

UDC 681.3

Звиглянич Сергій Миколайович

ORCID ID: 0000-0003-2419-8093

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Коломійцев Олексій Володимирович

ORCID ID: 0000-0001-8228-8404

Заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри
Національний технічний університет «Харківський політехнічний університет», Україна

Третяк Вячеслав Федорович

ORCID ID: 0000-0003-2599-8834

кандидат технічних наук, доцент,
провідний науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Ізюмський Микола Павлович

ORCID ID: 0000-0002-2752-239X

науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Балабуха Олексій Сергійович

ORCID ID: 0000-0002-5263-9485

Підполковник, старший викладач
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Крук Богдан Миронович

ORCID ID: 0000-0002-0937-8777

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЖИВУЧОСТІ МОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ОЗБРОЄННЯ

Анотація. Розроблено і запропоновано імітаційну модель оцінювання живучості мобільних комплексів озброєння (МКО). За допомогою моделі можливо провести кількісну оцінку рішень, що спрямовані на підвищення живучості МКО в умовах ведення бойових дій (операцій) противника. Використання запропонованої імітаційної моделі дозволяє сформувати статистичний матеріал, за допомогою якого можливо оцінити ймовірності отримання кожної самохідної пускової установки сильної, середньої і слабкої ступені ушкодження засобами ураження, а також знайти середнє число самохідних пускових установок, що отримали вказані відповідні ступені ушкодження. Запропонована імітаційна модель є універсальною, що дозволяє її використовувати у системі підтримки ухвалення рішень командиром різного (відповідного) рівня.

Ключові слова: мобільний комплекс озброєння, позиційний район, стартова позиція, самохідна пускова установка, живучість, імітаційна модель.

При ураженні МКО, до зовнішніх чинників, що впливають на цей процес, відносяться засоби ураження, а також засоби розвідки, що виявляють стартові позиції самохідних пускових установок (СПУ).

На даний час основним засобом ураження неброньованих (легко броньованих) наземних цілей (НЦ) є касетні бойові частини (КБЧ), що оснащені некерованими осколково-фугасними бойовими елементами (НОФБЕ). При вибуху осколкового боєприпасу утворюється осколкове поле – потік осколків, що характеризуються напрямом і швидкістю руху, а також щільністю, тобто кількістю осколків на одиницю площі, яку вони перетинають. Осколки у осколковому боєприпасі (НОФБЕ) можуть формуватися наступним чином: природним дробленням, заданим дробленням і готовими елементами ураження.

До припущень вводяться наступні: НОФБЕ падає вертикально до поверхні НЦ, НОФБЕ вибухає на заданій висоті h , осколки НОФБЕ однорідні і розлітаються під заданим кутом α та кількість осколків кінцева і задана.

Підрив НОФБЕ здійснюється, як правило, на деякій відстані від НЦ, що уражаються. Розліт осколків здійснюється у повітряному середовищі, що створює опір руху і призводить до падіння їх швидкості на траєкторії. Рух осколка у повітрі можливо розглянути за наступними припущеннями: щільність повітря ρ_ϵ уздовж траєкторії польоту, постійна, вплив сили тяжіння незначний; площа міделя осколка на траєкторії польоту дорівнює її середньому значенню $\langle S \rangle$, коефіцієнт лобового опору c_x не залежить від швидкості осколка.

Вираз для визначення руху осколка можливо записати наступним чином:

$$m \frac{dv}{dt} = -\frac{\rho_\epsilon v^2}{2} \langle S \rangle c_x, \quad (1)$$

v – поточна швидкість осколка.

Вираз (1) можливо представити у наступному вигляді:

$$\frac{dv}{dt} = -Av^2, \quad A = \frac{\rho_\epsilon \langle S \rangle c_x}{2m}, \quad (2)$$

A – балістичний коефіцієнт, $1/m$.

Використовуючи заміну:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx}, \quad (3)$$

можливо представити рух осколка у повітрі наступним чином:

$$\frac{dv}{dx} = -Av. \quad (4)$$

З (4) зрозуміло, що величина Av є втратою швидкості руху осколка на шляху в 1 м. При інтегруванні (4) за початкової умови $v(0) = v_0$, отримується:

$$\ln \frac{v}{v_0} = -Ax, \quad (5)$$

звідки:

$$v = v_0 e^{-Ax}. \quad (6)$$

Вираз (6), відомий як закон експоненціального згасання швидкості руху осколка у польоті. Коефіцієнт лобового опору c_x залежить від швидкості і набуває максимального значення при швидкості осколка, яка дорівнює

швидкості звуку. При цьому, допущення того, що коефіцієнт лобового опору c_x не залежить від швидкості осколка, є найгрубішим.

Припустимо, що вражаючі елементи, що застосовуються, мають сферичну форму. Тоді функція $c_x(v)$ матиме наступний вигляд:

$$c_x = \begin{cases} 0.865 \left(1 + \frac{50}{v} \right) & \text{при } v \geq 550 \frac{M}{c} \\ 1.49 + 0.51 \sin(860^\circ - 350^\circ \lg v) & \text{при } 150 \leq v < 550 \frac{M}{c} \\ 0.5 & \text{при } v < 150 \frac{M}{c} \end{cases} \quad (7)$$

Таким чином, до початкових даних для НОФБЕ можливо віднести: загальну кількість вражаючих елементів, довжину НОФБЕ, висоту підривання, кут розльоту осколків та початкову швидкість метання.

Отже, як початкові дані, можливо задати координати КБЧ розкриття, кількість НОФБЕ та кут їх розльоту. При цьому, конкретні значення координат розкриття КБЧ випадкові, розподілені за нормальним законом.

Точність КБЧ характеризується середнім квадратичним відхиленням (СКВ) від заданих координат по осях $X, Y, Z - \sigma$ (вважатиме однаковим по усіх осях). Тоді істинні координати розкриття можливо отримати шляхом додавання заданих координат X_p, Y_p, Z_p із випадковими величинами, що розподілені за нормальним законом із заданим СКВ. На практиці, щоб отримати нормальний розподіл, досить скласти шість екземплярів випадкового числа від 0 до 1. Суму цих шести чисел можна записати у наступному вигляді:

$$Z = R_1 + R_2 + \dots + R_6, \quad (8)$$

має розподіл, настільки близький до нормального, що у більшості практичних задач їм можна замінити нормальний.

Для того, щоб отримати істинні координати розкриття КБЧ X_v, Y_v, Z_v , необхідно піддати величину Z лінійному перетворенню. тобто:

$$X_v = \sigma_x \sqrt{2}(Z - 3) + X_p; \quad Y_v = \sigma_x \sqrt{2}(Z - 3) + Y_p; \quad Z_v = \sigma_x \sqrt{2}(Z - 3) + Z_p. \quad (9)$$

При відомому куті розльоту бойових елементів β і висоті розкриття КБЧ Z_v ,

можливо знайти радіус кола падіння НОФБЕ:

$$R_b = Z_v \operatorname{tg}(\beta / 2). \quad (10)$$

Випадкові координати підривання НОФБЕ можливо знайти наступним чином. Центр круга співпадає з координатами розкриття КБЧ. Визначимо випадкове число k , що розподілене за рівномірним законом в інтервалі від 0 до R_b та аналогічне число s в інтервалі від 0 до 360. Тоді координати НОФБЕ можливо записати, як:

$$X_n = X_v + k \sin(s), \quad Y_n = Y_v + k \cos(s). \quad (11)$$

Отже, вражаюча дія осколка визначається глибиною пробиття перешкоди. Використовуємо березанську формулу (при необхідності можуть бути використані і точніші формули), тоді:

$$h = K \frac{q}{d^2} V_o \cos \psi_0, \quad (12)$$

K – коефіцієнт проникнення, який характеризує властивості перешкоди [$\text{м}^2 \text{с}/\text{кг}$];

q – маса осколка [кг];

d – розмір осколка [м];

V_o – швидкість підходу осколка до перешкоди [$\text{м}/\text{с}$];

ψ_0 – кут (від нормалі) зустрічі осколка з перешкодою.

Модель СПУ МКО можливо представити як деякий циліндр із заданою висотою і відповідним радіусом основи. Цей радіус відповідає кругу з площею, що відповідає площі СПУ. Властивості міцності СПУ можливо визначити коефіцієнтом проникання засобом ураження (осколками). В СПУ можливо виділити чотири основні області проникання:

- перша, попадання засобом ураження призводить до неможливості подальшого функціонування, СПУ переходить в небоєготовий стан, отримуючи при цьому сильну ступінь ушкодження;

- друга, попадання засобом ураження призводить до необхідності проведення ремонту для відновлення функціонування, СПУ отримує середню ступінь ушкодження;

- третя, попадання засобом ураження переводить СПУ в несправний стан, але вона залишається боєготовою, функціонування можливе, СПУ отримує слабку ступінь ушкодження;

- четверта, попадання засобом ураження на стан СПУ не впливає на її боєготовність.

Отже, можливо визначити, скільки осколків повинне потрапити в СПУ, щоб хоч би один з них потрапив у відповідну область. Для цього, загальну площу перетину СПУ можливо розбити на 100 елементарних частин. При цьому, кожній виділеній області ставиться у відповідність певна кількість елементарних частин. Наприклад, площа сильного ураження визначається 5 елементарними частинами, середнього ураження 10, слабого ураження 35.

Число осколків, що потрапили у НЦ – m . Звернемося m разів до датчика випадкових чисел, що лежать у діапазоні від 0 до 100. Підрахуємо кількість осколків, що потрапили у задані області. За умови, якщо випадкове число менше 5, то вважаємо, що осколок потрапив у область сильного ушкодження. За умови, якщо випадкове число лежить між 5 і 15, то осколок потрапив у область середнього ушкодження. Відповідно, попадання у інтервал 15 – 50 означає попадання у область слабого ушкодження. Підрахунок попадань осколків у вказані області СПУ реєструється у лічильниках – для сильного ушкодження у M_{ss} , – середнього у M_{sr} , – слабого у M_{sl} .

Виконавши вказані операції N разів, можливо отримати статистику, яка дозволяє визначити оцінки математичних очікувань числа осколків, що потрапили у відповідні області, при попаданні у СПУ m осколків. Таким чином, міняючи значення числа осколків, що потрапили (число m), можливо визначити при якій кількості осколків математичне очікування осколків, що потрапили у область сильного ураження, дорівнює 1. Аналогічним чином можливо визначити таке ж число осколків для областей середнього і слабого ураження.

Можливості противника по розкриттю позицій СПУ оцінюються через інтенсивність спостереження позиційного району засобами розвідки – λ_p [1/час].

При цьому, час спостереження за своєю природою випадковий.

Припущення, час спостереження має показовий розподіл:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_p t}. \quad (13)$$

Алгоритм визначення часу проведення розвідки позиційного району, де розміщуються СПУ, протягом доби можливо отримати наступним чином. Для кожної ітерації імітаційної моделі на інтервалі від 0 до 24 годин заздалегідь визначимо моменти часу, коли вестиметься розвідка позиційного району. Тому, нехай модельний час $T_m=0$. Розраховується випадкове число R , яке розподілене за законом рівномірної щільності і приймає одне зі значень на інтервалі від нуля до одиниці. Таким чином, виходячи з (13) можливо записати наступне:

$$t_\epsilon = \frac{\ln(1 - R)}{-\lambda_p}. \quad (14)$$

Тоді час проведення розвідки дорівнює:

$$t_p = T_m + t_\epsilon. \quad (15)$$

Отже, модельований час збільшується на величину t_ϵ :

$$T_m = T_m + t_\epsilon. \quad (16)$$

Цей процес закінчується при досягненні модельного часу 24 годин.

Розглянемо внутрішні чинники, що впливають на живучість СПУ при дії по їх позиціях КБЧ з НОФБЕ. Це, передусім, інтервал часу знаходження СПУ на стартовій позиції, а також безпосереднє розміщення однієї СПУ відносно іншої. За умови, якщо противник веде розвідку позиційного району, то з деякою імовірністю P_ϵ позиція СПУ може бути виявлена. Така ймовірність характеризує ефективність заходів по приховуванню дій підрозділів МКО, проведення маскуванню безпосередньо на стартових позиціях. Факт виявлення позиції СПУ визначимо за допомогою одиничного жероба, який розраховується наступним чином. Отримується випадкове число R , яке розподілене за законом рівномірної щільності і приймається одне із значень на інтервалі від нуля до одиниці. За умови, якщо число R менше значення заданої ймовірності виявлення, то вважаємо, що стартова позиція СПУ виявлена.



Застосування фортифікаційних споруд дозволяє підвищити живучість МКО. Це досягається шляхом зменшення висоти виступаючої частини СПУ над захисною спорудою. Після виявлення позиції СПУ через деякий час противник завдає удар. У даному випадку потрібно врахувати час реакції контура управління противника своїми силами, час, який необхідний для підготовки такого удару, що буде залежить від засобів ураження, що залучаються до удару (наземного або повітряного базування) і тощо.

Визначимо у якості початкових даних максимальний час завдання удару T_{max} . Розрахуємо випадкове число R , яке розподілене за законом рівномірної щільності і приймає одне із значень на інтервалі від нуля до одиниці. Тоді, реальний час завдання удару можливо записати наступним чином:

$$T_{y\partial} = T_{max}R. \quad (17)$$

За умови, якщо через $T_{y\partial}$ СПУ ще знаходяться на стартових позиціях, то по них завдається удар КБЧ з НОФБЕ. Для кожного НОФБЕ розраховується дія його осколкового поля на кожну СПУ. Залежно від взаємного розташування, в СПУ потрапляє деяка кількість осколків з відповідною швидкістю.

За умови, якщо осколки пробивають стінки СПУ, то залежно від числа осколків, що уразили, визначається у яку область СПУ вони влучили і, відповідно, визначається ступінь ушкодження цієї СПУ.

Введемо припущення, що накопичення збитку немає. За умови, якщо від одного НОФБЕ СПУ отримала слабку ступінь ушкодження, а від іншого – сильну, то у цій реалізації вважаємо, що СПУ отримала сильну ступінь ушкодження. Після проведення заданого числа реалізацій N , проводиться опрацювання отриманого статистичного матеріалу. По кожній СПУ підраховується число отриманих ушкоджень сильної – $\langle SS \rangle$, середньої – $\langle SR \rangle$ і слабкої – $\langle SL \rangle$ ступенів. Тоді, оцінку ймовірності отримання СПУ ушкодження можливо записати як:

– для сильного ступеня:

$$p_{SS} = \frac{\langle SS \rangle}{N}; \quad (18)$$

– для середнього ступеня:

$$p_{SR} = \frac{\langle SR \rangle}{N}; \quad (19)$$

– для слабкого ступеня:

$$p_{SL} = \frac{\langle SL \rangle}{N}. \quad (20)$$

Остаточно можливо отримати середнє число СПУ:

– сильну ступінь ушкодження:

$$M_{SS} = \sum_{i=1}^K p_{SS_i}, \quad (21)$$

K – число СПУ на стартовій позиції;

– середню ступінь ушкодження:

$$M_{SR} = \sum_{i=1}^K p_{SR_i}; \quad (22)$$

– слабку ступінь ушкодження:

$$M_{SL} = \sum_{i=1}^K p_{SL_i}. \quad (23)$$

Оцінку живучості МКО можливо виразити через кількість СПУ, що отримали ушкодження. Для визначення мінімальної кількості СПУ, що отримали сильну міру ушкодження можливо записати:

$$W(u) = \min M_{SS}, \quad (24)$$

при заданих:

- характеристиках КБЧ з НОФБЕ;
- інтенсивності проведення противником розвідки позиційного району МКО λ_p ;
- максимального часу завдання удару T_{max} .

Стратегія u визначається наступним чином:

$$u = \langle K, H, Q \rangle, \quad (25)$$

K – координати розташування СПУ на місцевості;

H – висота виступаючої частини СПУ з фортифікаційного укриття;

Q – ймовірність розкриття позиції СПУ після проведення маскуваня.

Число ітерацій імітаційної моделі визначається вимогами до її точності. Даний процес розгортається у просторі і у часі. Модельний час змінюється дискретно із заданим кроком ітерації. Заздалегідь до початку безпосередньої роботи імітаційної моделі формується цільова обстановка. Визначаються координати СПУ, що залучаються до ракетного удару. Для кожної ітерації імітаційної моделі визначаються випадкові моменти часу, коли противник проводить розвідку позиційного району розміщення МКО.

Робиться припущення, що випадковий час проведення розвідки має показовий розподіл. Моменти часу проведення розвідки відрізняються в кожній ітерації. У разі розкриття противником позицій СПУ по них завдається удар.

Запропонована імітаційна модель, що дає можливість отримати кількісну оцінку рішень, які спрямовані на підвищення живучості МКО в умовах ведення бойових дій (операцій) противника. В процесі роботи імітаційної моделі формується статистичний матеріал, який дозволяє вчислити оцінки ймовірності отримання кожної СПУ сильної, середньої і слабкої ступені ушкодження, знайти середнє число цих СПУ, що отримали вказані ступені ушкодження.

Список джерел:

1. Ізюмський М.П. Автоматизація процесу вибору стартових позицій в заданому позиційному районі / М.П. Ізюмський, Ю.М. Агафонов, С.М. Звиглянич // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 4(44). – С. 18-20.
2. Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д. Ю. Каталевский. – М. :

Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.

3. Батюшкин С. А. Подготовка и ведение боевых действий в локальных войнах и вооруженных конфликтах : учебное пособие. – М. : КНОУРС, 2017. – 438 с.
4. Aloshin G., Kolomytsev O., Kuleshov O., Kulagin K. & Tkachev A. (2018). The method of parameters optimization of the multifunctional laser information-measuring system on the multiplicity of signals, structures and technical parameters// Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. № 1(30). 73-79. – DOI: 10.30748/nitps.2018.30.10.