

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЮ АРТИЛЕРІЇ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ДВОХ ФУНКЦІЙ

М.Ю. Мокроцький
(подав проф. В.О. Прокопов)

Запропонована методика оцінки ефективності вогню артилерії на основі рішення задачі оптимізації розподілу неоднорідного ресурсу артилерії методом двох функцій.

Постановка проблеми. При рішенні задачі оптимального планування вогню артилерії в конфліктній ситуації необхідно провести розподіл вогневих завдань та неоднорідного ресурсу артилерії, виходячи: з ймовірних дій противника та його складу, поставлених завдань старшим артилерійським начальником та загальновійськовим командиром, виділеним ресурсом артилерії для рішення задач вогневого ураження противника (ВУП).

Оптимальний варіант плану вогню та в послідовному управлінні вогнем з урахування різноефективних вогневих засобів артилерії в умовах сучасного бою, що характеризується високою динамікою та швидкою зміною обстановки, потребує рішення важливого наукового завдання щодо розробки розрахункових задач, як основи спеціального математичного забезпечення автоматизованої системи управління вогнем артилерії.

Аналіз літератури. Ефективність вогню артилерії залежить від великої кількості умов і факторів [1, 2]. Разом з тим, проведений аналіз методики планування [3] свідчить, що вона не в повній мірі урахує сукупність факторів, що впливають на ефективність вогню артилерії, оскільки не відповідає потребам обґрунтованого визначення вогневих можливостей, розподілу неоднорідного ресурсу артилерії та оцінки ефективності вогню артилерії за результатами розподілу.

Тому виникла потреба в розробці методики оцінки ефективності вогню артилерії, яка б ураховувала вказані невідповідності та ґрунтувалась на застосовані математичного методу відшукування екстремумів дискретних функцій [4] з обмеженнями.

Мета статті. Розробити методику оцінки ефективності вогню артилерії на основі рішення задачі оптимізації розподілу неоднорідного ресурсу артилерії методом двох функцій [4].

Основний матеріал. Для побудови цільової функції припустимо, що показник ефективності виконання окремого вогневого завдання характери-

зується значенням досяжного ступеню ураження об'єкта і-го типу боеприпасами j-виду і відповідно до [1] може бути розрахований за формулою

$$W_{b,3i} = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - W_{ij}), \quad (1)$$

де k – кількість видів боеприпасів; W_{ij} – ступінь ураження об'єкта і-го типу нормованою (раціональною) витратою боеприпасів j-го виду.

Складність рішення формули (1) визначається видом функціональної залежності показника ефективності виконання окремого вогневого завдання ($W_{b,3i}$) від витрати боеприпасів N_i і характеристики Θ_i і C_i . Пропонується використовувати аналітичну залежність вигляду [1, 3]:

$$W_{ij} = \Theta_i \left(1 - e^{-C_i N_{ij}} \right), \quad (2)$$

де Θ_i – ймовірність накриття об'єкту і-го типу зоною рівномірного розсіювання снарядів; C_i – параметр, що залежить від могутності боеприпасів, уразливості об'єкта і-го типу і характеристик точності засобів ураження; N_{ij} – витрата боеприпасів j-го виду на об'єкт і-го типу.

Якщо маємо k видів боеприпасів та m типів об'єктів вогневого ураження, а також відомо значення елементів матриці W_{ij} – ступінь ураження об'єкта і-го типу нормованою витратою боеприпасів j-го виду. Тоді, ефективність ураження угруповання противника ($W_{b,y\Gamma}$) за визначеним варіантом в b -ій задачі (періоді) ВУП, може бути визначена за формулою:

$$W_{b,y\Gamma} = \sum_{i=1}^m n_{bi} \left[1 - \prod_{j=1}^k (1 - W_{ij}) \right], \quad (3)$$

де m – кількість типів об'єктів в угрупованні противника; n_{bi} – кількість об'єктів m -го типу в b -тій задачі (періоді) ВУП.

З урахуванням, що об'єкти і-го типу характеризуються коефіцієнтом важливості (A_i) та ймовірністю викриття ($P_{b,i}$), які можуть змінюватись в залежності від b -ої задачі (періоду), формулу (3) доцільно представити у вигляді

$$W_{b,y\Gamma} = \sum_{i=1}^m n_{bi} A_{bi} P_{b,bi} \left[1 - \prod_{j=1}^k (1 - W_{ij}) \right], \quad (4)$$

де A_{bi} – важливість об'єктів i -х типів b -й задачі (періоді); $P_{b,bi}$ – ймовірність викриття об'єктів i -х типів b -й задачі.

Для побудови функції (4) необхідно визначити значення елементів матриці W_{ij} відповідно із [1].

Таким чином, якщо маємо функцію виду (4), задача розподілу вогневих завдань зводиться до задачі розподілу неоднорідного ресурсу ар-

тилерії і може бути сформульована: розподілити елементи матриці N_{ij} таким чином, щоб забезпечити максимальне значення цільової функції:

$$U = \max_{N_b} W_{y_r} = \max_i \sum_{i=1}^m A_i n_i P_{V_i} [1 - \prod_{j=1}^k (1 - W_{ij})], \quad (5)$$

з урахуванням наступних обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{b=1}^r \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m n_{bi} P_{V_{bi}} N_{bij} \leq N_b, \quad b = 1, 2, \dots, r; \\ \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m n_{bi} P_{V_{bi}} N_{bij} \leq N_{bb}, \quad j = 1, 2, \dots, k; \\ \sum_{i=1}^m n_{bi} P_{V_{bi}} N_{bi} \leq N_{bbj}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m n_{bi} P_{V_{bi}} N_{bij} \leq N_{p.vbj}; \\ N_{ij} \geq 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

при додаткових умовах: $N_{bbj} = \sum_{j=1}^k N_{ij}$ та $\left\{ \begin{array}{l} \Theta_i = 0, \text{ якщо } \text{Дстр.} > D_{\max}; \\ \Theta_i > 0, \text{ якщо } \text{Дстр.} \leq D_{\max}; \end{array} \right.$

де b – задача (період) ВУП; r – кількість b -х задач (періодів); N_b – кількість виділених боєприпасів на бій; N_{bb} – кількість боєприпасів, виділена на задачу (період); N_{bbj} – кількість боєприпасів j -го виду, виділених на b -ту задачу (період); $N_{p.vbj}$ – обмеження на витрату боєприпасів j -го виду за режимом вогню сил і засобів, що залучаються для ураження противника в b -й задачі (періоді); N_{bij} – кількість боєприпасів j -х видів, виділених на об'єкт i -того типу в b -й задачі (періоді); N_{bi} – кількість боєприпасів j -го виду, виділених на об'єкт i -го типу в b -й задачі (періоді); N_{ij} – кількість боєприпасів j -го виду, виділених на об'єкт i -го типу.

Для задачі оптимізації розподілу неоднорідного ресурсу артилерії методом двох функцій, алгоритм рішення буде мати наступний вигляд:

1. Задати початкові значення величин і умов розподілу: витрата боєприпасів на нульовому кроці $(N_{0ij}^{(0)})$ дорівнює нулю, кількість боєприпасів враховується цілочисловим значенням $j = 1, 2, \dots, k$, кількість об'єктів ураження $i = 1, 2, \dots, m$, залишок боєприпасів $N_j^{(0)}$ j -го виду дорівнює кількості боєприпасів j -го виду N_{bj} – що виділяються на задачу вогневого ураження (стрільба по цілям не велась), множина боєприпасів дорівнює певній кількості видів боєприпасів $J^{(0)} = \{1, 2, \dots, k\}$, кількість видів боєприпасів k відповідає кількості типів підрозділів

$g = 1, 2, \dots, q$, нормована (раціональна) витрата боєприпасів $N_{ij}^{(0)}$ відповідає досяжному ступеню ураження об'єктів W_{ij} .

2. Другий номер кроку процесу $a = 1$.

3. Обчислити компоненти матриці цілерозподілу $\|\Delta_{ij}\|_{m,k}$:

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} A_i W_{ij}, & i = 1, 2, \dots, m, j \in J^{(\alpha-1)}, \\ A_i W_{ij} - \sum_{h \neq i} \frac{A_i W_{ij}}{(1 - W_{hj})} \times \prod_{k \in J^{(\alpha-1)}} (1 - W_{hk}). \end{cases}$$

4. Призначити g -тий підрозділ з боєприпасами k_α -го виду за h_α -м типом об'єкта відповідно до умови

$$\Delta h_\alpha k_\alpha = \max_{h,k} \Delta hk, \quad h = 1, 2, \dots, m, \quad k \in J^{(\alpha-1)}.$$

5. Обчислити поточне значення розподілу боєприпасів $\|N_{0ij}^{(a)}\|_{m,k}$:

$$N_{0ij}^{(\alpha)} = \begin{cases} N_{0ij}^{(\alpha-1)} + N_{ij}^{(\alpha)}, & \text{якщо } i = h_\alpha, j = k_\alpha \\ N_{0ij}^{(\alpha-1)}, & \text{якщо } i = h_\alpha, j \neq k_\alpha. \end{cases}$$

6. Визначити залишок боєприпасів кожного виду:

$$N_j^{(\alpha)} = \begin{cases} N_j^{(\alpha-1)} - N_{0ij}^{(\alpha)}, & \text{якщо } \dots j = k_\alpha; \\ N_j^{(\alpha-1)}, & \text{якщо } \dots j \neq k_\alpha. \end{cases}$$

7. Перевірити умову $N_j^{(\alpha)} \leq 0$, якщо „так”, то виключенням номер j із множини $J^{(\alpha-1)}$ сформувати множину $J^{(\alpha)}$ і перейти до пункту 10; якщо „ні” то перейти до пункту 8.

8. Обчислити значення коефіцієнта важливості за умови, що $[n_i P_{vi}] = n_h$:

$$A_{ha}^{(\alpha)} = \frac{A_{ha}^{(\alpha-1)} \sum_{i=1}^{n_h} (1 - W_{hk})}{n_h},$$

якщо „ні” то перейти до пункту 9.

9. Обчислити поточне значення цільової функції:

$$W_{y\Gamma}^{(\alpha)} = W_{y\Gamma}^{(\alpha-1)} + A_{h\alpha}^{(a)} [n_{h\alpha} P_{vh\alpha}] W_{h\alpha k_\alpha}.$$

10. Перевірити множину $J^{(\alpha)}$ на відсутність елементів; якщо „так”, то перейти до пункту 11; якщо „ні” то прийняти $\alpha = \alpha + 1$ і перейти до пункту 3.

11. Провести аналіз результатів $W_{y\Gamma}^{(\alpha)}$, розподілу g -х підрозділів ар-

тилерії з витратами $\|N_{0ij}^{(\alpha)}\| mk$, що відповідають досяжному ступеню ураження об'єктів W_{ij} угруповання противника.

За результатами алгоритму рішення задачі розподілу вогневих завдань та неоднорідного ресурсу артилерії можливо визначити (уточнити) вогневі можливості артилерії:

$$n_{yPig} = \sum_{g=1}^q \sum_{j=1}^k \frac{N_{jgi}^{zar}}{N_{jgi}^H}; \quad (7)$$

$$n_{yp}^{zar} = \sum_{i=1}^m N_{yPig}, \quad (8)$$

де n_{yPig} – кількість i -х об'єктів противника, що плануються до ураження g -ми підрозділами артилерії; n_{yp}^{zar} – загальна кількість об'єктів, що плануються до ураження за задачу (період) ВУП з урахування результату проведено розподілу вогневих завдань та неоднорідного ресурсу артилерії; N_{jgi}^{zar} – загальна кількість боеприпасів j -го виду g -го підрозділу виділена на об'єкти i -го типу; N_{jgi}^H – необхідна (раціональна) витрата боеприпасів j -го виду g -го підрозділу артилерії на один i -й об'єкт (ціль); q – кількість типів підрозділів артилерії.

Ступені ураження об'єктів дозволяють визначити ступінь ураження угруповання противника [1]:

$$W_{yP} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i n_i P_{vi} W_{v.3i}}{\sum_{i=1}^m A_i n_i}. \quad (9)$$

Таким чином, враховуючи вищенаведене, методику оцінки ефективності вогню артилерії на основі методу двох функцій, можливо визначити наступною послідовністю дій і розрахунків:

1. Визначити умови ураження противника вогнем артилерії: кількість боеприпасів в боекомплектах, які виділяються та їх орієнтовний розподіл за задачами (періодами); визначити об'єкти (цілі) ураження та їх кількість n_i під час виконання задач (періодів) та об'єднати вибрані об'єкти за типами m ; можливості засобів розвідки щодо викриття об'єктів противника P_{vi} .

2. Визначити умови ведення видів вогню: кількість, фронт і глибину ділянок (рубежів) вогню; характер об'єктів, ступінь укриття окремих елементів об'єктів, швидкість переміщення; кількісно-якісний склад артилерійських підрозділів, що залучаються; вид снаряду і установку під-

ривника найбільш доцільні для ефективного ураження об'єкту (цілі); дальність стрільби та спосіб визначення установок для стрільби, що характеризується параметрами помилок підготовки стрільби; помилки внаслідок розсіювання снарядів; способи виконання вогневих завдань; раціональні витрати снарядів N_{ij} , та характеристики Θ_i і C_i [1, 3].

3. Визначити коефіцієнти важливості ураження типів об'єктів A_i у відповідності з метою ВУП.

4. Розрахувати досяжні ступені ураження об'єктів $W_{в.з.і}$ при раціональних витратах N_{ij} (1).

5. Визначити вогневі можливості артилерії з урахуванням проведеного розподілу вогневих завдань та неоднорідного ресурсу артилерії (7, 8).

6. Розрахувати значення цільової функції (4).

7. Розрахувати ступінь ураження угруповання противника вогнем артилерії за формулою (9).

8. Провести аналіз отриманого результату.

Висновки. Таким чином, запропонована методика оцінки ефективності вогню артилерії на основі методу двох функцій, дозволяє: урахувати кількісно-якісний склад об'єктів угруповання противника, що протистоїть, ймовірність викриття груп об'єктів противника, виділену кількість боєприпасів різних видів та наявну кількість засобів ураження; визначати досяжну ступінь ураження різних типів об'єктів(цілей); здійснювати розподіл вогневих завдань з урахування різноефективності засобів ураження, раціонально розподілити наявну кількість боєприпасів; визначати вогневі можливості артилерії; визначити ступінь ураження угруповання противника вогнем артилерії; підвищити достовірність результатів планування вогню та обґрунтованість рішень щодо управління артилерією в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барковский А.Ф. Основы оценки эффективности и выработки рекомендаций по поражению целей огнем артиллерии. Учебное пособие. Военный артиллерийский университет. – СПб.: ВАУ, 2000. – 309 с.
2. Правила стрільби і управління вогнем артилерії. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата. – К.: Варта, 1995. – 304 с.
3. Теоретические основы управления огнем наземной артиллерии: Учебник. – Л.: ВАА, 1978. – 454 с.
4. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. – М.: Наука, 1987. – 248 с.

Надійшла 19.08.2004

МОКРОЦЬКИЙ Михайло Юрійович, ад'юнкт ВІРВІА. В 1989 році закінчив Сумське ВАКУ, в 2001 році – факультет оперативно-тактичного рівня НАОУ. Галузь наукових інтересів – планування вогню артилерії.