Військово-технічні проблеми

УДК 681.3

DOI: 10.30748/soivt.2021.65.01

С.М. Звиглянич¹, А.В. Кошель², М.Ф. Линник³, Д.В. Руденко⁴

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

²Державне Космічне Агентство України, Головний Центр Спеціального Контролю, Харків

³Військовий інститут танкових військ НТУ "ХПІ", Харків

⁴Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗАЛПОВОГО ВОГНЮ

На сьогодні системи залпового вогню представляють бойові платформи, що широко використовуються в Сухопутних військах при веденні усіх форм і видів бойових дій. Вдосконалення систем залпового вогню, підвищення їх бойової ефективності є важливим науково-технічним завданням. Предметом розгляду статті є спосіб оцінювання ефективності застосування систем залпового вогню. Запропонований підхід оцінювання ефективності систем залпового вогню на основі імітаційної моделі, що значною мірою спростило розробку математичної моделі даного процесу. Основним чинником, що впливає на процес ураження площадкових цілей, який розглядається в моделі, є точність прицілювання. Результатом роботи моделі є визначення, залежно від точності, долі зони ураження, що потрапила під дію вражаючих елементів бойових блоків. Початкові дані, що використовуються в моделі, мають ясний фізичний сенс, відображають процес ураження площадкової цілі системою залпового вогню і є обчислюваними. Запропонована імітаційна модель дозволяє проводити кількісну оцінку варіантів ураження заданої площі при плануванні бойових операцій.

Ключові слова: імітаційна модель, система залпового вогню, забійний інтервал, уражаючий елемент.

Вступ

Постановка проблеми. Системи залпового вогню на сьогодні представляють найбільш затребуваний клас озброєнь сухопутних військ для вирішення широкого кола завдань по ураженню площадкових цілей на полі бою при веденні бойових дій. Впровадження сучасних технологій в області наведення і навігації надають нові бойові властивості таким бойовим платформам. Виходячи з цього, розробка методичного апарату, що забезпечує їх раціональне застосування, залишається важливим науково-практичним завданням. У першу чергу основною вимогою тут стає доступність початкових даних, при збереженні ними фізичного сенсу і можливості їх отримання в органах бойового управління відповідних рівнів. При рішенні такого роду завдань, як правило, моделювання стає єдиною можливим способом досягнення поставлених цілей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних воєн та збройних конфліктів дає підстави говорити про широке використання систем залпового вогню, як про ефективну сучасну зброю [1–4]. Зокрема, в [5] наведені приклади використання таких бойових платформ для вогневого уражен-

ня супротивника, відзначається висока їх продуктивність при досягненні поставлених цілей. Слід зазначити, що практично в усіх публікаціях при розгляді систем залпового вогню, як ефективної зброї, передусім йдеться про їх бойові можливості. Питання ж раціонального їх застосування практично освітлення не знаходить. Для ухвалення раціональних рішень, спрямованих на підвищення ефективності застосування систем залпового вогню потрібна кількісна оцінка відповідних рішень, що лежать в основі планування бойових операцій.

Вироблення раціональних рішень на застосування систем залпового вогню з використанням аналітичних моделей пов'язане зі значними труднощами вибору необхідних початкових даних, що описують досліджуваний процес [6]. Якнайповніша адекватність при дослідженні цих процесів досягається шляхом використання методу імітаційного моделювання [7–10]. Такий підхід дозволяє використовувати доступні початкові дані, що легко обчислюються і мають ясний фізичний сенс.

Метою статті є обґрунтування підходу до оцінки ефективності застосування систем залпового вогню з використанням методу імітації, який дозво-

ляє значно спростити вимоги до початкових даних і, тим самим, забезпечити застосування цього підходу в усіх ланках органів управління при плануванні бойових операцій.

Виклад основного матеріалу

На сьогодні можна говорити про швидкий прогрес в області розробки технологій, що забезпечують високоточне ураження об'єктів супротивника. Доступність таких розробок робить можливим їх широке застосування в сучасних бойових платформах. Так, застосування високоточних бойових блоків (ракет, снарядів) в системах залпового вогню надає їм ряд нових властивостей, що робить їх дуже досконалою сучасною зброєю.

Системи залпового вогню призначені для ураження площадкових цілей. Основним уражаючим чинником тут є осколок. Відзначимо, що в застосуванні сучасних осколково-фугасних боєприпасів відходять від отримання осколків шляхом природного дроблення, віддаючи перевагу використанню готових уражаючих елементів. Цілком природно, для даного випадку оцінювати ефективність застосування такої зброї розміром сформованого осколкового поля в одному залпі. Тоді, в якості показника ефективності виберемо коефіцієнт покриття площадкової цілі:

$$K_{pc} = \frac{S_{osp}}{S_{cel}}, \quad (1)$$

де S_{osp} – площа осколкового поля у залпі;

S_{cel} – загальна площа цілі.

Загальна площа цілі S_{osp} , що формується в залпі, залежатиме від вибору точок прицілювання для бойових блоків (ББ) і їх сумарного розсіювання. Спроба встановлення аналітичних залежностей між параметрами процесу ураження площадкової цілі системою залпового вогню призводить до значного його спрощення, що, в принципі, робить аналітичні моделі такого роду малоефективними.

Опишемо підхід оцінювання ефективності систем залпового вогню на основі імітаційної моделі. Зробимо ряд допущень. Нехай зона ураження представляється квадратом (рис. 1). У його рамках виділимо 9 однакових квадратів.

Допустимо, що кожен з цих 9 квадратів є площею ураження одним ББ, а в залпі загалом 9 ББ. З урахуванням розсіювання (говоритимемо про сумарну похибку) ці квадрати розташовуються деяким випадковим чином і покривають відповідну площу в зоні ураження (рис. 2).

Візьмемо за уражаючий елемент ББ кульку масою 2 г з початковою швидкістю метання 1000 м/с, а характеристики міцності об'єктів ураження представимо сталевим еквівалентом в 3 мм.

Рис. 1. Зона ураження
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 2. Площа ураження
Джерело: розроблено авторами.

Тоді забійна швидкість [11], що вираховуна за формулою (2), складе більше 452 м/с.

$$V_{\text{вб}} = 145 \frac{h_{\text{ст}}^e \Phi}{m^{1/3}}, \quad (2)$$

де $h_{\text{ст}}^e$ – сталевий еквівалент, мм;

Φ – параметр форми уражаючого елемента (для шара 1.31);

m – маса уражаючого елемента.

За цих умов забійний інтервал, що вирахований за формулою (3), складе близько 40 м.

$$I_{\text{вб}} = 145 \frac{m^{1/3}}{c_x \Phi} \lg \frac{V_0}{V_{\text{вб}}}, \quad (3)$$

де m – маса уражаючого елемента;

c_x – коефіцієнт лобового опору, приймається 1.21;

Φ – параметр форми уражаючого елемента (для шара 1.31);

V_0 – початкова швидкість, м/с;

$V_{\text{вб}}$ – забійна швидкість, м/с.

З урахуванням вирахованого забійного інтервалу визначимо сторону квадрата площі ураження ББ в 80 м. Для підрахунку площі ураження зону ураження представимо як суму площ елементарних квадратів зі стороною в 4 м (рис. 1). Тоді, підраху-

нок площі осколкового поля в залпі зведеться до підрахунку числа елементарних квадратів, що потрапили в площу ураження.

З урахуванням цього, коефіцієнт покриття площадкової цілі представиться як

$$K_{pc} = \frac{\sum_{E_k \in S_{osp}} E_k}{N}, \quad (4)$$

де $\sum_{E_k \in S_{osp}} E_k$ – сума елементарних квадратів, що

потрапили в площу ураження;

N – число елементарних квадратів, що входять в зону ураження (для даного випадку $N = [(80 \times 3)/4] \times [(80 \times 3)/4] = 3600$).

Величина $\sum_{E_k \in S_{osp}} E_k$ знаходиться шляхом розрахунків імітаційної моделі.

Для кожного елементарного квадрата вводиться характеристична випадкова величина u , яка з імовірністю p_u набуває значення "1", якщо цей квадрат потрапив в площу ураження і значення "0" з імовірністю $(1 - p_u)$ інакше [12]. Математичне сподівання (МСП) цієї величини дорівнює:

$$m_u = p_u \cdot 1 + (1 - p_u) \cdot 0 = p_u. \quad (5)$$

У свою чергу, після проведення Z реалізацій імітаційної моделі, оцінка імовірності попадання кожного елементарного квадрата в площу ураження визначається як:

$$p_u^* = \frac{S}{Z}, \quad (6)$$

де S – число попадань цього елементарного квадрата в площу ураження.

Оскільки математичне сподівання суми випадкових величин дорівнює сумі їх математичних сподівань [3], можна записати:

$$\sum_{E_k \in S_{osp}} E_k = \sum_{i=1}^N p_{u_i}^*. \quad (7)$$

На рис. 3 у вигляді блок-схеми представлений алгоритм моделі.

У блоці 1 вводяться початкові дані. У інтерактивному режимі пропонується задати:

- сумарне відхилення від точки прицілювання (задається однакове для усіх ББ);
- точки прицілювання для усіх ББ у вигляді надання номера квадрату в зоні ураження.

Управління передається блоку 2.

У блоці 2 формується двовимірний масив елементарних квадратів. Елемент масиву містить координати елементарного квадрата. Управління передається блоку 3.

У блоці 3 перевіряється кількість проведених реалізацій. Якщо реалізації виконані не всі, то управління отримує блок 4, інакше управління пе-

редається блоку 6.

У блоці 4 для кожної реалізації визначаються випадкові координати квадратів площі ураження для кожного з 9 ББ. Управління передається блоку 5.

Рис. 3. Алгоритм моделі
Джерело: розроблено авторами.

У блоці 5 підраховується число елементарних квадратів, що потрапили в сформовану в цій реалізації загальну площу ураження 9 ББ. Управління повертається блоку 3.

У блоці 6 після проведення заданого числа реалізацій здійснюється обробка статистичного матеріалу. Формується результат моделювання у вигляді долі зони ураження, що потрапила під дію ББ. На рис. 4 представлені результати моделювання.

Графік 1 відповідає випадку, коли кожен ББ прицілюється по своєму квадрату в зоні ураження

(рис. 1).

Графік 2 відображає результати моделювання при прицілюванні ББ1, ББ2, ББ3 по квадрату 4 зони ураження, відповідно, ББ4, ББ5, ББ6 по квадрату 5, а ББ7, ББ8 і ББ9 по квадрату 6.

Графік 3 відображає результати моделювання, коли усі ББ прицілюються по квадрату 5 зон ураження.

Рис. 4. Результати моделювання
Джерело: розроблено авторами.

Аналіз цих графіків показує, що при СКВ, що лежить в межах убойного інтервалу, способи прицілювання практично не впливають на ефективність удару. У той же час, підвищення точності удару

(при зменшенні СКВ до 10 м) з індивідуальним прицілюванням кожного ББ значно підвищує ефективність удару. На сьогодні застосування сучасних технологій, спрямованих на підвищення точності ББ, надає системам залпового вогню нові властивості, значно підвищуючи при цьому їх бойову ефективність.

Висновки

Розглянутий вище підхід, що побудований на методі імітації, з використанням ряду емпіричних залежностей, дає можливість визначити основні вимоги до способів застосування систем залпового вогню при плануванні ураження площадкових цілей, а також проводити кількісну оцінку ефективності обраного варіанту застосування таких бойових платформ і, тим самим, оцінювати рішення, що приймаються, при плануванні бойових операцій. При варіюванні вказаними параметрами з'являється можливість виробити найбільш раціональні рішення на застосування систем залпового вогню в конкретних умовах ведення бойових дій. Така імітаційна модель може бути використана в системі підтримки ухвалення рішень командиром відповідного рівня.

Список літератури

1. Калинечев Б. Основные направления развития за рубежом реактивных систем залпового огня / Б. Калинечев // Зарубежное военное обозрение. – 2015. – № 11. – С. 51-59.
2. Растопшин М. Зарубежные реактивные системы залпового огня / М. Растопшин // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – 2003. – № 3. – С. 10-15.
3. Сытин Л.Е. Самое современное оружие и боевая техника / Л.Е. Сытин. – М.: АСТ, 2017. – 656 с.
4. Остапова О.П. Тенденции развития реактивных систем залпового огня ведущих в военном отношении государств / О.П. Остапова, О.М. Авдеева // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 1(33). – С. 45-48.
5. Гуров С.В. Реактивные системы залпового огня. Обзор / С.В. Гуров; под общ. ред. Н.А. Макаровца. – Тула: Персвет, 2006. – 432 с.
6. Бойко А.А. Способ аналитического моделирования боевых действий / А.А. Бойко // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 2. – С. 1-27.
7. Моделирование систем и процессов / В.Н. Волкова, Г.В. Горелова, В.Н. Козлов и др.; под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Изд. Юрайт, 2015. – 449 с.
8. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении / Д.Ю. Каталевский. – М.: Издательский дом "Дело", 2015. – 496 с.
9. Строгалева В.П. Имитационное моделирование / В.П. Строгалева, И.О. Толкачева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 296 с.
10. Резяпов Н. Имитационная система моделирования боевых действий JWARS ВС США / Н. Резяпов, С. Чеснаков, М. Инюхин // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 11. – С. 27-32.
11. Балаганский И.А. Действие средств поражения и боеприпасов / И.А. Балаганский, Л.А. Мерзиевский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 408 с.
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Академия, 2003. – 464 с.

Надійшла до редколегії 29.01.2021

Схвалена до друку 02.03.2021

Відомості про авторів:

Звиглянич Сергій Миколайович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник старший науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2419-8093>

Information about the authors:

Sergey Zviglyanich

Candidate of Technical Sciences Senior Research Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2419-8093>

Кошель Анатолій Васильович

кандидат технічних наук доцент начальник АСП “Харків”
Державного Космічного Агентства Головного Центру
Спеціального Контролю,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1887-3574>

Anatoliy Koshel

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Head ASP “Kharkiv” State Space Agency Center
of Special Control,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1887-3574>

Линник Микола Федорович

кандидат технічних наук доцент кафедри військового
інституту танкових військ НТУ “ХПІ”,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6631-7102>

Nikolay Linnik

Candidate of Technical Sciences Senior Lecturer
of Military Institute of Tank Troops of the NTU,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6631-7102>

Руденко Дмитро Васильович

кандидат технічних наук доцент кафедри
Української інженерно-педагогічної академії,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0003-0561-4194>

Dmitry Rudenko

Candidate of Technical Sciences Senior Lecturer
of Ukrainian Engineering Pedagogies Academy,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0561-4194>

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЗАЛПОВОГО ОГНЯ

С.Н. Звиглянич, А.В. Кошель, Н.Ф. Линник, Д.В. Руденко

На сегодняшний день системы залпового огня представляют боевые платформы, широко используемые в Сухопутных войсках при ведении всех форм и видов боевых действий. Предметом рассмотрения статьи является способ оценивания эффективности применения систем залпового огня. Предложен подход оценивания эффективности систем залпового огня на основе имитационной модели, что в значительной мере упростило разработку математической модели рассматриваемого процесса. Основным фактором, влияющим на процесс поражения площадных целей, рассмотренным в модели, является точность прицеливания. Результатом работы модели является определение в зависимости от точности доли зоны поражения, попавшей под воздействие поражающих элементов боевых блоков. Используемые в модели исходные данные имеют ясный физический смысл, отражают процесс поражения площадной цели системой залпового огня и являются вычислимыми. Предлагаемая имитационная модель позволяет проводить количественную оценку способов поражения заданной площади при планировании боевых операций.

Ключевые слова: имитационная модель, система залпового огня, убойный интервал, поражающий элемент.

SIMULATION MODEL OF EVALUATION OF EFFICIENCY OF SYSTEMS OF A VOLLEY FIRE

S. Zvigliyanich, A. Koshel, M. Linnik, D. Rudenko

Today the systems of a volley fire present the battle platforms widely used in Ground forces at the conduct of all forms and types of battle actions. Perfection of the systems of a volley fire, increase of their battle efficiency, is an important scientific and technical task. Appearance of NT in area of development of the systems of aiming and combination gives an opportunity considerably to promote battle possibilities of the systems of a volley fire. The article of consideration in the article is a method of evaluation of efficiency of application of the systems of a volley fire. The attempt of establishment of analytical dependences between the parameters of process of defeat of area target the system of a volley fire results in his considerable simplification, that, in principle, does analytical models such ineffective. Therefore offered approach evaluation of efficiency of the systems of a volley fire on the basis of simulation model, that simplified development of mathematical model of the examined process to a great extent. A basic factor, influencing on the process of defeat of area aims, considered in a model, is aiming exactness. Aiming exactness is expressed through total mean quadratic deviation. The zone of defeat appears as a sum of squares, the center of each of that can come forward as an aiming point for battle blocks. The size of these squares is comparable with a for slaughter interval for the striking elements of battle blocks. The amount of such squares is equal to the number of battle blocks. During a design casual character is set the coordinates of every square on that buffeted by a battle block. By such method the area of defeat, that on geometrical sizes does not coincide with the required zone of defeat, is formed in every realization of simulation model. The zone of defeat appears as a sum of elementary squares a size of that is an on an order less than for slaughter interval. During work of model in every realization for every elementary square the fact of hit of him is set in the zone of defeat. In the total works of model, adding up the number of one times of hit of elementary square in the area of defeat in every realization, the estimation of probability of his hit is determined under the action of striking elements of battle blocks. This probability is numeral equal to the expected value to the number of one times of hit of this square under the action of the struck elements. Because the zone of defeat appears the sum of elementary squares, the that expected value of sum of squares getting under influence of the struck elements of battle blocks is equal to the sum of the expected values of every elementary square, getting under influence struck elements of battle blocks. Knowing the incurrance of the elementary squares included in the zone of defeat, the stake of zone of defeat, getting under influence of striking elements of battle blocks, is determined in percents. The basic data used in a model have clear physical sense, reflect the process of defeat of area aim the system of a volley fire and are calculated. The offered simulation model allows to conduct a quantitative estimation to the methods of defeat of the set area at planning of battle operations.

Keywords: simulation model, system of a volley fire, for slaughter interval, striking an element.