні вогнем артилерійських установок [11, 13, 22].

У роботі [1] наведено багатоступеневий метод оптимізації конструкції артилерійської установки, що дає змогу підвищити ефективність внутрішньої балістики. Ця робота заклала теоретичне підґрунтя для подальших спроб інтегрувати в обчислювальний процес ведення артилерійського вогню ключових конструкторських параметрів гармати. У дослідженні [2] проаналізовано ефективність стрільби по великорозмірних цілях та наголошено, що врахування різноманітних кутів розміщення об'єктів істотно впливає на точність вогню.

Робота [3] досліджує ймовірність знищення цілі в умовах зенітно-артилерійського вогню, акцентуючи увагу на вплив помилки прогнозування траєкторії цілі. Підхід, описаний у дослідженні [4], пропонує загальний принцип побудови точності стрільби артилерії: від детального опису кінематики й динаміки польоту снаряда – до аналізу впливу конкретних факторів (знос нарізів, стан дульного зрізу тощо).

Подальша комп'ютеризація процесів розрахунку параметрів стрільби простежується в роботі [5], де застосовано методи цифрового оброблення сигналів для обчислення зовнішньої балістики в режимі реального часу. Уже на цьому етапі чітко видно прагнення розробників до зменшення часу на визначення установок для стрільби та збереження або навіть підвищення точності. Дослідження [6] закладає основи створення системи підтримки прийняття рішень в артилерійських підрозділах тактичного рівня, де визначено структуру та необхідні алгоритмічні рішення для оброблення балістичної інформації.

Упродовж початкового етапу розвитку АСУВ дослідники зосереджувалися насамперед на математичному та алгоритмічному вдосконаленні процесу розрахунку траєкторії стрільби артилерії, що з часом переросло у створення складніших автоматизованих систем для підвищення точності артилерії [4]. Водночас сучасні АСУВ вже є комплексними апаратно-програмними системами, здатними до мережевого обміну даними, використання технологій штучного інтелекту й інтеграції різноманітної інформації (розвідані, метеорологічні дані, координати цілей) [13, 22].

З огляду на світовий досвід можна виділити декілька характерних тенденцій та інновацій. Значну увагу приділено створенню ефективних методів імітаційного моделювання та перевірки роботи систем управління вогнем як в дослідженні [7], де розглянуто побудову бази даних для балістичних розрахунків та автоматизованої передачі інформації. В дослідженні [8] описано підхід до динамічного розрахунку зони вогню в зенітно-артилерійських системах, що дає змогу оперативно визначити ймовірність ураження цілі за різних сценаріїв її руху. Актуальними залишаються й алгоритми вибору оптимальних вогневих засобів, що описано в роботі [9], з використанням генетичних підходів, щоб максимізувати ураження бойових цілей залежно від їх типу.

Також важливим напрямом є удосконалення засобів управління реактивними артилерійськими системами. У дослідженні [10] запропоновано використання розширеного фільтра Калмана та LQG-регулятора для точнішого наведення та зменшення випадкових відхилень. Не менш значущий аспект – стандартизація і взаємодія в межах коаліційних операцій. Наприклад, в роботі [11] аналізується перехід армії Чеської Республіки до стандартів НАТО з використанням автоматизованої C2I (англ. *Command and Control Information*) системи, а в роботі [12] розглянуто специфіку контролю електричних параметрів гармати, що є складовою частиною комплексного управління вогнем.

Інший приклад сучасного підходу – модульна концепція морської артилерії "MONARC", описана в роботі [13], де висока точність досягається за рахунок інтеграції потужних самохідних гаубиць (PzH 2000) і спеціальних алгоритмів управління вогнем у морському середовищі. Натомість праця [14] досліджує нову автоматизовану систему управління вогнем артилерійських підрозділів "PVNPG-14M" із наголосом на питаннях сумісності та застосування стандартів взаємодії. У роботі [15] уже продемонстровано впровадження згорткових нейронних мереж (CNN) для визначення вибухової точки, що може значно прискорити процес навчання й оцінювання ефективності артилерійських контрзаходів.

Вітчизняні науковці й виробники також активно займаються створенням та вдосконаленням автоматизованих систем управління вогнем. Зокрема, у дослідженні [16] показано можливості програмного комплексу "Кропива", що дедалі частіше використовується в підрозділах Національної гвардії України як елемент перспективної автоматизованої системи управління. Робота акцентує увагу на зручності орієнтування місцевості, електронному відображенні тактичної обстановки та оперативному визначенні координат цілі.

Не менш цікавою є праця [17], де проаналізовано моделювання бойової роботи артилерійської установи з урахуванням тактичних факторів (переміщення вогневих позицій, витрати снарядів). Авторами розроблено модель управління бойовими завданнями, що дає змогу знайти оптимальні траєкторії для уникнення уражень від ворожої артилерії.

У дослідженні [18] висвітлено математичну модель для бойових машин реактивної артилерії, що здатна коригувати установки для стрільби з урахуванням температури, вітру та інших змінних. Перевагою є швидка адаптація до зміни обстановки та підвищення точності визначення параметрів стрільби, що особливо важливо для сучасних динамічних умов бою.

Окремо варто відзначити роботу [19], у якій проаналізовано можливість об'єднання кількох програмних систем, от як, "Delta", "Combat" та "Кропива" в єдиний інформаційний комплекс для підвищення ефективності застосування артилерії. Комплексний підхід дає змогу скоротити час передачі даних, підвищити точність інформації й покращити загальну узгодженість дій підрозділів.

У праці [20] автори наголошують на відсутності повноцінної автоматизованої системи управління вогнем (АСУВ) ракетних військ і артилерії у Збройних Силах України та вказують на потребу в масштабному проєкті зі створення такої системи. Дослідження охоплює проблемні питання розроблення, впровадження та застосування АСУВ з урахуванням специфіки сучасних бойових дій, що підтверджує актуальність теми для вітчизняної військової сфери.

Як видно з аналізу останніх досліджень і публікацій, в українських виданнях простежується бажання не тільки інтегрувати світові досягнення, а й створювати власні технологічні рішення. Проте, залишається низка відкритих питань – від браку достатнього фінансування до уніфікації програмно-апаратних засобів з урахуванням міжнародних стандартів та специфічних вимог реального театру бойових дій.

Виклад основного матеріалу

Порівняльний аналіз досліджуваних систем. Порівняння різних автоматизованих систем управління вогнем (АСУВ) потребує врахування низки взаємопов'язаних параметрів, серед яких найважливішими є тривалість розгортання, точність наведення, сумісність із різними бойовими платформами та рівень інтеграції у мережево-центричні системи управління. Проведене дослідження охопило і зарубіжні, і вітчизняні розробки, а також експериментальні зразки з елементами штучного інтелекту. Основна увага приділялася тому, наскільки швидко система здатна переходити з стандартного в бойовий режим (тривалість розгортання), наскільки ефективно вона враховує балістичні поправки (точність наведення) та чи має здатність приймати дані з різних джерел (інтеграція з іншими видами озброєння).

Враховувався також ступінь автоматизації процесів прийняття рішень, зокрема – наявність алгоритмів штучного інтелекту для розпізнавання цілей чи коригування вогню у режимі реального часу. Ці відомості було взято з наукових досліджень [11, 13, 14, 15, 16, 21, 22] та використано в таблиці, де наведено ключові характеристики низки АСУВ, що вирізняються масштабом застосування та технологічними рішеннями.

Таблиця 1

Порівняння АСУВ за їх ключовими характеристиками

Система	Країна / Розробник	Тривалість розгортання	Точність наведення	Інтеграція з іншими озброєннями	Особливості
MONAR C [13]	Німеччина / Кооперація між судно-будівними та артилерійськими компаніями	Перехід у бойовий режим займає декілька хвилин, оскільки система призначена для корабельної платформи і вимагає синхронізації датчиків	Висока, дальність стрільби до 50 морських миль, реалізує складну балістику в реальному часі	Орієнтована на морські платформи, проте сумісна з гаубицями PzH 2000 та іншими системами НАТО	Модульна концепція для встановлення на фрегатах, швидкі обчислення параметрів траєкторії, робота в умовах руху корабля
PVNP-14M [11, 14]	Чехія / Армія Чеської Республіки	Швидке розгортання за рахунок спрощених процедур C2I (Command & Control Information), потребує мінімальних налаштувань	Середня, точність залежить від швидкості та якості обміну даними між елементами системи	Повна сумісність із стандартами НАТО та можливе розширення для інтеграції з іншими родами військ	Використовує єдине інформаційне поле для планування вогню, враховує асиметричні операції, забезпечує зручний інтерфейс, Data Binding
"Кропива" [16]	Україна / Вітчизняні IT-компанії	Розгортання займає лічені хвилини за умови наявності планшетів чи ноутбуків із відповідним ПЗ, залежить від готовності підрозділу	Досить висока, забезпечує точне нанесення цілей на електронну карту й автоматизоване розрахування установок	Може обмінюватися даними з іншими вітчизняними системами "Delta", "Combat" та передавати інформацію у загальний інформаційний комплекс	Орієнтована на мобільні платформи, проста в освоєнні, істотно скорочує тривалість реакції підрозділу та ризики помилкового введення даних
"Delta" & "Combat" [19]	Україна / IT-команда під егідою Міноборони	Залежить від інфраструктури зв'язку, типово швидкий перехід у бойовий режим за умови стабільної роботи мережі	Висока, комплексні алгоритми оброблення координат, зв'язання з базами даних, уніфіковані карти	Взаємодіють одна з одною та з іншими компонентами єдиного інформаційного середовища, можуть інтегруватися з безпілотними системами	Мережево-центрична архітектура, гнучка конфігурація, можливість швидкого внесення коректив, підходить для різних артилерійських платформ
AI-рішення [15, 21, 22]	Різні країни / Експериментальні зразки (в т. ч. США, Китай, Україна, країни ЄС)	Варіюється від декількох годин до декількох днів (залежить від навчання нейромережі та попередньої підготовки даних)	Дуже висока при успішному налаштуванні моделей, здатна враховувати сотні параметрів (метео, балістика, рел'єф)	Інтеграція зазвичай пілотна, деякі проєкти передбачають взаємодію з наявними системами управління через API або спеціальні модулі	Використовують методи глибинного навчання (CNN, MLP тощо) для розпізнавання цілей і коригування траєкторії, потребують високих обчислювальних ресурсів та фахової підтримки

Як видно з табл. 1, система "MONARC" [13] має унікальну особливість застосування на морських платформах. Її продуктивність обумовлена потребою в реальному часі обчислювати параметри для ведення вогню по рухомих цілях у складних морських умовах. Ця система орієнтована на швидкі балістичні розрахунки та виконує точне наведення на ціль за лічені секунди. Головною перевагою є модульна концепція: її можна інтегрувати з потужними сухопутними системами (PzH 2000), що значно розширює бойові можливості флоту.

Чеська система "PVNPG-14M" [11, 14, 27] (рис. 1) ставить акцент на швидкій адаптації до змін обстановки та взаємодії з іншими родами військ у межах НАТО. Вона вдало використовує підхід централізованого оброблення даних із різних джерел, хоча швидкість і точність розрахунків залежить від якості мережі й налаштувань С2І-системи. Застосування процесу зв'язування даних (Data Binding) дає змогу оперативно оновлювати інформацію щодо координат цілей і виконувати коригування траєкторії у випадку асиметричних загроз.

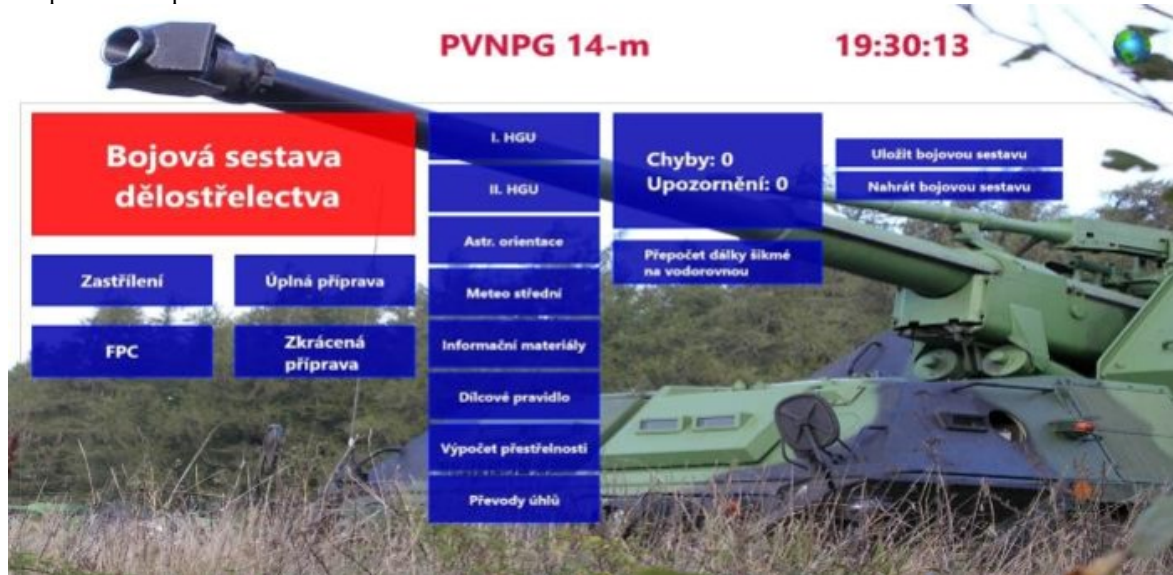


Рис. 1. Головна сторінка чеської АСУВ "PVNPG-14M" [27]

Вітчизняна система "Кропива" [16, 29] (рис. 2) вирізняється простотою розгортання та відносно невисокими вимогами до технічного забезпечення. Завдяки використанню планшетів або ноутбуків можна значно скоротити час переходу артилерійських підрозділів у бойовий режим. Попри це, система показує достатньо високу точність, оскільки обчислює балістичні параметри на підставі цифрових карт і заздалегідь підготовлених даних про зону бойових дій.

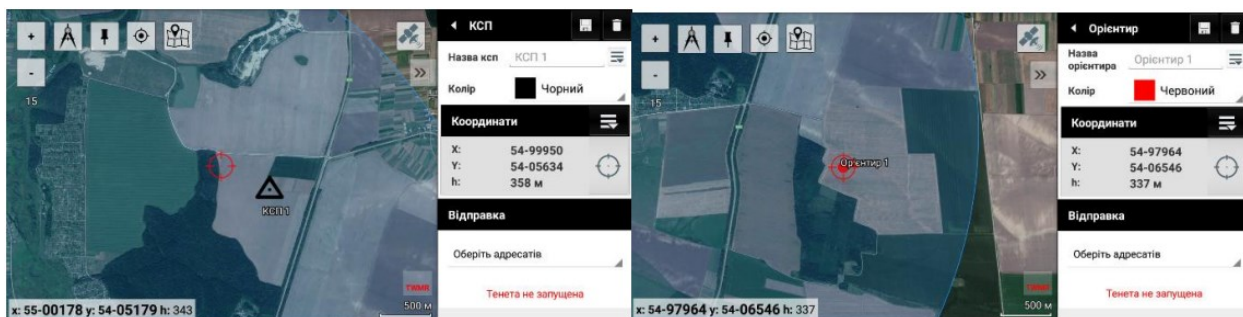


Рис. 2. Меню "КСП" та "Орієнтир" в АСУВ "Кропива" [29]

Комплекси "Delta" & "Combat" [19] (рис. 3) підпорядковані загальній ідеї мережево-центричної взаємодії. Вони дають можливість не тільки формувати єдине інформаційне поле, а й скорочувати витрати часу на координацію вогневих підрозділів. Можливість синхронізувати координати цілей та уточнювати їх на підставі даних від розвідки чи безпілотних систем підвищує точність удару та дає змогу миттєво реагувати на нові загрози.



Рис. 3. Інтерфейс програмного комплексу "Delta" [28]

Рішення на базі штучного інтелекту [15, 21, 22] дають значно вищий потенціал точності завдяки алгоритмам глибинного навчання, які можуть урахувати дуже велику кількість факторів (метеорологія, рельєф, динаміка руху цілі). Проте їх упровадження нерідко вимагає тривалої підготовки та навчання мережі, а також значних обчислювальних ресурсів. Відповідно, вони мають найбільшу перспективу в довгостроковій перспективі, коли з'являться потужні апаратні платформи та належне фінансування.

Щодо продуктивності (у значенні обсягу даних, які система може обробити за одиницю часу), то найбільш ефективними виглядають західні рішення "MONARC" та "PVNPG-14M", особливо в умовах налагодженої мережевої інфраструктури НАТО. На вітчизняному рівні системи "Кропива", "Delta" й "Combat" можуть забезпечувати аналогічні результати, проте за умов наявності стабільного каналу зв'язку й достатньої кількості кваліфікованих операторів.

За точністю наведення провідні позиції також належать системам, які мають підтримку уніфікованих таблиць стрільби та передових обчислювальних алгоритмів. Зокрема, "MONARC" враховує низку специфічних морських факторів (стан моря, крен корабля), а AI-моделі можуть значно перевершувати традиційні підходи в складних умовах (наприклад, прогнозування руху швидкісної цілі чи стрімка зміна вітрових умов).

Отже, порівняльний аналіз АСУВ засвідчив, що незважаючи на різну спрямованість і масштаби систем, у кожному з рішень закладено потенціал для підвищення ефективності артилерійського вогню. Остаточний вибір конкретного АСУВ залежить від умов застосування (сухопутні, морські чи змішані операції), доступних апаратно-програмних ресурсів і вимог до швидкості розгортання. Вітчизняні розробки активніше рухаються до інтеграції в єдиний інформаційний простір, а залучення штучного інтелекту може стати визначальним фактором конкурентоспроможності українських систем управління вогнем на міжнародному ринку в найближчі роки.

Технологічні тренди та інновації. Розглядаючи сучасний стан АСУВ, можна виокремити два головні напрями інновацій, які формують перспективи розвитку та визначають ефективність їх використання в сучасних бойових умовах [13, 22].

Перший напрям інновацій – це масштабне впровадження штучного інтелекту. Одним із провідних трендів стало застосування алгоритмів штучного інтелекту та методів машинного навчання для аналізу, прогнозування та прийняття рішень в АСУВ. У низці зарубіжних і вітчизняних проєктів основну увагу зосереджено на нейронних мережах (CNN, LSTM). Такий підхід дає змогу оперативно обробляти великі обсяги розвіданих, що надходять від різних сенсорів і систем спостереження, і значно точніше визначати оптимальні параметри стрільби [21, 22, 23]. Деякі рішення передбачають комбінування традиційних балістичних розрахунків із нейромережевими коригуваннями, що дає змогу враховувати широкий спектр факторів: від метеорології та висотного профілю місцевості до динаміки руху цілі.

Завдяки ШІ автоматизовані системи управління вогнем у перспективі здатні навчатися під час бойових операцій, підвищуючи влучність із кожним відпрацьованим епізодом. Такий підхід особливо корисний у складних або швидкозмінних бойових обставинах, коли стандартна таблиця стрільби може виявлятися недостатньо гнучкою. Водночас, варто урахувувати потребу у великих обчислювальних ресурсах і потребу ретельного налаштування алгоритмів, щоб запобігти критичним помилкам системи в найвідповідальніші моменти бою.

Другим напрямом інновацій є системи автоматичного коригування стрільби. Друга важлива тенденція полягає в популяризації рішень, здатних автоматично коригувати траєкторію снаряда в режимі

реального часу. Раніше для виконання коригування потрібен був або оператор зі спеціалізованим обладнанням, або додаткові обчислення, що збільшувало загальний рівень тривалості реакції. Сучасні системи беруть до уваги інформацію з широкого спектра сенсорів: метеостанцій, лазерних далекомірів, оптичних та інфрачервоних прицілів, а також дані від безпілотних апаратів.

Для ілюстрації цієї тенденції зображено діаграму (рис. 4) залежності "Точність влучання та тривалість реакції" для традиційних систем порівняно з автоматизованими коригувальними рішеннями, дані для цієї діаграми взяті з дослідження [24] згідно з описаного лабораторного моделювання двох варіантів визначення просторового положення самохідної артилерійської установки: за допомогою інерціального навігаційного сенсора та за допомогою цифрових даних рельєфу. Автори вказують на те, що автоматична компенсація нахилів машини дала можливість пришвидшити встановлення даних для стрільби (тривалість реакції) порівняно з традиційним підходом та водночас, поліпшила точність наведення.

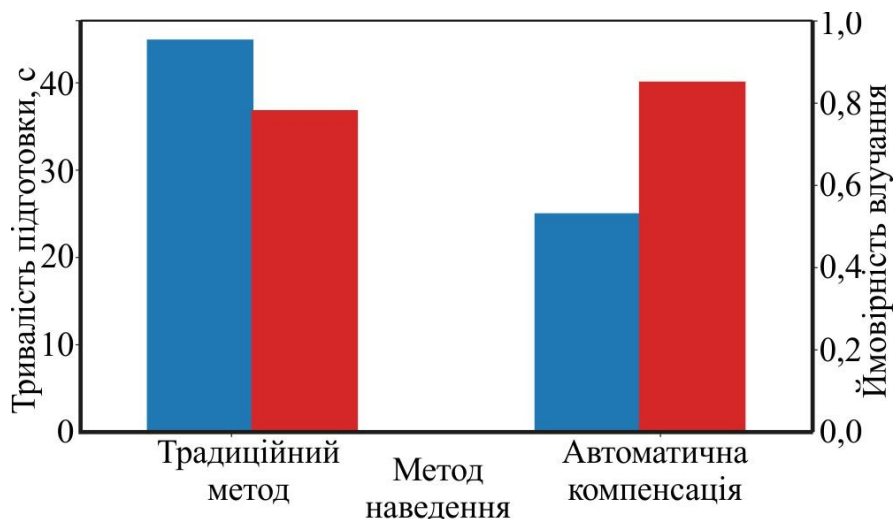


Рис. 4. Діаграма залежності "Точність влучання та тривалість реакції" згідно з традиційним методом і методом автоматичної компенсації [24]

Переваги та недоліки АСУВ згідно з результатами порівняльного аналізу. Результати порівняльного аналізу свідчать, що автоматизовані системи управління вогнем найкраще проявляють себе в ситуаціях, де критичне значення мають тривалість реакції та точність ураження цілей. Запровадження розвинених модулів для розрахунку балістики та передачі розвідданих дає змогу мінімізувати людський чинник, зменшити витрати боеприпасів і скоротити інтервал між виявленням цілі та відкриттям вогню. У комплексі ці фактори забезпечують вищу ефективність артилерійських підрозділів, особливо за динамічних змін бойової обстановки.

Попри наявні переваги, функціонування АСУВ супроводжується низкою системних проблем: значні фінансові витрати, потреба у висококваліфікованому персоналі, ризики кібератак через вразливі канали зв'язку, а також складність інтеграції з іншими родами військ та стандартизації протоколів на міжвидомчому рівні. Водночас, застосування нейронних мереж, мобільних рішень і мережевої архітектури створює передумови для подальшого підвищення ефективності артилерійських систем та розвитку вітчизняних технологічних рішень.

Отримані результати дослідження засвідчили, що порівняльний аналіз сучасних АСУВ дає змогу обґрунтувати доцільність інтеграції штучного інтелекту й автоматизованих засобів коригування стрільби, що дасть можливість суттєво покращити швидкість реакції таких системи та їх точність ураження цілей. Проте подальша ефективність практичного застосування цих рішень значною мірою залежить від надійності комунікаційної інфраструктури й кваліфікації персоналу, що є перспективним напрямом для подальших досліджень та удосконалень.

Обговорення результатів дослідження. Отримані результати дослідження засвідчили, що сучасні АСУВ істотно підвищують ефективність артилерійських підрозділів завдяки високому рівню автоматизації, інтеграції з іншими бойовими системами та застосуванню передових алгоритмів оброблення даних. Аналіз АСУВ довів, що найефективнішими є ті системи, які забезпечують швидкий перехід у бойовий режим, мають точні алгоритми балістичних розрахунків і здатні працювати в умовах мережево-центричних операцій.

Висока точність наведення систем типу "MONARC" і рішень на базі ШІ забезпечується використанням математичних моделей прогнозування траєкторій, які враховують широкий спектр змінних, зокрема метеоумови, балістичні характеристики та динаміку цілей. Системи "Кропива", "Delta" та "Combat" відзначаються швидким реагуванням і можливістю коригування вогню в реальному часі, що істотно скорочує час прийняття рішень. Ефективність таких систем значною мірою залежить від їх інтеграції у бойову інформаційну мережу: рішення, які функціонують у межах уніфікованого інформаційного простору, демонструють вищу злагодженість між підрозділами артилерії та іншими компонентами військ.

Аналіз отриманих результатів у порівнянні з наявними дослідженнями підтверджує актуальність впровадження мережево-центричних підходів та автоматичних алгоритмів коригування. У попередніх роботах [21, 22, 23] було наголошено, що основні шляхи розвитку АСУВ пов'язані з використанням штучного інтелекту та підвищенням точності обчислювальних моделей. Дослідження чеської системи "PVNPG-14M" [11, 14] також вказує на важливість взаємодії між системами управління вогнем і загальним інформаційним середовищем.

Результати цього дослідження узгоджуються з висновками міжнародних науковців, які акцентують на важливості інтеграції АСУВ у загальний цифровий ландшафт військових операцій. Як зазначено в дослідженні [19], об'єднання декількох систем наприклад "Delta", "Combat" та "Кропива" в єдиний комплекс може значно покращити ефективність бойового управління. Отримані висновки підтверджують, що така інтеграція дає змогу скоротити час передачі даних та підвищити оперативність ведення вогню.

Результати дослідження окреслюють ключові напрями вдосконалення автоматизованих систем управління вогнем. Зокрема, удосконалення алгоритмів штучного інтелекту дозволить здійснювати не лише прогнозування траєкторій, а й автоматичну оптимізацію вогневих завдань у реальному часі, зокрема шляхом інтеграції нейронних мереж для розпізнавання цілей та адаптації до динаміки бою. Крім того, пріоритетним є розвиток систем зв'язку з акцентом на стійкий бездротовий обмін інформацією в умовах радіоелектронної протидії, що передбачає вдосконалення засобів криптографічного захисту та безпечних протоколів передачі даних.

Внаслідок обговорення результатів дослідження підтверджено актуальність та доцільність проведення комплексного аналізу сучасних АСУВ із урахуванням технологій штучного інтелекту й мережево-центричної інтеграції, адже в опрацьованій науковій літературі [11, 13, 14, 19, 20] не було здійснено системного порівняльного дослідження з чіткою орієнтацією на перспективи розвитку вітчизняних АСУВ та конкретних шляхів підвищення їх ефективності у сучасних бойових умовах. Також за результатами проведеного дослідження визначено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження: отримала подальший розвиток методика оцінювання ефективності автоматизованих систем управління вогнем артилерійських установок на підставі комплексного аналізу впливу мережево-центричної взаємодії, алгоритмів штучного інтелекту та інтеграції з безпілотними платформами, що забезпечує скорочення тривалості реакції підрозділів і підвищення точності стрільби в умовах динамічних бойових операцій.

Практична значущість результатів дослідження: результати дослідження можна застосувати для розроблення рекомендацій щодо вдосконалення вітчизняних АСУВ шляхом їх глибшої інтеграції в єдину інформаційну мережу Збройних Сил України, впровадження сучасних комунікаційних технологій і алгоритмів прогнозування траєкторії польоту снарядів, що уможливить підвищення бойової ефективності артилерії та зменшення впливу людського фактора під час виконання бойових завдань.

Висновки

Визначено сучасний стан та напрями вдосконалення автоматизованих систем управління вогнем артилерійських установок, що може забезпечити їхню інтеграцію у мережево-центричний інформаційний простір та підвищити їх рівень ефективного застосування в умовах динамічних змін бойових обстановок. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. З'ясовано, що АСУВ істотно підвищують ефективність артилерійських підрозділів завдяки здатності скорочувати тривалість реакції та підвищувати точність стрільби за рахунок централізованого оброблення даних і алгоритмів автоматизованих балістичних розрахунків, та штучного інтелекту.

2. Проаналізовано різні підходи до впровадження АСУВ, які продемонстрували найвищу результативність у системах, що інтегруються в єдине інформаційне середовище, мають підтримку штучного інтелекту та гнучку архітектуру для адаптації до змін бойової обстановки.

3. Встановлено, що успішне впровадження АСУВ великою мірою залежить від розвиненої комунікаційної інфраструктури, ефективного захисту від кібератак та належної підготовки кваліфікованого персоналу.

4. Обґрунтовано, що ключовим напрямом подальшого розвитку АСУВ є вдосконалення алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного коригування стрільби та розпізнавання цілей, що передбачає збільшення обчислювальних ресурсів і стандартизацію протоколів обміну даними.

5. Запропоновано покласти отримані результати в основу рекомендацій для науково-дослідних і військових структур з метою прискорення розроблення вітчизняних АСУВ, здатних до інтеграції з іншими бойовими системами.

Література

1. Xie, J., Yang, G., Wang, L., & Li, L. (2024). Multi-stage multidisciplinary design optimization method for enhancing complete artillery internal ballistic firing performance. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 140(1), 793–819. <https://doi.org/10.32604/cmes.2024.048174>

2. Щавінський Ю. В. (2015). Відпрацювання алгоритмів розрахунку даних для підвищення ефективності вогневого ураження великорозмірних цілей. *Бионика интеллекта*, 2(85), 120–126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bioi_2015_2_21
3. Liu, H., Shan, G.-I., & Mei, W. (2014). Analysis on the kill probability of two Shooting Modes for fire control system of antiaircraft artillery. *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*, Nanjing, China, pp. 9075–9081. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2014.6896529>
4. Qian, L., Chen, G., Tong, M., & Tang, J. (2022). General design principle of artillery for firing accuracy. *Defence Technology*, 18(12), 2125–2140. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.09.001>
5. Dan, Li, & Li, hong Guo. (2012). The application of digital signal processing (DSP) for the real time solving of artillery fire control exterior trajectory. *IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, Beijing, China, pp. 32–35. <https://doi.org/10.1109/ICSESS.2012.6269399>
6. Budaretskiy, Y., & Schavinskiy, Y. (2016). Synthesis of structure and optimization of algorithms of work of the decision support system of a fire-control artillery subdivisions of tactical link. *13th Inter-national Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, Ukraine, pp. 312–316. <https://doi.org/10.1109/TCSET.2016.7452043>
7. Cheng, Y., Dong, Z., & Gao, Q. (2011). Research on key techniques of simulation and detection for fire control system on the basis of database. *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Xian, China, pp. 960–963. <https://doi.org/10.1109/ICQR2MSE.2011.5976763>
8. Baranowski, L., Majewski, P., & Szymonik, J. (2024). Dynamic calculation of the fire zone for anti-aircraft artillery. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 62(4), 787–798. <https://doi.org/10.15632/jtam-pl/194401>
9. Pan, W., Sun, Y., & Jing, Y. (2016). Artillery firepower selection based on chaos genetic algorithm. *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, China, pp. 1588–1593. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2016.7531237>
10. Koruba, Z., & Szmids, P. (2021). The Remote Control of the Artillery Rocket Set as a Strongly Nonlinear System Subject to Random Loads. *Electronics*, 10(13), article ID 1507. <https://doi.org/10.3390/electronics10131507>
11. Blaha, M., & Šilinger, K. (2017). Fire Control Application for Technical Control of Artillery Fire – Data Binding. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 15(7), 48–52. URL: <https://www.iijsci.org/journal/sci/FullText.asp?var=&id=JS552RM03>
12. He, C., Dong, G., Li, Q., & Dai, Z. (2012). Design of artillery electrical performance parameters measurement and control system based on dual-bus. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Chengdu, China, pp. 2048–2053. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2012.6285137>
13. Rothe, H., Kuhrt, A., Schroeder, S., & Trebing, S. (2005). Fire control algorithms and software for the modular naval artillery concept (MONARC) of the German navy. *Book Computational Ballistics II*. WIT Press, pp. 406–416. URL: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-modelling-and-simulation/40/14941>
14. Šilinger, K., & Blaha, M. (2017). The New Automated Fire Control System for Artillery Units based on Interoperability and Standards. In *Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, Madrid, Spain, pp. 332–337. <https://doi.org/10.5220/0006468003320337>
15. Chen, D., Yang, C., Ji, H., Jiang, B., & Liu, Z. (2019). Application and Implementation of CNN in Artillery Countermeasure Training System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 612(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/612/3/032015>
16. Горелишев, С. А., Иванченко, А. О., & Башкатов, С. Г. (2023). Програмний Комплекс "Кропива" як Елемент Перспективної Автоматизованої Системи Управління Національної Гвардії України. *The scientific journal of the National Academy of National Guard "Honor and Law"*, 4(87), 22–29. <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2023/4/87/295097>
17. Maksymova, O., Boltynkov, V., Gultsov, P., & Maksymov, O. (2023). Improvement of the model and method of artillery installation target damage control with minimal combat capability loss. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*, 2(68), 98–115. <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.11>
18. Majstrenko, O. V., Makeev, V. I., Prokopenko, V. V., Andreiev, I. M., Kamentsev, S. Y., & Onofriychuk, A. Y. (2024). An improved mathematical model of the method of fully preparing the determination of firing units for hitting the information and calculation component of the automated fire control system of combat vehicles of reactive artillery. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4), 195–209. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-4-19>
19. Адамчук, М. М., Горелишев, С. А., Луговський, І. С., & Семенюк, С. М. (2020). Сучасні інформаційні технології управління боєм для підвищення ефективності застосування артилерії. *The scientific journal of the National Academy of National Guard "Honor and Law"*, 2(73), 5–11. <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2020/2/73/207107>
20. Маслюк, Л. А., Гавалко, В. І., & Джигомон, С. К. (2022). Основні проблемні питання та шляхи їх вирішення при створенні автоматизованих систем управління ракетних військ і артилерії. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 45(3), 63–68. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-45-3-63-68>

21. Peleshchak, I., Koshtura, D., Luchkevych, M., & Tymchuk, V. (2024). Classification of Dynamic Objects Using a Multilayer Perceptron. *COLINS-2024: 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems*, April, 2024, Lviv, Ukraine, pp. 192–203. <https://doi.org/10.31110/colins/2024-1/014>
22. Bragado, A. C., Solera-Rico, A., & Gómez, M. A. (2023). Implementation of Trajectory Propagator for Artillery Projectiles Based on Artificial Neural Networks. *Conference New Technologies and Developments in Unmanned Systems*, pp. 187–192. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37160-8_29
23. Ghosh, A. K., & Prakash, O. (2004). Neural Models for Predicting Trajectory Performance of an Artillery Rocket. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 1(2), 112–115. <https://doi.org/10.2514/1.3398>
24. Markov, D., Kolev, A., & Ivanova, V. (2022). An Enhanced Solution for Automated Fire Control Systems. *Information & Security: An International Journal*, 53(1), 89–101. <https://doi.org/10.11610/isij.5307>
25. Stubičar, A., & Šipoš, M. (2023). Application of neural networks for the detection and classification of artillery targets. *Strategos*, 7(2), 41–58. URL: <https://hrcak.srce.hr/312062>
26. Feng, S., Zhang, Y., Jiang, Y., Dong, G., & Tan, W. (2024). Research on Digital Simulation Method of Ballistic End Points Based on Historical Data. In: Long, S., Dhillon, B. S., Ye, L. (Eds). *Man-Machine-Environment System Engineering MMESE 2024, Lecture Notes in Electrical Engineering*, pp. 418–423. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7139-4_57
27. Blaha, M., Kalina, M., & Šilinger, K. (2015). Application support for tactical and technical control of artillery units – PVNPG-14M. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, (9), 186–191. URL: <https://www.naun.org/main/UPress/saed/2015/a562014-072.pdf>
28. Бровко, Л. (2023). Українська система ситуаційної обізнаності на полі бою Delta успішно пройшла випробування НАТО. *Бабель*. URL: <https://babel.ua/news/96146-ukrajinska-sistema-situacijnoi-obiznanosti-na-poli-boyu-delta-uspishno-proyshla-viprobuvannya-nato>
29. ТОВ КБ "Логіка". (2022). Програмний комплекс "Кропива": посіб. користувача, версія 0.9.6. Книжка Програмний комплекс "Кропива". *Scribd Inc.*, ст. 1–118. URL: <https://www.scribd.com/document/655998027/Інструкція-користувача-програми-Кропива>

References

1. Xie, J., Yang, G., Wang, L., & Li, L. (2024). Multi-stage multidisciplinary design optimization method for enhancing complete artillery internal ballistic firing performance. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 140(1), 793–819. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2024.048174>
2. Shchavinskiy, Y. V. (2015). Vidpratsiuvannya alhorytmiv rozrakhunku danykh dla pidvyshchennia efektyvnosti vohnevoho urazhennia velykoroznimykh tsilei. *Bionika intelekta*, 2(85), 120–126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bioi_2015_2_21
3. Liu, H., Shan, G.-l., & Mei, W. (2014). Analysis on the kill probability of two Shooting Modes for fire control system of anti-aircraft artillery. *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*, Nanjing, China, pp. 9075–9081. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2014.6896529>
4. Qian, L., Chen, G., Tong, M., & Tang, J. (2022). General design principle of artillery for firing accuracy. *Defence Technology*, 18(12), 2125–2140. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.09.001>
5. Dan, Li, & Li, hong Guo. (2012). The application of digital signal processing (DSP) for the real time solving of artillery fire control exterior trajectory. *IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, Beijing, China, pp. 32–35. <https://doi.org/10.1109/ICSESS.2012.6269399>
6. Budaretskiy, Y., & Schavinskiy, Y. (2016). Synthesis of structure and optimization of algorithms of work of the decision support system of a fire-control artillery subdivisions of tactical link. *13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, Ukraine, pp. 312–316. <https://doi.org/10.1109/TCSET.2016.7452043>
7. Cheng, Y., Dong, Z., & Gao, Q. (2011). Research on key techniques of simulation and detection for fire control system on the basis of database. *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, Xian, China, pp. 960–963. <https://doi.org/10.1109/ICQR2MSE.2011.5976763>
8. Baranowski, L., Majewski, P., & Szymonik, J. (2024). Dynamic calculation of the fire zone for anti-aircraft artillery. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 62(4), 787–798. <https://doi.org/10.15632/jtam-pl/194401>
9. Pan, W., Sun, Y., & Jing, Y. (2016). Artillery firepower selection based on chaos genetic algorithm. *Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, China, pp. 1588–1593. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2016.7531237>
10. Koruba, Z., & Szmidi, P. (2021). The Remote Control of the Artillery Rocket Set as a Strongly Nonlinear System Subject to Random Loads. *Electronics*, 10(13), article ID 1507. <https://doi.org/10.3390/electronics10131507>
11. Blaha, M., & Šilinger, K. (2017). Fire Control Application for Technical Control of Artillery Fire – Data Binding. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 15(7), 48–52. URL: <https://www.iisci.org/journal/sci/FullText.asp?var=&id=JS552RM03>
12. He, C., Dong, G., Li, Q., & Dai, Z. (2012). Design of artillery electrical performance parameters measurement and control system based on dual-bus. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Chengdu, China, pp. 2048–2053. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2012.6285137>
13. Rothe, H., Kuhr, A., Schroeder, S., & Trebing, S. (2005). Fire control algorithms and software for the modular naval artillery concept (MONARC) of the German navy. *Book Computational Ballistics II*. WIT Press, pp. 406–416. URL: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-modelling-and-simulation/40/14941>
14. Šilinger, K., & Blaha, M. (2017). The New Automated Fire Control System for Artillery Units based on Interoperability and Standards. In *Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, Madrid, Spain, pp. 332–337. <https://doi.org/10.5220/0006468003320337>
15. Chen, D., Yang, C., Ji, H., Jiang, B., & Liu, Z. (2019). Application and Implementation of CNN in Artillery Countermeasure Training System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 612(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/612/3/032015>
16. Horelyshev, S., Ivchenko, A., & Bashkatov, Y. (2023). Prohramnyi Kompleks "Kropyva" yak Element Perspektyvnoi Avtomatyzovanoi Systemy Upravlinnia Natsionalnoi Hvardii Ukrainy. *The scientific journal of the National Academy of National Guard "Honor and Law"*, 4(87), 22–29. <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2023/4/87/295097>

17. Maksymova, O., Boltyonkov, V., Gultsov, P., & Maksymov, O. (2023). Improvement of the model and method of artillery installation target damage control with minimal combat capability loss. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*, 2(68), 98–115. <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.11>
18. Majstrenko, O. V., Makeev, V. I., Prokopenko, V. V., Andreiev, I. M., Kamentsev, S. Y., & Onofriychuk, A. Y. (2024). An improved mathematical model of the method of fully preparing the determination of firing units for hitting the information and calculation component of the automated fire control system of combat vehicles of reactive artillery. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4), 195–209. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-4-19>
19. Adamchuk, M., Horielyshev, S., Lugovskoy, I., & Semeniuk, A. (2020). Suchasni informatsiini tekhnolohii upravlinnia boiem dlia pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannia artylerii. *The scientific journal of the National Academy of National Guard "Honor and Law"*, 2(73), 5–11. <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2020/2/73/207107>
20. Masluk, L., Havalko, V., & Dzhygomon, S. (2022). Osnovni problemni pytannia ta shliakhy yikh vyryshennia pry stvorenni avtomatyzovanykh system upravlinnia raketnykh viisk i artylerii. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, 45(3), 63–68. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-45-3-63-68>
21. Peleshchak, I., Koshtura, D., Luchkevych, M., & Tymchuk, V. (2024). Classification of Dynamic Objects Using a Multilayer Perceptron. *COLINS-2024: 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems*, April, 2024, Lviv, Ukraine, pp. 192–203. <https://doi.org/10.31110/colins/2024-1/014>
22. Bragado, A. C., Solera-Rico, A., & Gómez, M. A. (2023). Implementation of Trajectory Propagator for Artillery Projectiles Based on Artificial Neural Networks. *Conference New Technologies and Developments in Unmanned Systems*, pp. 187–192. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37160-8_29
23. Ghosh, A. K., & Prakash, O. (2004). Neural Models for Predicting Trajectory Performance of an Artillery Rocket. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 1(2), 112–115. <https://doi.org/10.2514/1.3398>
24. Markov, D., Kolev, A., & Ivanova, V. (2022). An Enhanced Solution for Automated Fire Control Systems. *Information & Security: An International Journal*, 53(1), 89–101. <https://doi.org/10.11610/isiij.5307>
25. Stubičar, A., & Šipoš, M. (2023). Application of neural networks for the detection and classification of artillery targets. *Strategos*, 7(2), 41–58. URL: <https://hrcak.srce.hr/312062>
26. Feng, S., Zhang, Y., Jiang, Y., Dong, G., & Tan, W. (2024). Research on Digital Simulation Method of Ballistic End Points Based on Historical Data. In: Long, S., Dhillon, B. S., Ye, L. (Eds). *Man-Machine-Environment System Engineering MMESE 2024, Lecture Notes in Electrical Engineering*, pp. 418–423. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7139-4_57
27. Blaha, M., Kalina, M., & Šilinger, K. (2015). Application support for tactical and technical control of artillery units – PVNPG-14M. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, (9), 186–191. URL: <https://www.naun.org/main/UPress/saed/2015/a562014-072.pdf>
28. Brovko, L. (2023). Ukrainska sistema sytuatsiinoi obiznanosti na poli boiu Delta uspishno proishla vyprobuvannia NATO. *Babel*. URL: <https://babel.ua/news/96146-ukrajinska-sistema-situatsiynoi-obiznanosti-na-poli-boiu-delta-uspishno-proyshla-viprobuvannya-nato>
29. TOV KB "Lohika". (2022). Prohramnyi kompleks "Kropyva": posib. Korystuvacha, versiia 0.9.6. *Book Prohramnyi kompleks "Kropyva"*. Scribd Inc., pp. 1–118. URL: <https://www.scribd.com/document/655998027/Інструкція-користувача-програми-Кропива>