

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ФОРМУВАННІ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОРОТКОСТВОЛЬНОЇ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Стаття присвячена дослідженню цифрових технологій для оцінювання бойової ефективності короткоствольної стрілецької зброї в реальних і симульованих бойових умовах. Вона аналізує еволюцію віртуальних стрілецьких тренажерів та їхню роль у підвищенні точності аналізу стрільби й тактичної підготовки. Метою дослідження є встановлення рівня ефективності використання цифрових систем для забезпечення об'єктивного оцінювання технічних параметрів зброї та вдосконаленні тактичних підходів до її бойового застосування. Для аналізу використано систематичний огляд сучасних систем віртуального тренування, включаючи оптико-електронні сенсори, лазерні імітатори, інфрачервоні трекінгові технології та AR/VR-системи. Методологія базується на порівняльному аналізі функціональних можливостей систем, їхньої здатності фіксувати параметри стрільби (траєкторія ствола, стабільність, час реакції) та обробляти дані за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Результати дослідження демонструють, що цифрові технології забезпечують високоточну реєстрацію ключових параметрів стрільби, таких як: відхилення ствола, момент натискання на спусковий гачок і розсіювання, що дозволяє виявляти конструктивні недоліки зброї. Системи також дають змогу моделювати динамічні бойові сценарії, включаючи урбанізоване середовище та стресові умови, забезпечуючи комплексний аналіз індивідуальних і групових тактичних дій. Наукова новизна полягає в інтеграції сенсорних платформ, ігрових рушіїв та біометричних даних (частота серцевих скорочень, рівень стресу) для створення цифрового профілю бойової ефективності, що враховує як технічні, так і фізіологічні аспекти. Запропонований підхід відкриває нові можливості для об'єктивного порівняння різних моделей зброї та їхньої адаптації до сучасних бойових доктрин. Перспективи подальших досліджень включають розробку систем із підтримкою симуляції для підвищення рівня занурення в симульоване середовище. Розвиток може отримати уніфікована цифрова модель оцінювання, яка інтегруватиме дані про індивідуальну та групову тактичну взаємодію для формування комплексних бойових профілів.

Ключові слова: короткоствольна зброя, бойова ефективність, цифрові технології, стрілецька підготовка, віртуальні тренажери, сенсорні системи, тактика застосування, тактичне моделювання.

Вступ та постановка проблеми. У сучасних умовах радикального ускладнення глобальної військово-стратегічної ситуації, що характеризується зростанням кількості регіональних збройних конфліктів, розширенням зон бойових дій та зміною характеру воєнного протистояння, особливого значення набуває питання точного, оперативного та об'єктивного оцінювання бойової ефективності озброєння, зокрема короткоствольної стрілецької зброї, яка часто використовується у ближньому бою, штурмових операціях, антитерористичних місіях та бойових діях в стиснених умовах. Зважаючи на трансформацію сучасної тактики збройної боротьби, яка дедалі більше орієнтується на мобільність, швидкість реагування, мінімізацію логістичних затрат і максимально ефективно використання особистої стрілецької зброї, виникає об'єктивна потреба у створенні таких технологічних рішень, які дозволяють оперативно вимірювати, аналізувати та порівнювати бойову результативність короткоствольних зразків в умовах реального застосування. У цих умовах традиційні методи оцінки, що базуються переважно на статистичних спостереженнях або суб'єктивних висновках польових командирів, виявляються недостатніми для комплексного врахування численних факторів, що впливають на бойову ефективність зброї.

Цифрові технології, які охоплюють сенсорні системи, алгоритми обробки великих масивів даних, моделювання динаміки стрільби, машинне навчання, відеоаналітику та мобільні платформи збору даних, відкривають нові можливості для всебічного аналізу функціонування короткоствольної стрілецької зброї у бойовій ситуації. Впровадження таких технологій дозволяє не лише здійснювати комплексне оцінювання точності, швидкості, надійності та стійкості зразків, а й виявляти їхні переваги та недоліки залежно від специфіки театру бойових дій, типу операцій та умов середовища. Отже, актуальність дослідження зумовлена нагальною потребою у впровадженні цифрових підходів до оцінювання бойових характеристик короткоствольної зброї, що дає змогу не лише оптимізувати процеси збройного забезпечення, але й посилити ефективність її застосування на сучасному полі бою, де кожен технічний параметр може мати критичне значення для успіху оперативної місії.

Аналіз основних наукових досліджень і публікацій. Аналіз наукових джерел з питань оцінки бойової ефективності короткоствольної зброї за допомогою цифрових технологій показує, що фахівці в Україні та за кордоном активно досліджують технічні та тактичні аспекти стрілецької підготовки. Сучасні військові реалії вимагають нових підходів до тренувань, і груп дослідників [1-12] доводять ефективність цифрових тренажерів для покращення точності стрільби в обмежених просторах. Окремі проблемні питання використання віртуальних тренувальних систем розглядають фахівці [3], [7], які показують, що технології ефективно розвивають не лише індивідуальні навички, а й вміння діяти у складі підрозділу. Дослідження [5], [10] доповнюють цю картину, демонструючи, як інфрачервоні датчики та біометричні системи допомагають оцінювати готовність бійців до реальних бойових умов.

Проте наука ще не дала відповіді на низку ключових питань. Наприклад, досі недостатньо вивчено, як саме рухається ствол під час пострілу в умовах стресу або обмеженої видимості. Також залишається відкритим питання про об'єднання даних з різних датчиків – відео, звуку, тактильних сигналів – в єдину систему аналітики. Крім того, більшість сучасних досліджень зосереджені на індивідуальних показниках стрільця, тоді як реальні бойові умови вимагають розуміння групової взаємодії, особливо в міському середовищі. Ці прогалини в наукових знаннях свідчать про те, що на сьогодні як ніколи потрібні нові дослідження. Вони мають допомогти створити комплексну методику оцінки ефективності короткоствольної зброї, яка враховуватиме не лише технічні характеристики, а й поведінку стрільця в складних умовах реального бою.

Метою статті є: проведення дослідження ефективності використання цифрових систем для забезпечення оцінювання технічних параметрів стрілецької зброї та вдосконалення тактичних підходів до її бойового застосування.

Виклад основного матеріалу. У бойовій практиці ефективність використання короткоствольної зброї визначається сукупністю параметрів, які складно зафіксувати в реальному часі за допомогою класичних методів спостереження чи документування. Серед таких параметрів варто виокремити стабільність зброї під час ведення вогню, точність та розсіювання пробойн, темп стрільби, швидкість прицілювання, а також здатність зброї зберігати працездатність у стресових умовах та при фізичних перевантаженнях, пилу, вологи, обмеженому освітленні тощо. Водночас навіть у польових умовах існує можливість використовувати новітні цифрові технології, які дозволяють об'єктивно, автоматизовано і з високим рівнем достовірності здійснювати збір та аналіз даних щодо бойової ефективності стрілецької зброї.

Одним з перспективних напрямів є впровадження оптико-електронних та інтерактивних систем фіксації стрільби, які базуються на сенсорному контролі переміщення зброї та автоматизованій реєстрації результатів ураження [2]. Ці системи включають в себе електронні пристрої, що закріплюються на зброї або імітують її конструкцію, і дають змогу у реальному часі відслідковувати траєкторію ствола, момент натискання на спусковий гачок, фазу прицілювання та інші ключові параметри стрільби. Завдяки синхронізації з комп'ютерним забезпеченням, дані передаються на дисплей, де з високою точністю

візуалізуються дії стрільця, що дозволяє здійснювати об'єктивне оцінювання кожного пострілу (рис. 1).

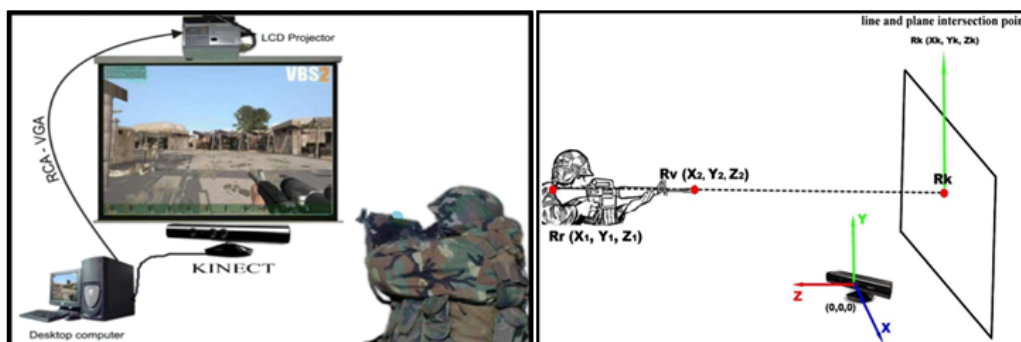


Рисунок 1 - Стационарна система електронного контролю застосування стрілецької зброї [11]

У бойових умовах, коли використання бойових набоїв не завжди дозволяє точно визначити помилки стрільця через ефект віддачі або динамічність ситуації, саме цифрові системи надають можливість з високою деталізацією фіксувати моментальні відхилення зброї від осі прицілювання, затримки у натисканні на спусковий гачок або некоректну лінію ведення ствола. Це, своєю чергою, дає змогу виявляти системні недоліки в конструкції конкретної моделі зброї, а також коригувати тактичні підходи до її застосування в тій чи іншій обстановці.

Крім того, електронні стрілецькі тренажери й бойові тири з цифровими сенсорними системами широко застосовуються для імітаційної апробації короткоствольної зброї в умовах, що максимально наближені до реальних бойових дій (рис. 2).

Іншим фактором цифрового аналізу є можливість довготривалого зберігання, структурування та порівняння результатів стрільби з різних зразків короткоствольної зброї, що забезпечує формування об'єктивної бази даних для подальших технічних удосконалень. Зокрема, сучасні цифрові системи можуть генерувати аналітичні звіти щодо середнього часу реакції стрільця, кількості влучань, зниження точності при підвищенні темпу стрільби тощо. Така інформація є вкрай цінною не лише для безпосереднього оцінювання вже існуючих зразків зброї, а й для формування технічного завдання на нові моделі, які мають відповідати сучасним вимогам до бойової ефективності.



Рисунок 2 - Цифрова імітація стрільби з короткоствольної стрілецької зброї в умовах віртуального тиру з оцінюванням бойової ефективності

У сучасній реальності, коли бойові дії за своєю природою стали швидкоплинними, багатофакторними й часто відбуваються в умовах обмеженого простору і зосередитися на розвитку методів, які дозволяють точно та оперативно оцінювати бойову ефективність короткоствольної стрілецької зброї, що стала ключовим елементом ближнього бою, штурмових операцій і бойових дій в урбанізованому середовищі, де швидкість реагування, точність пострілу та здатність пристосовуватися до непередбачених змін обстановки можуть визначати результат тактичних зіткнень. При цьому традиційні підходи до фіксації результатів бойового застосування, що базуються на спостереженнях командира або аналізі статистики влучень, не здатні забезпечити належної точності й глибини оцінювання, особливо коли йдеться про такі суто технічні параметри, як траєкторія руху ствола під час натискання на спусковий гачок, момент виникнення пострілової хвилі, швидкість прицілювання, стабільність зброї при веденні серійної стрільби в умовах руху або обмеженого простору.

Відтак, інтеграція цифрових технологій у процес моніторингу та аналізу бойового використання стрілецької зброї стає не просто доцільною, але й критично важливою: саме за допомогою сенсорних платформ, відеоаналітики, алгоритмів обробки великих масивів даних і цифрового моделювання відкривається можливість у режимі реального часу отримувати об'єктивну інформацію про ефективність кожного пострілу, а також виявляти системні недоліки зброї чи тактики застосування у заданому типі бойового середовища [6]. Показані системи, зокрема оптико-електронні сенсори, лазерні імітатори, інтерактивні бойові тири, спеціальні пристрої сухого вогню (dry-fire), дозволяють закріплювати на зброї датчики, здатні з високою точністю фіксувати рух ствола від початку прицілювання до моменту натискання на тригер, одночасно забезпечуючи реєстрацію координат попадання або відхилення щодо цілі. Ці дані передаються в цифровій формі до комп'ютерної системи, де спеціалізоване програмне забезпечення аналізує траєкторії, час реакції, точність, розсіювання патронів або імітованих пострілів, швидкість переходів між цілями та загальну стійкість зразка зброї під навантаженнями (рис. 3).

У бойових умовах, де використання бойових набоїв може бути обмеженим через фактори логістики або безпеки, саме цифрові рішення надають перевагу: оскільки ефект віддачі часто ускладнює аналіз механіки пострілу, застосування сухого вогню з реєстрацією лазерного імпульсу або руху ствола дає змогу оцінювати техніку стрільби з міліметровою точністю, виявляти відмінності між двома послідовними пострілами навіть при «пуля в пулю», розрізняти промахи, локалізувати точку попадання й аналізувати вплив фізичних умов (наприклад, рух стрільця, нестабільне положення, обмежений час) на якість стрільби.



Рисунок 3 – Віртуальна симуляція бойового застосування стрілецької зброї у тири з використанням цифрової імітації бою [14]

Наступним елементом є цифрова архівація та аналітика: всі дані щодо стрільби можуть бути збережені для подальшого порівняльного аналізу різних моделей короткоствольної

стрілецької зброї, різних конфігурацій (оптичні приціли, глушники, рукоятки), а також в різних типах бойових умов — це створює інформаційну базу, на якій можна формувати технічні вимоги до нових конструкцій зброї або обирати оптимальне оснащення підрозділів для певного типу операцій. Одна з систем, яка може бути використана для оцінки бойової ефективності короткоствольної стрілецької зброї в цифровому контексті, це MantisX, революційна платформа, яка підключається до стандартної короткоствольної зброї (пістолета чи револьвера), кріпиться на рейку аксесуарів, з'єднується з мобільним додатком і здатна фіксувати найменший рух у момент струсу зброї під час пострілу або імітованого dry-fire за допомогою лазерних капсулок або живих патронів, при цьому генеруються дані про рух зброї під час натискання курка, відхилення, швидкість підняття прицілу та інші (рис. 4) [8].

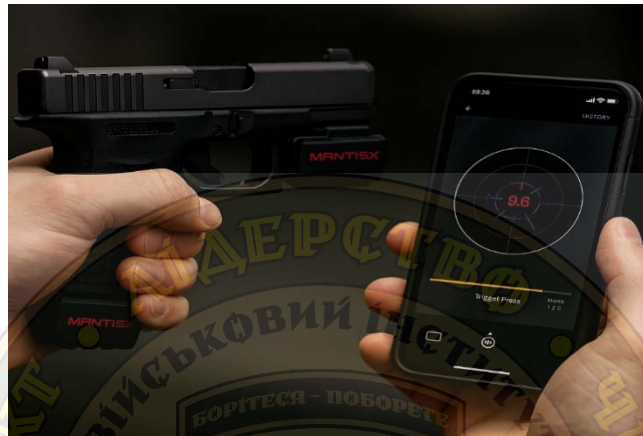


Рисунок 4 - Цифрова система MantisX для оцінювання бойової ефективності короткоствольної стрілецької зброї за допомогою мобільного додатку [8]

Платформа MantisX дозволяє миттєво отримати зворотний зв'язок у вигляді графічного та числового аналізу кожного пострілу, визначає технічні помилки, дає рекомендації щодо покращення техніки володіння зброєю і усе це в реальному часі й без використання боєприпасів. Система MantisX показує приклад того, як цифрові технології можуть бути використані напямучу в бойових умовах для оцінювання бойової ефективності: аналіз стабільності зброї під час пострілу, точності прицілювання, часу реакції, а також відстеження динаміки руху зброї в момент, коли бій ведеться в обмеженому просторі, під стресом або в умовах низької видимості. Зокрема, сучасні віртуальні стрілецькі тренажери (Virtual Small Arms Trainer – VSAT) вже давно вийшли за межі суто навчальної функції, перетворившись на повноцінні цифрові системи тактичної імітації, здатні імітувати динамічні бойові сценарії, аналізувати дії стрільця в режимі реального часу й формувати комплексну картину ефективності використання зброї на полі бою.

Традиційно вся система стрілецької підготовки, що включала й оцінювання характеристик зброї, стикалася з низкою суттєвих викликів: надмірна вартість реального стрільбища, постійні витрати на боєприпаси, амортизація зброї та спорядження, а також екологічне навантаження і зокрема шумове та повітряне забруднення внаслідок стрільби бойовими патронами. Усе це створювало перешкоди для регулярного аналізу ефективності зброї в бойовій ситуації, оскільки реальні умови часто виявлялися непередбачуваними, а точна фіксація поведінки зброї та користувача в обмеженому часовому проміжку і об'єктивно неможливою. До того ж, класичні умови стрільби як-от погодні коливання, відсутність контролю над фоновими умовами, складність відтворення ідентичних ситуацій — ставали обмеженням для точного й повторюваного оцінювання. Сама ж динаміка бойової обстановки, що включає змінну видимість, психологічний тиск, необхідність швидкого прицілювання, використання зброї в русі або з нестандартного положення, вкрай складно відтворюється у звичайному тирі. Водночас цифрові технології дозволяють подолати цей бар'єр, створюючи повністю контрольоване і водночас реалістичне середовище [9].

Зі стрімким розвитком комп'ютерної графіки у 1980-х роках почали з'являтися перші прототипи VSAT-систем, які за своєю суттю імітували електронні галереї та стрілецькі рубежі. Першочергово їх призначенням було створення моделі переходу від ручної техніки володіння зброєю до фактичного бойового застосування, де можна було відпрацювати як розміщення зброї, так і командні сигнали, черговість цілей тощо. Вони дозволяли імітувати стрільбу з різних положень, тренувати дихальні цикли, стабілізувати рух зброї під час прицілювання, а також вивчати такі нюанси, як зведення та «ведення» рухомої цілі, або вплив нахилу зброї на траєкторію кулі. Важливо, що такі пристрої з самого початку почали використовувати цифрові датчики, які могли фіксувати неточності стрільця і повторювати ідентичний сценарій для перевірки динаміки змін. Попри очевидні переваги, ранні покоління VSAT не вирішували ключового завдання через інтеграцію цілої бойової групи в симульоване бойове середовище, де потрібно не лише стріляти, а й комунікувати, приймати рішення, координувати застосування різних видів зброї. Саме для цього було створено більш потужні, адаптивні й модульні комплекси нового покоління, які дозволяють оцінювати ефективність не окремого пострілу, а повного комплексу дій у рамках тактичного епізоду.

Зокрема система Ground Combat Indoor Trainer (GCIT) від компанії Saab стала прикладом такого підходу. Вона надає можливість одночасно тренувати індивідуальну стрільбу з короткоствольної або автоматичної зброї, а також відпрацьовувати дії підрозділу проти статичних чи динамічних цілей. Така система дозволяє фіксувати помилки у реальному часі, аналізувати поведінку зброї на кожному етапі — від прицілювання до пострілу і точно розраховувати ефективність ведення вогню в симульованих бойових обставинах.

Серед інших відомих рішень це Guardiaris SATT (Small Arms Tactical Trainer), який дозволяє проводити оцінку стрільби в урбанізованому середовищі з багатьма учасниками одночасно, та Thales SATIS, де підтримується великий арсенал типів зброї, включаючи навіть міномети, що дозволяє змодельовати комплексне поле бою. Суттєвою перевагою VSAT-платформ нового покоління є їхня модульність, а саме можливість оновлення апаратного та програмного забезпечення, інтеграція нових видів зброї або оновлення існуючих сценаріїв відповідно до змін у бойових доктринах. Віртуальні системи оцінювання, побудовані на основі цифрових технологій, дозволяють створити нову якість аналізу, коли ключові параметри, такі як точність, швидкість реагування, стабільність зброї, рухливість у просторі та фіксуються в цифровому форматі, зберігаються, порівнюються та використовуються для формування повноцінного профілю бойового застосування конкретної моделі зброї або її комбінацій з аксесуарами [7].

Однією з найяскравіших ілюстрацій цієї технологічної трансформації є приклад Корпусу морської піхоти США, який реалізував проект Indoor Simulated Marksmanship Trainer (ISMT). Поточна версія – ISMT III вже була модернізована для того, щоб забезпечити можливість цифрового відтворення вогневих дій з використанням не лише короткоствольної зброї, а й мінометів калібру 81 мм. Розроблена компанією InVeris Training Solutions (раніше FATS, потім Meggitt), система ISMT дає змогу здійснювати бойове моделювання у будь-який час, без обмежень, пов'язаних із погодою, наявністю стрільбища або ризиками, притаманними реальним бойовим умовам. Саме така віртуалізація дозволяє досягти максимальної оперативної готовності та оцінювати дії стрільця або команди у сценаріях, максимально наближених до реального бою.

Подібну логіку запозичили і європейські країни. Так, Австрійська армія впровадила передову систему Guardiaris SATT, яка встановлена у Брукнойдорфі, а згодом ще у п'яти місцях. Кожен з таких комплексів включає параболічний екран з горизонтальним полем зору 148°, чотири проектори для створення панорамного зображення, систему об'ємного звуку з чотирма динаміками, вібраційну підлогу та центральну станцію керування (Instructor Operator Station – IOS). Саме через IOS інструктор має можливість формувати бойовий сценарій, запускати його, відстежувати дії кожного учасника та здійснювати детальний розбір дій після завершення епізоду. Візуальна система SATT створена на ігровому рушії, що дає змогу моделювати зміну доби, погодних умов, нічне бачення (NVG) та інші параметри бойового

середовища. Унікальність цієї системи полягає в тому, що вона не використовує лазерні імпульси, а застосовує власну інфрачервону (IR) технологію трекінгу для надточного фіксування позицій стрільця та орієнтації зброї [12]. З останніх оновлень – це інтеграція протитанкових систем ближньої дії, а також режимів снайперської стрільби на дистанції. У рамках європейського проекту FIIST (Future Integrated Indoor Soldier Training), підтриманого Європейською програмою розвитку оборонної промисловості, компанія Guardiaris спільно з ITEC GmbH, Madritsch і Instalaza розробляє також підтримку дистанційно керованих вогневих модулів (Remote Weapon System – RWS), що може значно розширити можливості тактичного моделювання в цифрових середовищах.

Окрему увагу збройні сили приділяють впровадженню біометричних і комунікаційних показників як складових цифрового профілю. Йдеться про моніторинг частоти серцевих скорочень, рівня стресу, потовиділення, розпізнавання голосових та жестових команд, що в сукупності дозволяє не лише аналізувати дії стрільця, а й розуміти його бойову стійкість у складних умовах. У перспективі такі дані будуть акумулюватися у формі цифрового досьє на кожного військовослужбовця або підрозділ, що дозволить приймати точні рішення про доцільність використання певного типу зброї в тій чи іншій обстановці [3].

Одним із головних викликів для військових у цьому контексті залишається складність реалістичного відтворення бойового середовища під час стрільб із реальних стрільбищ. Як правило, такі майданчики побудовані лінійно, цілі розташовані фронтально — що повністю суперечить умовам реального бою. У віртуальному середовищі ці обмеження зникають, однак технологічно VSAT-системи довгий час змушені були імітувати ті ж лінійні рубежі. Для подолання цього обмеження компанія InVeris Training Solutions розробила AR/VR-системи – SRCE та SURVIVR, що створюють повноцінне 360-градусне віртуальне середовище, де військовослужбовець, одягнувши шолом з високою роздільною здатністю, перебуває у змодельованому світі з накладеними об'єктами: перешкодами, вогневими точками, противником, союзниками та цивільними особами [13]. Таке середовище забезпечує зорові й звукові сигнали, дозволяє генерувати сценарії з багатьма змінними та відслідковувати ефективність дій стрільця при різних параметрах бою (рис. 5).



Рисунок 5 - Віртуальне стрілецьке тренування з використанням рішень VR/AR від InVeris Training Solutions [13]

Одним із ключових напрямів сучасного військового інноваційного середовища, що стосується оцінювання ефективності використання короткоствольної стрілецької зброї в реальних бойових умовах, є активне впровадження цифрових технологій у сферу віртуального моделювання, зокрема через розширення можливостей так званих VSAT-систем (Virtual Small Arms Trainer). Центральною метою використання цих систем у бойовому контексті є не лише імітація стрілецької взаємодії, а й повноцінна аналітика, що дозволяє фіксувати,

систематизувати й порівнювати ефективність зброї в динамічному, змодельованому середовищі, максимально наближеному до бойового простору.

Досягнення відчуття повного занурення в бойову ситуацію, тобто створення ефекту «призупинення недовіри» є одним з фундаментальних критеріїв ефективності таких симуляцій. Для цього система повинна стимулювати якомога більше сенсорних каналів, насамперед зоровий, який є головним для орієнтації людини в просторі. Саме тому останні покоління візуальних VSAT-платформ активно переходять на рушії візуалізації ігрового рівня, такі як VBS4 (Virtual Battlespace 4) від Bohemia Interactive або Unreal Engine 5 від Epic Games [11].

У США, зокрема, компанія Laser Shot вже тривалий час застосовує рушій VBS у своїх продуктах, що дозволяє створювати реалістичні сценарії бойового застосування короткоствольної зброї. У 2023 році компанія VirTra оголосила про успішну інтеграцію VBS4 у власну операційну систему VOS, що стало важливим кроком до спроможності ще глибшого занурення тих хто навчається у реалістичний бойовий простір - ціленаправленна підготовка. Основною перевагою такого підходу є можливість створення геоприв'язаних віртуальних середовищ, які точно відтворюють реальні стрільбища, локації ведення бойових дій або навіть конкретні ділянки місцевості для проведення місій, що своєю чергою відкриває шлях до точного оцінювання результативності застосування стрілецької зброї в заданому бойовому контексті. До недавнього часу військові були змушені використовувати окремі CGI-модулі для різних тренажерних систем, кожна з яких мала власні бази даних та вимагала високих ресурсів для підтримки. Сучасні ігрові рушії дозволяють уніфікувати ці ресурси: зокрема, інтеграція VBS4 надає змогу миттєво використовувати існуючі 3D-моделі зброї, рельєфів місцевості, бойових сценаріїв, що значно підвищує точність бойового моделювання. Наприклад, компанія Thales, яка створила лінійку VSAT-рішень під назвою Small Arms Training Indoor Simulator, перейшла на використання графічного рушія Unreal Engine 5, що дозволяє не лише відтворювати реалістичні візуальні ефекти, а й забезпечує високоточну візуалізацію траєкторій куль, взаємодії з перешкодами, ефектів диму, пилу, відблисків, блискавичних спалахів і усе це наближає симуляцію до справжнього поля бою (рис. 6).



Рисунок 6 - Симулятор стрілецької підготовки в приміщенні (VSAT) від Thales з використанням графічного рушія Unreal Engine 5 [13]

Хоча основна увага зосереджена на зоровому сприйнятті, одним із перспективних напрямів занурення є стимуляція нюху, це компонент, що досі залишається майже поза увагою розробників. Єдиним помітним прикладом була демонстрація компанії Cubic Defense, яка впровадила симуляцію запахів у віртуальному тренажері, зокрема для відтворення специфічного аромату афганського села. Враховуючи значення нюху у реальному бойовому досвіді, подальший розвиток цієї технології видається доцільним з огляду на глибину занурення в модельовану обстановку.

Новітній тренд також включає розвиток доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR), зокрема через продукти компанії InVeris, такі як SRCE та SURVIVR, які забезпечують 360-градусне бойове середовище. Стрільць одягає гарнітуру з високою роздільною здатністю, яка не лише передає візуальні та звукові сигнали, а й доповнює реальний світ накладеними об'єктами, такими як вороги, цивільні, укриття або пересувні перешкоди, що імітують справжнє бойове середовище у його повній складності. Попри те, що спочатку такі системи були орієнтовані винятково на вивчення основ стрільби, сьогоdnішні VSAT-платформи здатні моделювати повноцінні тактичні взаємодії: ведення вогню з укриття, ухилення, прийняття рішень у стресових умовах, розпізнавання ситуацій «стріляти/не стріляти» (shoot/no-shoot), координацію дій кількох стрільців одночасно, зміну позицій під вогнем та аналіз точності вогню на рівні всієї команди (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння сучасних систем цифрової стрілецької імітації бою

Назва системи	Виробник	Основні можливості	Сфери застосування	Переваги
MantisX	Mantis	Графічний та числовий аналіз пострілу, рекомендації щодо покращення техніки, аналіз стабільності, точності, часу реакції	Індивідуальна стрілецька підготовка, оцінювання бойової ефективності	Реальний час, без використання боєприпасів, портативність
VSAT (Virtual Small Arms Trainer)	Різні (Thales, Guardiaris тощо)	Імітація бойових сценаріїв, аналіз дій стрільця в реальному часі, модульність	Тактична підготовка, групові тренування	Реалістичне середовище, підтримка різних типів зброї
Ground Combat Indoor Trainer (GCIT)	Saab	Тренування індивідуальної та групової стрільби, аналіз поведінки зброї	Групові тактичні тренування	Аналіз помилок у реальному часі, підтримка динамічних цілей
Small Arms Tactic Trainer (SATT)	Guardiaris	Оцінка стрільби в урбанізованому середовищі, інфрачервоний трекінг	Урбанізовані бойові сценарії	Висока точність трекінгу, панорамне зображення
Indoor Simulated Marksmanship Trainer (ISMT III)	InVeris Trainin Solutions	Моделювання вогневих дій, підтримка мінометів, бойові сценарії	Комплексне бойове моделювання	Незалежність від погодних умов, висок реалістичність
Smokeless Range Trainer (SRT)	Невідомий	Тестування точності та стабільності без боєприпасів	Індивідуальна підготовка	Економія ресурсів, контрольоване середовище
SRCE/SURVIVR	InVeris Trainin Solutions	360-градусне AR/VR середовище моделювання складних бойових умов	Тактична підготовка, групові операції	Повне занурення, підтримка складних сценаріїв

На заключення, слід зазначити, що впровадження цифрових технологій у процеси оцінювання бойової ефективності короткоствольної стрілецької зброї є не просто технологічною модернізацією традиційних підходів, а стратегічно важливою складовою адаптації збройних сил до викликів, що виникають у ході еволюції бойових дій сьогодення, де темп, точність і швидкість адаптації до змін умов обстановки, високий рівень підготовки військовослужбовця стали ключовими чинниками успіху на полі бою.

Висновки. Досліджено потенціал оптико-електронних систем, віртуальних тренажерів та інтерактивних платформ типу MantisX, SATT, VSAT, ISMT III, SRCE тощо. Ці технології дають змогу не лише моделювати різноманітні бойові сценарії, а й точно фіксувати ключові показники стрільби: момент натискання на спусковий гачок, рух ствола, етапи прицілювання, координати передбачуваного влучання, швидкість реакції та кінематику пострілу. Вивчено ефективність використання таких систем для побудови адаптивних тренувальних комплексів, що враховують змінні умови: освітлення, просторові обмеження, фоновий шум, стан стрільця (як фізичний, так і психологічний), а також взаємодію з союзниками й протидію противника.

Показано, що цифрова реєстрація бойових дій через вбудовані сенсори та системи трекінгу має великий аналітичний потенціал. Вона дозволяє виявити прямі зв'язки між поведінкою стрільця, конструктивними особливостями зброї та загальною результативністю

стрільби. На основі цього розроблено науково обґрунтовану методологію застосування технологій сухого вогню, лазерних тренажерів, інфрачервоної візуалізації та біометричного супроводу в рамках єдиного цифрового простору, здатного збирати, обробляти та аналізувати великі масиви бойових даних.

Встановлено, що широке застосування сучасних VSAT-систем значно перевершує можливості традиційних методів навчання стрільців. Такі системи дозволяють моделювати складні бойові умови, використовуючи елементи доповненої та віртуальної реальності, а також реалізовувати багаторівневу оцінку, від техніки окремого стрільця до взаємодії групи в умовах віртуального полігону. Результатом стало формування нового підходу до аналізу бойової ефективності короткоствольної зброї, який розглядає її як динамічний процес, що залежить від контексту. Основою цього підходу є інтеграція сенсорних, аналітичних, інформаційних та візуалізаційних компонентів у єдину цифрову екосистему бойової підготовки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Казначеев Д. Г., Волков Ю. М. Особливості ідеомоторного тренування під час вогневої підготовки. Юридичний науковий електронний журнал. 2022. № 11. С. 491-494. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2022-11/102>
2. Наточій А. Д., Болгаренко В. М. Вогнева підготовка та формування професійних якостей у майбутніх офіцерів: взаємозв'язок та взаємозалежність. Аналітично-порівняльне правознавство. 2024. № 3. С. 64-72. DOI: <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.03.64>
3. Сучасні види вогнепальної стрілецької зброї підрозділів МВС України : навчальний посібник / Ю. Р. Йосипів, В. М. Синенький, М. Д. Курляк, М. О. Лиса, Н. Д. Туз, П. С. Вербицький, за заг. ред. Ю. Р. Йосипіва. Львів: Львівський державний університет внутрішніх справ, 2022. 184 с.
4. Хацаюк О., Самсонов Ю., Самсонова Г. Підготовка інструкторів з вогневої підготовки : колект. моногр. London-Chisinau : Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L. publishing group, 2024. 81 с.
5. Anderson M. Small arms training simulators in the New Zealand Defence Force. Defence Technology Agency, New Zealand Defence Force. Paper presented at DHSS 2014 (International Defense and Homeland Security Simulation Workshop). 2014. p. 7-12.
6. Chandan R.H., Sharmin N., Munir M.B., Razzak A., Naim T.A., Mubashshira T., Rahman M. AI-based small arms firing skill evaluation system in the military domain. Defence Technology. 2023. vol. 29, issue 9. p. 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.02.024>
7. Fedaravičius A., Pilkauskas K., Slizys E., Survila A. Research and development of training pistols for laser shooting simulation system. Defence Technology. 2020. vol. 16, issue 3. p. 530-534
8. Laser Shot. Virtual Specialized Training Simulations (Law Enforcement Virtual Specialized Training Simulations). Laser Shot (SecurityTrainingE3). 2024. <https://securitytraining3.com/wp-content/uploads/2024/11/Law-Enforcement-Virtual-Specialized-Training-Simulations.pdf>
9. Lee B., Hwang T.Y., Hyun S., Lee H. Improvement of K-2 rifle's live-fire accuracy using virtual reality shooting training system. Virtual Reality. 2025. vol. 29. article 23. <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01094-w>
10. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. no 2(13(128)). pp. 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
11. Marino C. Reality Check: Haptics improvements to Army simulation training makes virtual environments feel more realistic. Army AL&T Magazine. Spring. 2025. p. 18–21. URL: <https://www.lineofdeparture.army.mil/Journals/Army-AL-T/AL-T-Archive/Spring-2025/Reality-Check/>
12. Marlok T., Takács M.G. VR Training Opportunities in the Hungarian Defence Forces. Academic and Applied Research in Military and Public Management Science (AARMS). 2024. vol. 23, no 2, pp. 19–37. <https://doi.org/10.32565/aarms.2024.2.2>
13. Nash T. Virtually Shooting Straight: modern Virtual Small Arms Trainer evolves from marksmanship to integrated squad-level tactical training. European Security & Defence. 2024. no 5. URL: <https://euro-sd.com/2024/05/articles/technology/38268/virtually-shooting-straight/>

14. Nautilus International Risk Consultants Ltd. Weapon simulation training services: VirTra recoil-kits, roundless laser weapon conversion, judgemental training simulators, battlefield effects. Nautilus International. 2024. <https://nautilus-intl.co.uk/portfolio/weapon-simulation/>

15. Rondón Gómez L.A., Alarcón P., Arce D. Design and Implementation of a Low-Cost Virtual Rifle Shooting Simulator for the Peruvian Army Military School. In 5th International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE 2024). Kuala Lumpur, Malaysia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2024. <https://doi.org/10.1109/ICECCE63537.2024.10823594>

REFERENCES:

1. Kaznacheiev D. H., Volkov Y. M. (2022), “Osoblyvosti ideomotoroho navchannia pid chas vohnevoi pidhotovky” [Peculiarities of ideomotor training during firearms training], *Yurydychnyi naukovi elektronnyi zhurnal – Legal Scientific Electronic Journal*, no. 11, pp. 491–494. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2022-11/102>.

2. Natochii A. D., Bolharenko V. M. (2024), “Vohneva pidhotovka ta formuvannia profesiinykh yakosteï u maibutnykh ofitseriv: vzaïmozv'язok ta vzaïmozalezhnist'” [Fire training and development of professional qualities in future officers: interrelation and interdependence], *Analitychno-porivnialne pravoznavstvo – Analytical and Comparative Jurisprudence*, no. 3, pp. 64–72. DOI: <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.03.64>.

3. Yosypiv Yu. R., Synenkyi V. M., Kurliak M. D., Lysa M. O., Tuz N. D., Verbytskyi P. S. (2022), *Suchasni vydy vohnepalnoi strilets'koi zbroï pidrozdiliv MVS Ukrainy* [Modern types of firearms of the units of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine], Yu. R. Yosypiv (Ed.), Lviv: Lvivskyi derzhavnyi universytet vnutrishnykh sprav, 184 p.

4. Khatsaiuk O., Samsonov Yu., Samsonova H. (2024), *Pidhotovka instruktoriv z vohnevoi pidhotovky* [Training of firearms instructors], collective monograph, London–Chisinau: Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L. publishing group, 81 p.

5. Anderson M. (2014), “Small arms training simulators in the New Zealand Defence Force”, Paper presented at DHSS 2014 (International Defense and Homeland Security Simulation Workshop), Defence Technology Agency, New Zealand Defence Force, pp. 7–12.

6. Chandan R. H., Sharmin N., Munir M. B., Razzak A., Naim T. A., Mubashshira T., Rahman M. (2023), “AI based small arms firing skill evaluation system in the military domain”, *Defence Technology*, vol. 29, issue 9, pp. 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.02.024>.

7. Fedaravičius A., Pilkauskas K., Slizys E., Survila A. (2020), “Research and development of training pistols for laser shooting simulation system”, *Defence Technology*, vol. 16, issue 3, pp. 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.06.018>.

8. Laser Shot (2024), “Virtual Specialized Training Simulations (Law Enforcement Virtual Specialized Training Simulations)”, Laser Shot (SecurityTrainingE3). <https://securitytraining3.com/wp-content/uploads/2024/11/Law-Enforcement-Virtual-Specialized-Training-Simulations.pdf>.

9. Lee B., Hwang T. Y., Hyun S., Lee H. (2025), “Improvement of K-2 rifle’s live fire accuracy using virtual reality shooting training system”, *Virtual Reality*, vol. 29, article 23. <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01094-w>.

10. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. (2024), “Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2(13(128)), pp. 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.

11. Marino C. (2025), “Reality Check: Haptics improvements to Army simulation training makes virtual environments feel more realistic”, *Army AL&T Magazine*, Spring, pp. 18–21. <https://www.lineofdeparture.army.mil/Journals/Army-AL-T/AL-T-Archive/Spring-2025/Reality-Check/>.

12. Marlok T., Takács M. G. (2024), “VR Training Opportunities in the Hungarian Defence Forces”, *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science (AARMS)*, vol. 23, no. 2, pp. 19–37. <https://doi.org/10.32565/aarms.2024.2.2>.

13. Nash T. (2024), “Virtually Shooting Straight: modern Virtual Small Arms Trainer evolves from marksmanship to integrated squad level tactical training”, *European Security & Defence*, no. 5. <https://euro-sd.com/2024/05/articles/technology/38268/virtually-shooting-straight/>.

14. Nautilus International Risk Consultants Ltd. (2024), “Weapon simulation training services: VirTra recoil kits, roundless laser weapon conversion, judgemental training simulators, battlefield effects”, Nautilus International. <https://nautilus-intl.co.uk/portfolio/weapon-simulation/>.

15. Rondón Gómez L. A., Alarcón P., Arce D. (2024), “Design and Implementation of a Low Cost Virtual Rifle Shooting Simulator for the Peruvian Army Military School”, In: 5th International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE 2024), Kuala Lumpur, Malaysia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICECCE63537.2024.10823594>.

Ph.D. Lutsyshyn A.M., Ph.D. Loza V.M., Vasylenko Y.Y., Kondratiuk V.V.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN DEVELOPING A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE COMBAT EFFECTIVENESS OF SHORT-BARRELED SMALL ARMS

The article is devoted to the study of digital technologies for evaluating the combat effectiveness of short-barreled small arms in real and simulated combat environments. It analyzes the evolution of virtual small arms training simulators and their role in enhancing the accuracy of shooting analysis and tactical training. The purpose of the study is to determine the effectiveness level of using digital systems to ensure objective assessment of weapon technical parameters and to improve tactical approaches to their combat use. A systematic review of modern virtual training systems was conducted, including optoelectronic sensors, laser simulators, infrared tracking technologies, and AR/VR systems. The methodology is based on comparative analysis of system functionalities, their capability to capture shooting parameters (barrel trajectory, stability, reaction time), and process data using specialized software. The research results demonstrate that digital technologies provide high-precision recording of key shooting parameters such as barrel deviation, trigger pull timing, and shot dispersion, which enables identification of design flaws in weapons. These systems also make it possible to model dynamic combat scenarios, including urban environments and stress-inducing conditions, offering a comprehensive analysis of both individual and group tactical actions. The scientific novelty lies in the integration of sensor platforms, game engines, and biometric data (heart rate, stress level) to create a digital profile of combat effectiveness that takes into account both technical and physiological factors. The proposed approach opens new possibilities for objective comparison of different weapon models and their adaptation to contemporary combat doctrines. Future research perspectives include the development of simulation-supported systems to increase immersion in virtual environments. Further progress is expected in the formation of a unified digital assessment model that integrates data on individual and group tactical interactions to generate comprehensive combat profiles.

Keywords: *short-barreled weapons, combat effectiveness, digital technologies, firearms training, virtual simulators, sensor systems, application tactics, tactical modeling.*