

Олексій Анатолійович Кільменінов (кандидат технічних наук)¹

Дмитро Анатолійович Чопа (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)²

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ «JCATS» ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ

Під час будівництва і розвитку Збройних Сил України формування необхідного вигляду і визначення параметрів систем озброєння є ключовою проблемою, що розглядається в процесі програмно-цільового планування розвитку озброєння та військової техніки. Обґрунтування тактико-технічних вимог спонукає до проведення досліджень зразків озброєння та військової техніки з метою перевірки відповідності їх характеристик, що пред'являються не лише як до окремих бойових засобів, а й як до засобів, що діють у складі бойових систем через оцінювання ефективності застосування відповідних підрозділів. Кількісно-якісним відображенням властивостей зразків озброєння та військової техніки є їх тактико-технічні характеристики. Від повноти переліку та обґрунтування їх рівня прямо залежать бойові якості перспективних зразків. Тому обґрунтоване і повне формування кількісних показників, що описують функціонування окремого зразка озброєння та військової техніки в імітаційному середовищі Системи імітаційного моделювання «Joint Conflict and Tactical Simulation», є важливим етапом під час проведення оцінювання ефективності застосування зразка озброєння та військової техніки. У статті, на підставі аналізу наявних підходів щодо визначення показників оцінювання ефективності окремих зразків озброєння і військової техніки, структури та змісту складових бази даних Системи імітаційного моделювання «Joint Conflict and Tactical Simulation» розглянуті деякі аспекти формування (визначення) потрібних чисельних характеристик показників, що описують зразок озброєння та військової техніки для оцінювання ефективності його застосування в імітаційному середовищі.

Ключові слова: оцінювання ефективності застосування; система імітаційного моделювання бойових дій; тактико-технічні вимоги до зразків озброєння та військової техніки; ймовірність влучення та ураження.

Вступ

Кількісно-якісним відображенням властивостей зразків ОВТ є їх тактико-технічні характеристики (далі – ТТХ). Від повноти переліку та обґрунтування їх рівня прямо залежать бойові якості перспективних зразків ОВТ.

Відповідність зразків озброєння та військової техніки (далі – ОВТ) вимогам, що до них висуваються, забезпечуються сукупністю їх властивостей і характеризують якість матеріальної складової бойового потенціалу підрозділу.

Сучасні досягнення в галузі інформаційних технологій, зростання можливостей обчислювальної техніки, динамічний розвиток технологій програмування і моделювання відкрили широкі можливості для опису та дослідження процесів функціонування різних складних систем, до яких відносяться сучасні зразки озброєння. Провідну роль у цьому посідає розподілене імітаційне моделювання, яке, на відміну інших методів, практично не має обмежень.

Постановка проблеми. Аналіз наявних підходів щодо визначення системи показників, що використовуються для опису зразків ОВТ та використовуються в існуючій системі формування тактико-технічних вимог (далі – ТТВ), не повною

мірою відповідають змісту (набору показників) бази даних Системи імітаційного моделювання «Joint Conflict and Tactical Simulation» (далі – СИМ «JCATS»), в якій створюється зразок ОВТ для подальшого моделювання його функціонування в імітаційному середовищі. Це, своєю чергою, обумовлює невідповідність зразка ОВТ, функціонування якого буде відтворюватися в імітаційному середовищі, реальному зразку, до якого необхідно кількісно обґрунтувати ТТВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У Збройних Силах України (далі – ЗС України) майже 20 років використовується СИМ «JCATS», але цей сучасний інструментарій розглядався як засіб забезпечення практичної підготовки, наприклад, для проведення командно-штабних навчань (далі – КШН). Варто зазначити, що до нині СИМ «JCATS» не отримала широкого застосування під час проведення наукових досліджень. У деяких роботах [1] проводився аналіз існуючих науково-методичних підходів до моделювання бойових дій. Було визначено певні обмеження їх застосування для моделювання процесів, що характерні для сучасної збройної боротьби. Для цієї мети запропоновано використовувати розподілену імітаційну СИМ «JCATS». Автори роботи [2]

розглядали загальні питання теоретико-експериментальних досліджень ОБТ з використанням імітаційної моделі СІМ «JCATS». У роботах [3; 4] проаналізовано можливості СІМ «JCATS», структура та зміст складових її бази даних, що дало змогу визначити підходи до формування вихідних даних для створення обрису перспективних (тих, що модернізуються) зразків ОБТ в імітаційному середовищі. Проте автори розглядали загальні питання можливості використання СІМ «JCATS» для проведення наукових досліджень, що пов'язані з оцінюванням ефективності застосування зразків ОБТ.

Сьогодні питання формування (визначення) потрібних чисельних характеристик показників, що описують зразок ОБТ для оцінювання ефективності його застосування в імітаційному середовищі науковцями, не розглядалися.

Мета статті. На підставі аналізу існуючої системи показників оцінювання ефективності зразків ОБТ (на прикладі окремого зразка стрілецької зброї), а також системи показників, що використовуються в базі даних СІМ «JCATS», розглянути підхід щодо визначення кількісних значень показників для створення (опису) зразка ОБТ в імітаційному середовищі.

Виклад основного матеріалу дослідження

У СІМ «JCATS» реалізована об'єктно-орієнтовна архітектура моделей, що забезпечує модульність та достатню гнучкість. З точки зору використання математичного апарату для формалізованого опису процесів ведення збройної боротьби СІМ «JCATS» являє собою дворівневу ієрархічну модель.

Перший рівень – деталізований опис взаємодії на рівні окремих об'єктів з використанням метода Монте-Карло. При цьому враховуються: склад і ТТХ ОБТ й засобів прицілювання, типи боєприпасів та їх здатність ураження, габаритні розміри об'єктів, діапазони швидкісних характеристик техніки, характеристики місцевості, дорожніх та погодних умов, пори року, час доби, стан особового складу і рівень його підготовки.

Послідовність і зміст етапів створення боєприпасу калібром 5,45-мм до автомату АК-74 в базі даних СІМ «JCATS» було розглянуто авторами в [4].

Виходячи з мети статті, постає актуальне наукове завдання щодо дослідження визначення(формування) послідовності кількісних показників для створення зразка ОБТ (на прикладі 5,45-мм патрона до АК-74) в імітаційному середовищі для подальшого оцінювання ефективності його застосування, зокрема кількісні показники ймовірності влучення (далі – Ph) та ймовірності ураження (далі – Pk).

Аналіз розглянутих джерел свідчить, що ймовірність влучення може бути визначена порівнянням площі цілі з площею серцевини розсіювання, за шкалою розсіювання, таблицею значень ймовірностей і сіткою розсіювання.

Якщо ціль за своєю формою відрізняється від прямокутника, то знайдену ймовірність влучення

необхідно помножити на коефіцієнт фігурності (1):

$$P = \Phi\left(\frac{y}{V_{\text{сум}}}\right)\Phi\left(\frac{z}{V_{\text{б}}}\right)K, \quad (1)$$

де P – ймовірність влучення в ціль;

Φ – ймовірність влучення в смугу, що дорівнює висоті та ширині цілі відповідно;

y – половина висоти цілі;

z – половина ширини цілі;

$V_{\text{сум}}$ і $V_{\text{б}}$ – сумарні серединні відхилення відповідно за висотою та бічним напрямом;

K – коефіцієнт фігурності.

Розміри цілі та коефіцієнти фігурності визначаються залежно від типу цілі. Дані про них є у спеціальних довідниках. Сумарні серединні відхилення $V_{\text{сум}}$ і $V_{\text{б}}$ відповідно за висотою та бічним напрямом також надаються у збірниках Таблиць стрільб [5].

Таким чином, для будь-якого зразка стрілецької зброї, можна розрахувати значення ймовірності влучення відповідного боєприпасу для різних цілей на різних відстанях з подальшим заповненням таблиці показників Ph в базі даних СІМ «JCATS».

Інформацію про вогневу потужність, що має боєприпас залежно від дистанції пострілу по цілі, що має певні рівні захисту, можна отримати з балістичних випробувань реального зразка, або з полігонних випробувань, або з конструкторсько-технічної документації щодо конкретного типу боєприпасу. Тобто в таблиці показників Pk бази даних СІМ «JCATS», ймовірнісні показники ураження будуть відображати стан цілі після влучного пострілу. Слід зазначити, що СІМ «JCATS» враховує положення цілі та положення вогневого засобу, а також умови вогневого контакту, це відображається в таблиці Ph кількісними значеннями ймовірнісних показників для певних видів положення цілі та вогневого засобу і умов вогневого контакту (рис. 1).

Значення стану об'єкту, що здійснює постріл:

S (Stationary) – об'єкт нерухомий;

M (Moving) – об'єкт знаходиться в русі.

Значення стану цілі:

S (Stationary) – ціль нерухома;

M (Moving) – ціль рухається.

Значення стану захисту цілі:

E (Exposed) – схильна до впливу;

D (Defilade) – знаходиться в укритті.

Значення кутів влучення боєприпасу в ціль:

H (Head) – боєприпас потрапляє в ціль під кутом 90 градусів (лобовий постріл);

F (Flank) – боєприпас потрапляє в ціль під іншими кутами (постріли з флангу).

Наприклад, SSEH – постріл з автомату АК-74 кулею калібру 5,45-мм здійснюється з місця (S) по цілі, яка не рухається (S) не в укритті (E) розташована перпендикулярно лінії прицілювання (H). Далі вибираємо дистанцію пострілу з таблиці. В таблиці можливо змінювати не лише кількісні значення ймовірнісних показників, а й умови, що визначають положення цілі, відстані до неї тощо. Підкреслимо, що така гнучкість системи дає змогу не тільки створювати в імітаційному середовищі існуючі (штатні) зразки ОБТ, а й перспективні, для яких відсутні дані полігонних випробувань, або

досвід застосування. Під час стрільби зі стрілецької зброї по поодиноким цілям одне влучання зазвичай дає ураження цілі. Тому під імовірністю ураження поодинокій цілі розуміють імовірність отримання хоча б одного влучання при заданій кількості

пострілів. Імовірність ураження цілі при поодинокому пострілі (P_1) буде дорівнювати імовірності влучання в ціль (p), тому розрахунок імовірності ураження цілі за такої умови зводиться до визначення імовірності влучання по цілі.

| Range (m) | SSDF | SSDH | SSEF | SSEH | SMDF | SMDH | SMEF | SMEH | MSDF | MSDH | MSEF | MSEH | MMDF | MMDH | MMEF | MMEH | |
|-----------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 100 | 100 | |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 89.17 | 0 | 0 | 0 | 89.96 | 0 | 0 | 0 | 88.96 | 0 | 0 | 0 | 89.79 | |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 75.55 | 0 | 0 | 0 | 74.91 | 0 | 0 | 0 | 75.47 | 0 | 0 | 0 | 74.82 | |
| 200 | 0 | 0 | 0 | 64.29 | 0 | 0 | 0 | 61.33 | 0 | 0 | 0 | 64.22 | 0 | 0 | 0 | 61.27 | |
| 400 | 0 | 0 | 0 | 8.86 | 36.81 | 0 | 0 | 2.34 | 31.42 | 0 | 0 | 8.87 | 35.82 | 0 | 0 | 2.35 | 31.35 |
| 600 | 0.73 | 1.08 | 5.17 | 11.49 | 0 | 0 | 5.41 | 10.17 | 0.73 | 1.08 | 5.17 | 11.48 | 0 | 0 | 5.41 | 10.15 | |
| 800 | 0.97 | 0.96 | 2.21 | 2.72 | 0 | 0 | 2.1 | 2.5 | 0.97 | 0.96 | 2.21 | 2.71 | 0 | 0 | 2.1 | 2.48 | |

Рис. 1. Скриншот таблиці показників Ph

Імовірність ураження цілі P_1 під час декількох поодиноких пострілах однією чергою або декількома чергами, коли імовірність влучання для всіх пострілів однакова, буде визначатися за виразом:

$$P_1 = 1 - (1 - p)^n, \quad (2)$$

де $(1 - p)$ – імовірність промаху;

p – імовірність влучання в ціль;

n – кількість пострілів.

Визначена за виразом (2) імовірність ураження цілі характеризує такий термін як «надійність стрільби», тобто відображає в скількох випадках із ста в середньому ціль в даних умовах буде уражена не менш ніж при одному влучанні. Стрільба вважається достатньо надійною, якщо імовірність ураження цілі не менш ніж 80%.

Імовірність ураження цілі під час декількох пострілів однією чергою або декількома чергами, коли імовірність влучання перших та наступних куль змінюється від пострілу до пострілу доцільно

визначати:

а) для однієї черги:

$$P_1 = 1 - (1 - p_{пер})(1 - p_{наст})^{n-1}, \quad (3)$$

б) для декількох черг (імовірність влучання від черги до черги не змінюється):

$$P_1 = 1 - (1 - p_{пер})^k (1 - p_{наст})^{n-k}, \quad (4)$$

де $p_{пер}$ –

$p_{наст}$ –

n – загальна кількість пострілів;

k – кількість черг

в) для декількох черг (імовірність влучання від черги к черзі змінюється):

$$P_1 = 1 - (1 - p_1)^{S_1} (1 - p_2)^{S_2} \dots (1 - p_k)^{S_k}, \quad (5)$$

де S_1, S_2, S_k – кількість пострілів в черзі;

p_1, p_2 – імовірність влучання при одному пострілі першої, другої, і т.д. черг [6].

Використовуючи наведені вирази (3–5), формується таблиця враження цілей (рис. 2).

| Range (m) | MOBDF | MOBDH | MOBEF | MOBEH | FIPDF | FIPDH | FIPDF | FIPDH | MOEFD | MOEDH | MOEFD | MOEHD | KQDF | KQDH | KEFDF | KEFDH |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 88.52 | 91.27 | 84.15 | 88.52 | 91.27 | 91.27 | 84.15 | 88.52 | 91.27 | 91.27 | 88.9 | 91.27 | 88.52 | 91.27 | 17.85 | 39.82 |
| 50 | 83.17 | 87.82 | 82.44 | 83.17 | 87.82 | 87.82 | 82.44 | 83.17 | 87.82 | 87.82 | 82.18 | 87.82 | 83.17 | 87.82 | 15.84 | 35.67 |
| 100 | 80.75 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 85.5 | 14.25 | 33.25 |
| 200 | 80.75 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 85.5 | 14.25 | 33.25 |
| 400 | 80.75 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 85.5 | 14.25 | 33.25 |
| 600 | 80.75 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 85.5 | 14.25 | 33.25 |
| 800 | 80.75 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 80.75 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 85.5 | 80.75 | 85.5 | 14.25 | 33.25 |

Рис. 2 Скриншот таблиці показників Pk

Водночас зазначимо, що в базі даних СИМ «JCATS» можна впливати не лише на властивості

боєприпасів і зброї, що їх використовує, а також створювати групи цілей, по яких ці боєприпаси

застосовуються. Це дає змогу побудувати гнучке імітаційне середовище з різними групами боєприпасів та цілей, описати їх залежність, а саме, головне, окремо для кожної групи визначити імовірність влучання та імовірність ураження.

Висновки й перспективи подальших досліджень

На підставі аналізу існуючої системи показників оцінювання ефективності зразків стрілецької зброї, а також структури і змісту таблиць бази даних СІМ «JCATS», в яких містяться дані для створення (опису) зразка ОВТ в імітаційному середовищі,

розглянуто підхід щодо визначення кількісних показників ефективності зразка ОВТ (на прикладі зразка стрілецької зброї) для його опису в імітаційному середовищі з використанням відомого математичного апарату.

Також варто зазначити, що перспективним напрямом подальших досліджень є розгляд можливих підходів стосовно визначення кількісних показників ефективності зразків артилерійського озброєння відповідно до системи показників ефективності, що використовуються для опису зазначеного класу ОВТ в базі даних СІМ «JCATS».

Література

1. Купрієнко А.М., Голуб В.А., Гумінський Р.В. Можливості застосування імітаційної системи JCATS в наукових дослідженнях. *Військово-Технічний Збірник*. 2014. № 11. С. 89–98. 2. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения: монография : в 10 т. Т.9. / Прикладные аспекты испытаний и теоретико-экспериментальных исследований вооружения и военной техники / И.Б. Чепков, С.В. Лапицкий и др.; под ред. С.В. Лапицкого. – Киев:Издательский дом Дмитрия Бурого, 2015.373–400 с. 3. Звіт про НДР «Методика застосування засобів імітаційного моделювання бойових дій для оцінки тактико-технічних вимог до

перспективних зразків озброєння та військової техніки» шифр «МЕТОДИКА ІМ» (остаточний). Київ: НУОУ, 2019. 4. Кільменінов О.А., Чопа Д.А., Мельник Я.В. Використання можливостей системи імітаційного моделювання JCATS для обґрунтування тактико-технічних вимог до перспективних зразків озброєння та військової техніки. *Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони*. 2020. № 2(38). С. 125–132. 5. *Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибров 5,45 и 7,62 мм*. Издание второе, дополненное. Москва: МО СССР, 1977. 6. *Наставление по стрелковому делу*. Москва : МО СССР, 1985.

SOME ASPECTS OF CONDUCTING RESEARCH TO EVALUATE THE EFFICIENCY OF WEAPONS IN THE JCATS SIMULATION SYSTEM ENVIRONMENT

Oleksii Kilmeninov (Candidate of technical sciences)

Dmytro Chopa (Candidate of technical sciences, Senior Research Fellow)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

When solving the problems of construction and development of the Armed Forces of Ukraine, the formation of the necessary type and determination of the parameters of weapons systems is a key problem considered in the process of program-target planning for the development of weapons and military equipment. The substantiation of tactical and technical requirements requires research of weapons and military equipment samples in order to verify the conformity of their characteristics, which are presented not only as separate combat weapons, but also as weapons operating as part of combat systems through an assessment of the effectiveness of the use of the corresponding units. A quantitative and qualitative reflection of the properties of weapons and military equipment samples is their tactical and technical characteristics. The combat qualities of promising samples directly depend on the completeness of the list and the justification of the level. Therefore, the justified and complete formation of quantitative indicators describing the functioning of a separate sample in the simulation environment of the JCATS simulation system is an important stage in conducting research to evaluate the effectiveness of the a separate sample of weapons and military equipment. In the article, the authors, based on an analysis of existing approaches for determining indicators for evaluating the effectiveness of individual samples of weapons and military equipment, the structure and content of the components of the JCATS database, consider some aspects of the formation (definition) of the necessary numerical characteristics of indicators describing the sample of weapons and military equipment to assess the effectiveness of its use in a simulation environment.

Key words: *evaluation of application effectiveness; combat simulation system; tactical and technical requirements for weapons and military equipment; the probability of hitting and killing.*

References

1. Kuprienko, A., Holub, V., Huminskyi, R. (2014). Possibilities of using the JCATS simulation system in scientific research. *Viiskovo-Tekhnichni Zbirnyk*, Lviv: NASV, 2014, 11, 89–98. 2. Chepkov, I., Lapytskyi, S., Grebennyk, A., Rasstrygin, A. (2015). *Fundamentals of military-technical studies, theory and applications*. Volume 9. Applied aspects of tests and theoretical-experimental studies of weapons and military equipment : monohrafiya. Kyiv: TsNDI OVT ZS Ukrainy. 3. Report on the NDR. «The method of using combat simulation tools to assess the tactical and technical requirements for promising samples of weapons

and military equipment» shyfr «METODYKA IM» (ostatochnyi) (2019). Kyiv: NUOU. 4. Kilmeninov, O., Chopa, D., Melnyk, Y. (2020) Using the capabilities of the JCATS simulation modeling system to justify the tactical and technical requirements for promising samples of weapons and military equipment. *Modern information technologies in the sphere of security and defence*, 2 (38), 125–132. 5. *Tables of shooting at ground targets from small arms calibers 5,45 y 7,62 mm* (1977) Edition second, supplement, Moskva : MO SSSR. 6. *Shooting instraction* (1985) Moskva : MO SSSR.