

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.14.1.11-22>

УДК 681.5

І.В. Петлюк, к.т.н.

Ю.В. Щавінський, к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-2319-8983>

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНОГО АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОЗБРОЄННЯ

В статті проведений аналіз застосування систем імітаційного моделювання у військовій сфері, вклад вітчизняних та закордонних науковців у його розвиток. Визначена проблема застосування систем імітаційного моделювання при розробці перспективних зразків артилерійського озброєння, як складних систем, з урахуванням факторів бойової обстановки. Приведений варіант ураження об'єкту (цілі) мінометною батареєю, моделювання та експерименти з різними показниками швидкострільності та маневреності. Методом імітаційного моделювання з використанням JCATS визначені потрібні технічні характеристики маневреності та швидкострільності перспективних мінометних систем, які повинні бути враховані при конструюванні. Використовуючи регресивний аналіз, показані результати прогнозу необхідної швидкострільності та маневреності перспективних мінометних комплексів, які будуть забезпечувати потрібну ефективність ураження одиночних цілей в сучасних маневрених бойових діях з імовірністю ураження не нижче 0,9. Результати моделювання зведені в таблицю. Вказані вимоги, яких необхідно дотримуватись при створенні самохідних мінометних систем та технічні рішення, які зможуть забезпечувати необхідну швидкострільність. Запропоновані шляхи використання програми єдиної імітації конфліктів та тактики бойових дій у системі ІМ JCATS в наукових дослідженнях, при формуванні тактико-технічних вимог та характеристик зразків озброєння, при розробці нових та модернізації існуючих.

Ключові слова: імітаційне моделювання; тактико-технічні вимоги; тактико-технічні характеристики; артилерійське озброєння; комп'ютерні технології; технологія імітаційного моделювання; бойова ефективність застосування артилерійської системи; показник бойової ефективності; ймовірність ураження цілі; маневреність; швидкострільність.

Постановка проблеми

Суттєві зміни в характері ведення збройної боротьби на початку ХХІ-го століття, перехід від платфоцентричної концепції ведення бойових дій до мережоцентричної, висувають на перший план вимоги розроблення нових зразків озброєння з необхідними тактико-технічними характеристиками їх застосування в складі бойових систем.

Крім того, проведення випробувань дослідних зразків, що діють в складі бойових систем, як правило, супроводжується складнощами, пов'язаними з неможливістю створення бойової обстановки, близької до реальної. При випробуваннях неможливо врахувати дію всіх важливих факторів, що впливають на бойову ефективність випробуваної бойової системи – протидія противника, вплив зовнішнього середовища, способів бойового застосування [1]. Вирішити зазначену проблему дозволяє імітаційне моделювання (ІМ).

Постановка завдання

Розвиток методів застосування імітаційного моделювання при розробленні тактико-технічних вимог до перспективних артилерійських систем і їх характеристик та удосконаленні існуючих.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В науковій літературі імітаційне моделювання розглядається як метод наукового дослідження і є одним з найпотужніших інструментів аналізу при розробці складних систем і аналізі процесів їх функціонування. Зарубіжні фахівці Р. Шеннон, Р. Ненсі, Дж. Гордон, Дж. Нейман, С. Улам, А. Лоу, В. Кельтон ще у минулому столітті визначили декілька етапів в практиці розвитку імітаційного моделювання [2-5].

Методологічною основою для розвитку імітаційного моделювання в Україні є роботи науковців Чепкова І.Б., Лапицького С.В., Глушкова В.М., Бусленко Н.П., Моїсеєва Н.Н., Марчука Т.И., Коваленко І.Н., Марьяновича Т.П., Купріненка О.М., Пермькова О.Ю., Заруби О.Г. та ін. [1, 6-10].

В сучасних умовах імітаційне моделювання передбачає використання комп'ютерних технологій для імітації різних процесів або операцій. З погляду комп'ютерної реалізації імітаційне моделювання – це комплексний метод дослідження складних систем на електронно-обчислювальних машинах (ЕОМ), що включає побудову концептуальних, математичних і програмних моделей, виконання широкого спектру цілеспрямованих імітаційних експериментів, обробку і інтерпретацію результатів цих експериментів. Технологія ІМ у військовій справі почала трактуватися науковцями як спосіб видобування нової інформації, нового знання, пошук внутрішніх характеристик моделі (системи) з урахуванням зовнішніх факторів.

Розроблене ще у 1916 році рівняння Ланчестера дозволило за досвідом Першої Світової війни звести в систему результати вогню та ураження цілей для того, щоб прогнозувати рівень втрат. Це був один з перших прикладів моделювання у військових цілях. ІМ вдосконалювалося з часом і сьогодні перетворилося на технологію з потужними можливостями щодо відтворення реальних подій на полі бою. Науково-технічна революція в області обчислювальної техніки у США послужила поштовхом в розвитку засобів ІМ та їх застосування у військовій сфері [6].

Однією з найбільш потужних систем ІМ є програма єдиної імітації конфліктів та тактики бойових дій JCATS (Joint Conflict and Tactical Simulation), створена Лабораторією Імітаційного Моделювання при Національній Лабораторії Лоренса Лівермора, США. Дана система широко використовується для моделювання бойових дій в 23 країнах, в тому числі країнах-членах НАТО. Адекватність імітаційної системи JCATS підтверджується успішним її використанням під час бойових дій в Югославії, Сомалі, Іраку, Афганістані [10-12], позитивними результатами проведених наукових досліджень, виконанні науково-дослідних робіт, перевірок, звітів про які наведені в [13, 14].

В Збройних Силах України система JCATS знаходиться з початку 2000-х років і стала невід'ємною частиною міжнародних навчань, аналізу й інших елементів середовища оперативної підготовки.

Разом з тим, науковці відзначають, що, не зважаючи на її актуальність, вона не отримала широкого застосування при проведенні наукових досліджень, результати отримані науковцями в основній масі піддаються сумніву, не завжди науковці використовують її в інтересах проведення випробувань озброєння та військової техніки, а командири всіх ланок використовують, в основному, для проведення командно-штабних навчань і тренувань особового складу [1, 6, 8, 10]. Причиною цього є як психологічне несприйняття науковцями її завершеності так і теоретична невідповідність науковців у зв'язку з прихованим математичним апаратом функціонування статистичних закономірностей, які використовуються в JCATS.

Виклад основного матеріалу дослідження

Імітаційне моделювання (англ. Simulation modeling) – метод дослідження, при якому система, що вивчається, замінюється моделлю, яка з достатньою точністю повинна описувати реальну систему. Побудована модель описує процеси так, як вони проходили б у дійсності. Зі створеною моделлю проводяться експерименти з метою отримання інформації про властивості та характеристики системи. Таку модель можна «програти» в часі, як для одного випробування, так і заданої їх безлічі. При цьому результати будуть визначатися випадковим характером процесів.

Мета імітаційного моделювання полягає у відтворенні поведінки досліджуваної системи на основі результатів аналізу найбільш суттєвих взаємозв'язків між її елементами. Отримавши за допомогою ІМ на ЕОМ велику кількість результатів на основі закону великих чисел можна зробити висновки про достовірність дослідження моделі та висновки застосувати до досліджуваних артилерійських систем (АС), не вдаючись до експериментів на реальному об'єкті [13-14].

Артилерійська система, як вид озброєння, є складною технічною системою, яка, з точки зору її бойового призначення, повинна відповідати вимогам ефективного застосування та мати потрібні тактико-технічні характеристики.

Згідно теорії на ефективність застосування артилерійських систем впливає ряд факторів [15-17]:

- задана величина втрат противника в операції;
- ступінь його протидії;
- характер місцевості регіону бойових дій;
- пора року;
- характер і розміри об'єктів ураження;
- точність визначення установок для стрільби;
- вибір точок прицілювання;
- вид снаряду, підричника, заряду;
- спосіб обстрілу.

Наприклад, при виконанні АС завдань контрбатареїної боротьби, таку загальну залежність можна виразити наступним чином:

$$W = f[(X_n, X_n), (C_n, C_n), (B_n, B_n), (Z_n, Z_n)], \quad (1)$$

де W – величина бойової ефективності АС при виконанні завдань контрбатареїної боротьби;

f – вид функції, яка зв'язує показник бойової ефективності із своїми аргументами;

X_n, X_n – сукупність параметрів, що характеризують тактико-технічні характеристики АС противника і своїх військ;

C_n, C_n – сукупність параметрів, що характеризують боєздатність АС противника і своїх військ;

B_n, B_n – сукупність параметрів, що характеризують ефективність боєприпасів до АС противника і своїх військ;

Z_n, Z_n – сукупність параметрів, що характеризують вплив умов (погода, пора року, місцевість та інш.) на застосування АС противника і своїх військ.

Визначення цих факторів та ступеня їх впливу складає основу теорії бойової ефективності, є важливою науково-технічною проблемою та потребує дослідження у зв'язку зі зміною стратегії й тактики ведення сучасних бойових дій, підвищеними вимогами до оперативності й точності застосування АС.

Показником бойової ефективності АС при ураженні одиночних цілей є ймовірність їх ураження, при ураженні групових – математичне очікування відносної кількості одиночних цілей зі складу групової [15-17].

Громіздкість розрахунків заставляла науковців застосовувати спрощення при визначенні ефективності АС з їх заданими технічними характеристиками використовуючи різного типу спрощення зведенням стрільби декількох АС в складі артилерійського підрозділу до стрільби однієї АС та зведенням стрільби по групових цілях до стрільби по одиночній, що приводило до зниження точності розрахунків на 3-8% або вимагало перевищення витрати боєприпасів на 18-22% [18].

Якщо раніше кожен фактор впливу визначався окремо, за складеними наперед табличними залежностями [19], то сьогодні досягнення в області інформаційних технологій, зростання можливостей обчислювальної техніки дозволяють формувати тактико-технічні характеристики у тісній взаємодії всіх факторів із застосуванням методу ІМ.

Сучасний розвиток елементної бази та використання імовірнісних законів і статистичних методів розрахунку в JCATS дозволяє визначати імовірність ураження цілі без таких спрощень, використовуючи залежності [15-17]:

$$P = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x, z) G(x, z) dx dz, \quad (2)$$

де $G(x, z) = \prod_{i=1}^{n_r} \prod_{j=1}^{n_\phi} [1 - p(x + x_{d_i}, z + z_{d_j})]^{N_{ij}}$ – умовна ймовірність отримання всіх промахів при

стрільбі на n_r установках прицілу і n_ϕ установках кутоміру із загальною витратою боєприпасів N_{ij} при фіксованих похибках підготовки x, z ;

$$p(x + x_{d_i}, z + z_{d_j}) = \int_{x+x_{d_i}-l}^{x+x_{d_i}+l} \int_{z+z_{d_j}-m}^{z+z_{d_j}+m} \frac{\rho^2}{\pi B \delta B \bar{b}} e^{-\rho^2 (\frac{x_p^2}{B\delta^2} + \frac{z_p^2}{B\bar{b}^2})} dx_p dz_p$$
 – умовна ймовірність попадання в

ціль з розмірами (l, m) на i -тій установці прицілу та j -тій установці кутоміру, якщо точка прицілювання знаходиться на відстані від центра цілі x_{d_j}, z_{d_j} ;

$B\delta, B\bar{b}$ – характеристики розсіювання за дальністю і напрямком;

$$\varphi(x, z) = \frac{\rho^2}{\pi E_x E_z} e^{-\rho^2 (\frac{x^2}{E_x^2} + \frac{z^2}{E_z^2})}$$
 – щільність ймовірності розподілу похибок підготовки гармати за

дальністю і напрямком, що характеризуються серединними відхиленнями E_x, E_z .

Для моделювання впливу випадкових факторів необхідно знати закон, за яким змінюються випадкові чинники. Даний закон зазвичай задається за допомогою відповідних теоретичних або емпіричних функцій розподілу.

У системі JCATS, методом Монте-Карло, використовуючи генератори псевдовипадкових чисел для імітації випадковості похибок підготовки установок за дальністю і напрямком E_x, E_z відхилень розривів снарядів від цілі за дальністю і напрямком x_{d_j}, z_{d_j} , витрати боєприпасів N_{ij} за допомогою формули 2 необхідно визначити імовірність ураження цілей та загальну ефективність АС за визначений час їх стрільби.

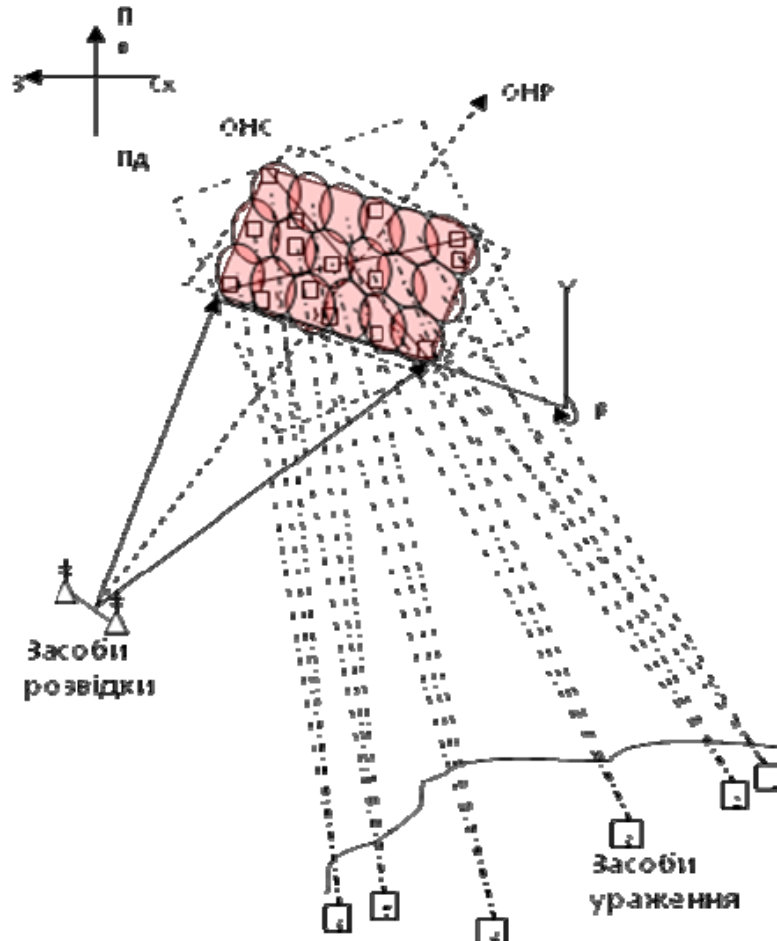
Крім того, технічні можливості JCATS дозволяють при проведенні моделювання врахувати переважну більшість факторів, що впливають на тактико-технічні характеристики АС, які досліджуються, чим забезпечується адекватність процесу дослідження: комплексний вплив місцевості, погоди, часу доби, пори року, інтенсивності бойових дій на ефективність застосування зразків озброєння [20-23].

З точки зору використання математичного апарату для формалізованого опису процесу стрільби імітаційна система JCATS представляє ієрархічну модель [1, 6]. При створенні ІМ спочатку проводиться опис взаємодії окремих об'єктів з використанням методу статистичних випробувань Монте-Карло. При цьому моделювання стрільби кожної АС по призначених точках прицілювання за принципом, вказаним на рис. 1 дозволяє визначити потрібні тактико-технічні характеристики, а саме швидкострільність (кількість пострілів за хвилину) та маневреність (час переведення в бойове та похідне положення), а також при впливі перелічених факторів у їх взаємодії для подальшого формування конструктивних особливостей АС.

При цьому враховуються:

- склад і тактико-технічні характеристики озброєння та засобів прицілювання;
- тип боєприпасів і їх вражаюча здатність;
- габаритні розміри об'єктів;
- діапазон можливих швидкостей руху;
- час переведення АС із похідного положення в бойове і навпаки;

- вплив на процеси руху противника, викриття його об'єктів та ураження цілей;
- характеристика місцевості, дорожніх і погодних умов, пори року, доби;
- вплив інших факторів (дим, шум, поповнення запасів, боєздатність, стомленість особового складу обслуги АС, достатній рівень його підготовки, застосування зброї масового ураження, а також не смертельної зброї, впливу наслідків стрільб, руйнувань, стихійних лих і т.п.).



(ОНС – основний напрямок стрільби, ОНР – основний напрямок розвідки)

Рис. 1. Схема визначення даних для ураження великорозмірних цілей

Для проведення імітаційного моделювання з використанням *JCATS* з метою визначення потрібних тактико-технічних характеристик мінометних систем вибраний варіант ураження цілі (протитанкова керована ракета (ПТКР) противника) мінометною батареєю 120 мм мінометів 2С12.

При формуванні моделі прийняті такі припущення:

- координати цілі та елементи бойового порядку визначені з характеристикою «точно»;
- дані метеорологічних і балістичних умов визначені без похибок;
- батарея знаходиться в районі очікування у 200 м від вогневої позиції;
- точність підготовки установок для стрільби на ураження характеризується середніми похибками в дальності 0,8-1,8% D стрільби, в напрямку 0-05 - 0-10 поділок кутоміра;
- забезпеченість боєприпасами – за нормами військових запасів, міна ОФ-843;
- характеристики розсіювання за дальністю і напрямком – згідно таблиць стрільби.

Обмеженнями моделі визначено:

- час перебування цілі на позиції (за досвідом антитерористичної операції) складає 7 хвилин;
- стрільба по цілі проводиться без вогневого впливу противника протягом 5-7 хвилин, дальність стрільби 6 км;

- ціль неспостерігаєма;
- витрата боєприпасів – згідно потреби, зазначеної для ураження цілі в Правилах стрільби і управління вогнем (ПСіУВ) [24].

Дію випадкових факторів визначаємо за допомогою генератора випадкових чисел:

- похибок підготовки E_x – від 0,8% до 1,8% дальності стрільби;
- E_z – від 0-05 до 0-10 поділок кутотіра;
- характеристики розсіювання $B\delta, B\sigma$ – від 0 до 4.

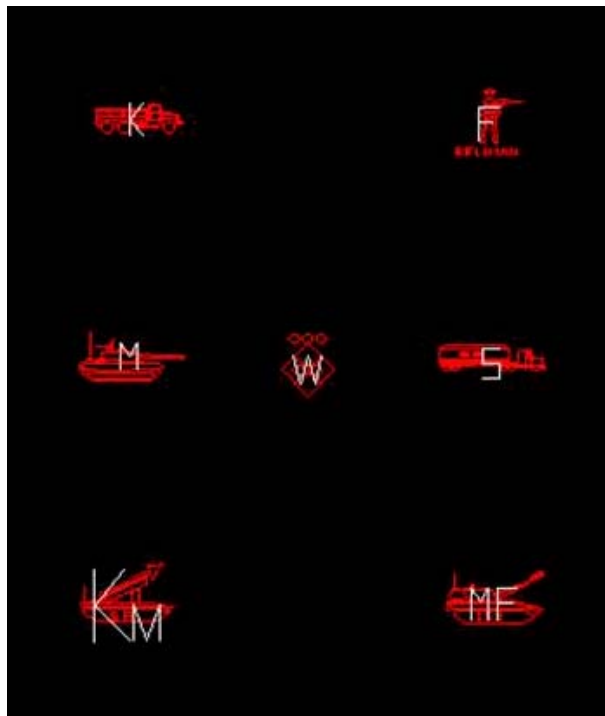
Вхідними некерованими змінними моделі є:

- помилки підготовки установок для стрільби на ураження;
- характеристики розсіювання.

Вхідними керованими змінними є швидкострільність та час, необхідний для зайняття вогневої позиції і відкриття вогню по цілі.

Вихідними змінними моделі є: імовірність ураження цілі.

У процесі моделювання в JCATS ціль може змінювати власний статус: уражатися, ушкоджуватися і знищуватися. Можливі стани пошкоджених систем наведено на рис. 2.



S - Подавлено; K - Повністю знищено; M - Знищено маневреність; F - Знищено здатність вести вогонь; W - Знищено здатність вести вогонь у однієї або більше одиниць в агрегаті; MF - Знищено маневреність та здатність вести вогонь; KM - Знищено одиницю техніки, всередині якої знаходиться екіпаж або десант;

Рис. 2. Можливі стани цілей противника після ураження в JCATS

Враховуючи, що доцільне завдання стрільби на ураження ПТКР – знищення і витрата боєприпасів визначена в правилах стрільби і управління вогнем (ПС і УВ) для виконання цього завдання, нас цікавить результат К.

Проведено 40 експериментів з різними показниками швидкострільності та маневреності. Результати моделювання зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Результати моделювання

Швидкострільність (пострілів за хв)	Відносна частота К	Маневреність (хв)	Відносна частота К
4	0,23	4	0,82
5	0,34	5	0,76
6	0,29	6	0,79
7	0,59	7	0,53
8	0,67	8	0,44
9	0,65	9	0,5
10	0,86	10	0,37

Аналіз таблиці 1 підтверджує основні положення теорії стрільби і управління вогнем [15] та ПС і УВ [24], розходження з теоретичними даними складає не більше 5%, що забезпечує адекватність моделі та достовірність результатів.

Використовуючи регресивний аналіз, на рис. 3 та 4 показані результати прогнозу необхідної швидкострільності та маневреності перспективних мінометних комплексів, які будуть забезпечувати потрібну ефективність ураження одиночних цілей в сучасних маневрених бойових діях з імовірністю ураження не нижче 0,9.

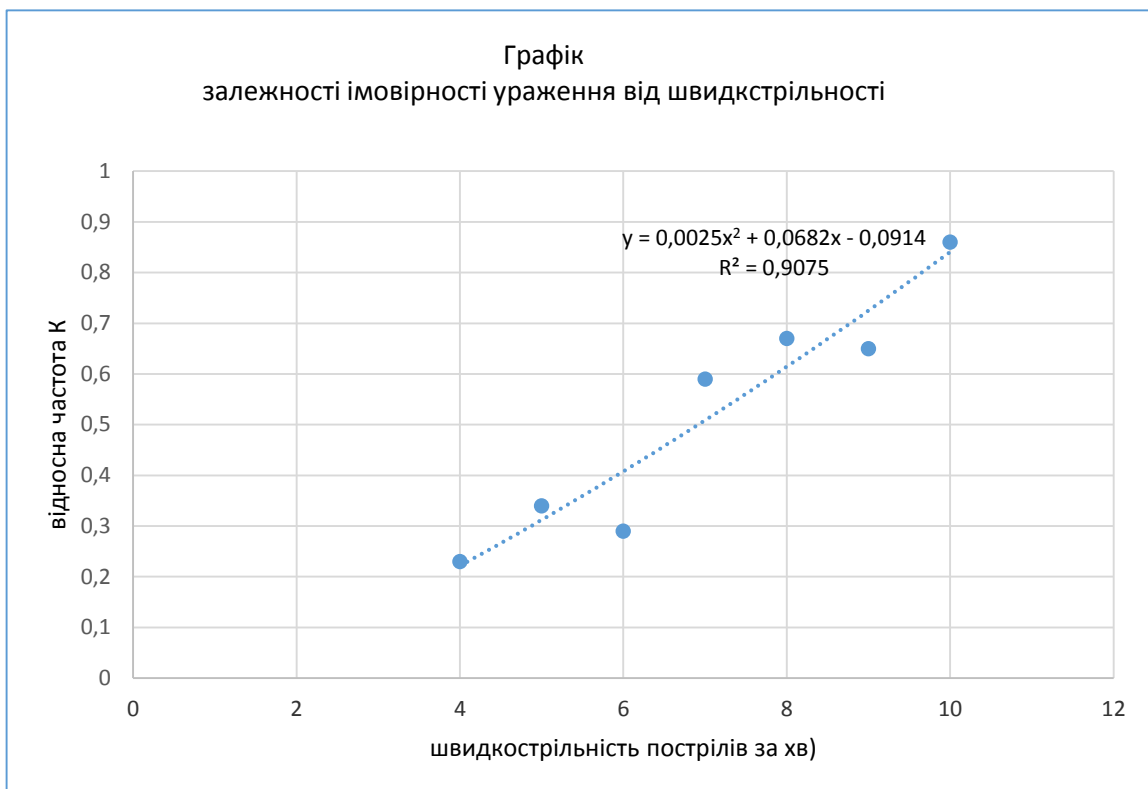


Рис. 3. Прогноз імовірності ураження в залежності від швидкострільності

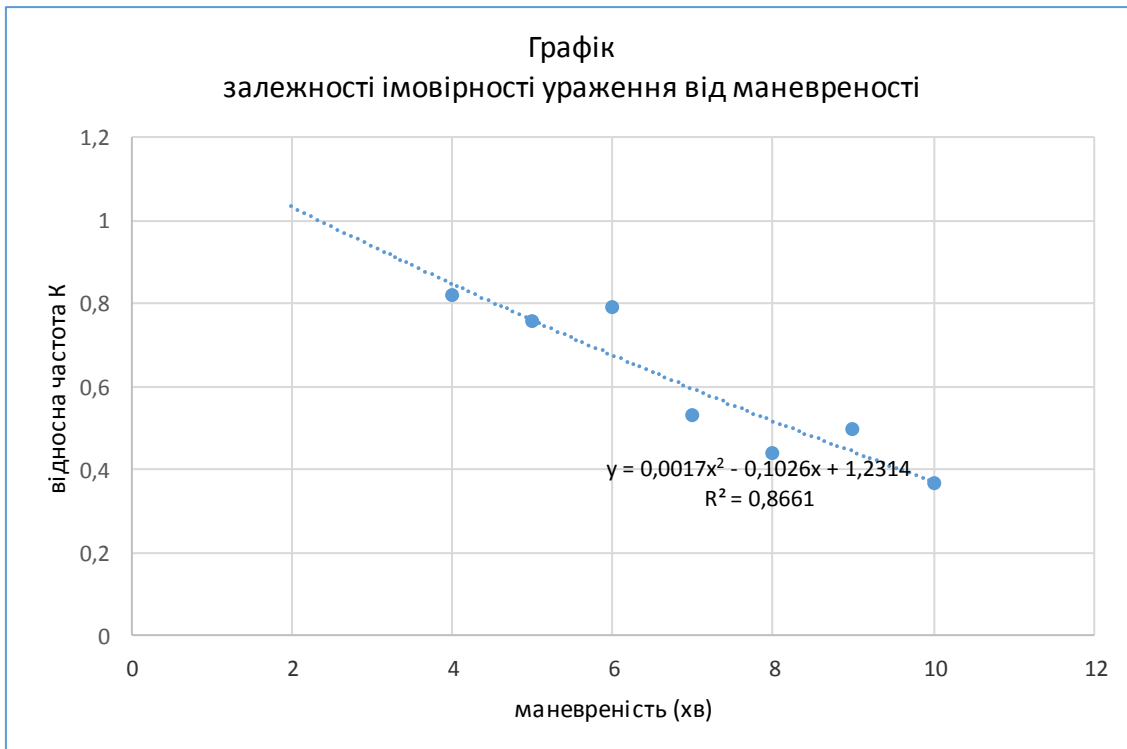


Рис. 4. Прогноз імовірності ураження в залежності від маневреності

Близький до 1 коефіцієнт детермінації R^2 при поліноміальній апроксимації (0,9075 і 0,8661) вказує на достовірність прогнозу.

Таким чином методом імітаційного моделювання з використанням JCATS визначені потрібні технічні характеристики маневреності (час на зайняття вогневої позиції батареєю не більше 2,5 хв.) та швидкострільності (не менше 10-11 пострілів за хвилину) перспективних мінометних систем, які повинні бути враховані при конструюванні. Вказані вимоги потребують створення самохідних мінометних систем та технічних рішень, які будуть забезпечувати необхідну швидкострільність.

Висновки

1. Застосування середовища моделювання JCATS дає безліч переваг в порівнянні з виконанням експериментів над реальною АС і є одним із важливих шляхів вирішення завдань при проведенні передпроектних досліджень з метою формування тактико-технічних вимог до АС.

2. Сучасні досягнення в області інформаційних технологій, зростання можливостей обчислювальної техніки дозволяють використовувати в JCATS імовірнісні закони без спрощень, що допускаються в сучасній артилерійській науці та імітувати стрільбу кожної АС і визначати вплив кожної АС на величину ефективності застосування АС в складі підрозділу. Варіюючи зовнішніми чинниками, використовуючи ІМ, можливо визначати найбільш ефективні тактико-технічні характеристики АС в умовах бойової обстановки та визначати тактико-технічні вимоги при створенні (конструюванні) нових АС.

3. Імітаційне моделювання дозволяє визначити необхідні діапазони раціональних значень тактико-технічних характеристик АС і становить практичну цінність при обґрунтуванні пропозицій щодо коригування параметрів і характеристик, які визначають їх технічний вигляд.

4. Широкі можливості і достатній рівень адекватності JCATS дозволяють зробити висновок про доцільність її використання в інтересах проведення випробувань дослідних зразків озброєння та військової техніки.

Список використаних джерел

1. Основи воєнно-технічних досліджень. Теорія та приклади: монографія в 10 т. Т.9. /Прикладні аспекти випробувань і теоретико-експериментальних досліджень озброєння і військової техніки [І. Чепков, С. Лапицький та інш.] / Під ред. С. Лапицького – Київ.: Видавничий дім Д. Бураго, 2015. – 504 с.
2. Шеннон Р. Імітаційне моделювання систем - мистецтво і наука / Р. Шеннон; перев. з англ. під ред. Е. Масловського. - Москва: Мир, 1978. - 418 с.
3. Kelton W.D., Sadowski R.P. and Sadowski D.A.: Simulation with Arena, McGraw-Hill, New York (1998).
4. Systems Modeling Corporation: Arena User's Guide, Version 4.0, Sewickly, Pennsylvania (1999).
5. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS .3-е издание. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. –847с.
6. Куприненко А. Возможности применения имитационной системы JCATS в научных исследованиях. /А. Куприненко, В. Голуб, Р. Гуминский/ Військово-технічний збірник Львів №2(11) 2014. С. 84-98.
7. Пермяков О. Шляхи інтегрування імітаційного моделювання у процес оперативної і бойової підготовки Збройних Сил України / Доповідь на кафедрі інформатизації штабів. – Київ.: НАОУ, 2006. – С.17-22.
8. Заруба О. Імітаційне моделювання: досвід збройних сил Франції / О. Заруба // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – Київ: 2008. – № 2(2). – С.44-46
9. Жигаревич О. Дослідження складних систем засобами імітаційного моделювання. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». Випуск №14 Луцьк. – 2014. – С. 139-143.
10. Казмірчук Р. Розвиток систем імітаційного моделювання в США / Р. Казмірчук, Є. Рижов, О. Совгар / Бойове застосування ОБТ. Військово-технічний збірник №2(5)2011 с.97-104. Київ.: DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.5.2011.97-104>
11. Kvyetnyu R. Basics of Modelling and Computational Methods / R. Kvyetnyu. – Вінниця: ВДТУ, 2007. – 147 с.
12. Муха В. Вычислительные методы и компьютерная алгебра: учеб.-метод. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: БГУИР, 2010. – 148 с.
13. Горохов А. Формальный синтез структуры имитационной модели (на примере синтеза системно-динамических моделей) // Программные системы и вычислительные методы. №3(4)-2013.-С. 277-284. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://nbpublish.com/library_get_pdf.php?id=27518 DOI: 10.7256/2305-6061.2013.3.8855.
14. Лопаткін Р. Перспективи застосування імітаційного моделювання в задачах автоматизації та управлінні технологічними системами/ Р. Лопаткін, С. Петров, С. Ігнатенко, В. Івашенко// Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 17(1189). – С.61–71.
15. Теоретичні основи стрільби і управління вогнем артилерії: Підручник / Телелим В., Тарасов В., Сорока В., Артамощенко В. –Київ.: НАОУ, 2004 – 306 с.
16. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Москва. : Наука, 1969. – 567 с.
17. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – Москва.: Наука, 1991. – 384 с.
18. Щавінський Ю., Бударецький Ю., Красник Я., Іваник Є. Формування математичної моделі процесу підготовки даних для стрільби артилерійських систем. Військово-технічний збірник. Львів, 2019. №20. С. 88-95.
19. Свідлов Ю. Збірник таблиць для розрахунку ймовірностей, підготовки й оцінки ефективності стрільби та прийняття рішень у військовій справі. Методичний посібник. / Свідлов Ю., Мазуренко В., Супрун В., Ляпа М., Григоренко Р. – Суми: Вид-во СумДУ, 2005 – 164 с.

20. Christenson W.M. JCATS Verification and Validation Report / W.M. Christenson, Mary Catherine, Terri J. Walsh, Robert A. Zirkle. – Alexandria, Virginia : Institute for Defense Analyses, October 2002. – 230 p.
21. Taylor James G. Support of JCATS Limited Verification and Validation: report / James G. Taylor, Beny Neta. – Monterey, California: Naval postgraduate school, September 2001. – 51 p.
22. Engineering principles of combat modeling and distributed simulation / [Edited by Andreas Tolck]. – Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012. – 906 p.
23. Can JCATS Constructive Simulation Move to the Cloud? – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.defensenews.com/article/20120220/TSJ01/302200011/Can-JCATS-Constructive-Simulation-Move-Cloud>.
24. Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії (дивізіон, батарея, взвод, гармата): Навчальний посібник / І. Науменко, М. Мокроцький, І. Волков та ін.; за редакцією генерал-майора В.Ю. Горбильова. – Львів: НАСВ, 2018. – 268 с.

References

1. Chepkov, I., & Lapytskyi, S. et al. (2015). *Osnovy voienno-tekhnichnykh doslidzhen. Teoriia ta pryklady [Fundamentals of military-technical research. Theory and examples]*. S. Lapytskyi (Ed.). (Vols. 1-10). Kyiv: Vydavnychi dim D. Buraho Publ. [in Ukrainian].
2. Shennon, R. (1978) *Imitatsiine modeliuвання system - mystetstvo i nauka [Simulation modeling of systems - art and science]*. E. Maslovskoho (Ed.). Moscow: Myr Publ. [in English].
3. Kelton, W.D., Sadowski, R.P. & Sadowski, D.A. (1998). *Simulation with Arena*. New York [in English].
4. *Systems Modeling Corporation: Arena User's Guide, Version 4.0* (1999). Pennsylvania [in English].
5. Kelton, V., Lou, A. (2004). *Ymytatsyonnoe modelyrovanye. Klassyka SS [Simulation modeling. Classics CS]*. (3d ed.). SPb.: Yzdatelskaia hruppa BHV Publ. [in Russian].
6. Kuprynenko, A., Holub, V., & Humynskyi, R. (2014). *Vozmojnosti primeneniya imitatsionnoy sistemy JCATS v nauchnykh issledovaniyah [Possibilities of using the JCATS simulation system in scientific research]*. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk – Military Technical Collection, №2(11)*, 84-98 [in Russian].
7. Permiakov, O. (2006). *Shliakhy intehruвання imitatsiinoho modeliuвання u protses operativnoi i boiovoi pidhotovky Zbroinykh Syl Ukrainy. Dopovid na kafedri informatyzatsii shtabiv [Informatization model integration in the process of operational and combat training of the Ukrainian Defense Forces. Additional information at the Department of Informatization of Headquarters]*. Kyiv: NAOU, 2006. 17-22 [in Ukrainian].
8. Zaruba, O. (2008). *Imitatsiine modeliuвання: dosvid zbroinykh syl Frantsii [Imitatsiine Modeluвання: Achievement of the Brotherhood of France]*. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony, № 2(2)*, 44-46 [in Ukrainian].
9. Zhyharevych, O. (2014). *Doslidzhennia skladnykh system zasobamy imitatsiinoho modeliuвання [Pre-adjustment of folding systems by means of an imitational model]*. *Naukovyi zhurnal Kompiuterno-intehrovani tekhnologii: osvita, nauka, vyrobnytstvo, №14*, 139-143 [in Ukrainian].
10. Kazmirchuk, R., Ryzhov Ye., & Sovhar, O. (2011). *Rozvytok system imitatsiinoho modeliuвання v SShA [Development of Simulation and Modeling Systems in the United States of America]*. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk, №2(5)*, 97-104. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.5.2011.97-104> [in Ukrainian].
11. Kvyetnyy, R. (2007). *Basics of Modelling and Computational Methods*. Vinnytsia: VDTU [in Ukrainian].
12. Muha, V. (2010). *Vyichislitelnyie metody i kompiuternaya algebra [Computational Methods and Computer Algebra]*. (2d ed. rev.). Minsk : BGUIR Publ. [in Russian].
13. Gorohov, A. (2013). *Formalnyiy sintez strukturyi imitatsionnoy modeli (na primere sinteza sistemno-dinamicheskikh modeley) [Formal synthesis of the structure of the simulation model (on the example of the synthesis of system-dynamic models)]*. *Programmnyie sistemy i vyichislitelnyie metody - Software systems and computational methods*. DOI: 10.7256/2305-6061.2013.3.8855 URL: https://nbpublish.com/library_get_pdf.php?id=27518 [in Russian].

14. Lopatkin, R., Petrov, S., Ihnatenko, S., & Ivashchenko, V. (2015). Perspektivy zastosuvannya imitatsiinoho modeliuvannya v zadachakh avtomatyzatsii ta upravlinni tekhnolohichnymy systemamy [Prospects for the use of simulation modeling to automate tasks and the management of technological systems]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Mekhaniko-tekhnologichni systemy ta komplekсы*, № 17(1189), 61–71 [in Ukrainian].
15. Telelym, V., Tarasov, V., Soroka, V., & Artamoshchenko, V. (2004). *Teoretychni osnovy strilby i upravlinnia vohnem artylerii [Theoretical basics of shooting and control in fire artillery]*. Kyiv: NAOU [in Ukrainian].
16. Venttsel, E.S. (1969). *Teoriya veroyatnostey [Probability theory]*. Moskva : Nauka Publ. [in Russian].
17. Venttsel, E.S., & Ovcharov, L.A. (1991). *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernyie prilozheniya [The theory of stochastic processes and its engineering applications]*. Moskva.: Nauka Publ. [in Russian].
18. Shchavinskyi, Yu., Budaretskyi, Yu., Krasnyk, Ya., & Ivanyk, Ye. (2019). Formuvannya matematychnoi modeli protsesu pidgotovky danykh dlia strilby artyleriiskykh system [Formation of a mathematical model for the preparation of data for shooting artillery systems]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*, №20, 88-95 [in Ukrainian].
19. Svidlov, Yu., Mazurenko, V., Suprun, V., Liapa, M., & Hryhorenko, R. (2005). *Zbirnyk tablyts dlia rozrakhunku ymovirnostei, pidgotovky y otsinky efektyvnosti strilby ta pryiniattia rishen u viiskovii spravi [Formation of a mathematical model of the data preparation process for firing artillery systems]*. Sumy: Vyd-vo SumDU [in Ukrainian].
20. Christenson, W.M., Flythe, M.C., Walsh, T.J., & Zikle R.A. (2002). *JCATS Verification and Validation Report*. Alexandria, Virginia: Institute for Defense Analyses [in English].
21. Taylor, J.G., Neta, B. (2001). *Support of JCATS Limited Verification and Validation: report*. Monterey, California: Naval postgraduate school, September [in English].
22. Tolk, A. (Ed.) (2012). *Engineering principles of combat modeling and distributed simulation*. Hoboken, New Jersey [in English].
23. Can JCATS Constructive Simulation Move to the Cloud?. (n.d.). *www.defensenews.com*. Retrieved from <http://www.defensenews.com/article/20120220/TSJ01/302200011/Can-JCATS-Constructive-Simulation-Move-Cloud> [in English].
24. Naumenko, I., Mokrotskyi M., Volkov, I. et al. (2018). *Pravyla strilby i upravlinnia vohnem nazemnoi artylerii (dyvizion, batareia, vzvod, harmata) [Rules of firing and fire control of ground artillery (division, battery, platoon, gun)]*. V.Iu. Horbylova (Ed.). Lviv: NASV [in Ukrainian].

Рецензент: Зубков А.М., доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНОГО АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

И. Петлюк, Ю. Щавинский

В статье проведен анализ применения систем имитационного моделирования в военной сфере, вклад отечественных и зарубежных ученых в его развитие. Определена проблема применения систем имитационного моделирования при разработке перспективных образцов артиллерийского вооружения, как сложных систем, с учетом факторов боевой обстановки. Приведен вариант поражения объекта (цели) минометной батареей, моделирование и эксперименты с различными показателями скорострельности и маневренности. Методом имитационного моделирования с использованием JCATS определены нужные технические характеристики маневренности и скорострельности перспективных минометных систем, которые должны быть учтены при их конструировании. Используя регрессионный анализ, показаны результаты прогноза необходимой скорострельности и маневренности перспективных минометных комплексов, которые смогут обеспечивать нужную эффективность поражения одиночных целей в

современных маневренных боевых действиях с вероятностью поражения не ниже 0,9. Результаты моделирования сведены в таблицу. Указаны требования, которые необходимо соблюдать при создании самоходных минометных систем и технические решения, которые смогут обеспечивать необходимую скорострельность. Предложен путь использования программы единой имитации конфликтов и тактики боевых действий в системе ИМ JCATS в научных исследованиях, при формировании тактико-технических требований и характеристик образцов вооружения, при разработке новых и модернизации существующих.

Ключевые слова: имитационное моделирование; тактико-технические требования; тактико-технические характеристики; артиллерия; компьютерные технологии; технология имитационного моделирования; боевая эффективность применения артиллерийской системы; показатель боевой эффективности; вероятность поражения цели; маневренность; скорострельность.

USE OF SIMULATION MODELING SYSTEMS FOR DETERMINATION OF APPROPRIATE CHARACTERISTICS OF PROSPECTIVE ARTILLERY WEAPONS

I. Petlyuk, Y. Shchavinsky

The article analyzes the application of simulation systems in the military sphere, the contribution of domestic and foreign scientists to its development. The problem of application of simulation systems in the development of promising models of artillery weapons as complex systems, taking into account the factors of the combat situation, is determined. The variant of hitting the object (target) with a mortar battery, modeling and experiments with different indicators of rate of fire and maneuverability are given. The method of simulation modeling using JCATS identifies the required technical characteristics of maneuverability and rate of fire of promising mortar systems, which must be taken into account in the design. Using regression analysis, the results of the forecast of the required rate of fire and maneuverability of promising mortar complexes are shown, which will provide the required effectiveness of hitting single targets in modern maneuverable combat operations with a probability of defeat of not less than 0.9. The simulation results are summarized in the table. The requirements that must be met when creating self-propelled mortar systems and technical solutions that can provide the required rate of fire. The ways of using the program of unified simulation of conflicts and tactics of combat operations in the IM JCATS system in scientific researches at formation of tactical and technical requirements and characteristics of samples of armament at development of new and modernization of existing are offered.

Keywords: simulation modeling; tactical and technical requirements; tactical and technical characteristics; artillery armament; computer technology; simulation technology; combat effectiveness of the artillery system; combat effectiveness indicator; the probability of hitting the target; maneuverability; rate of fire.