

УДК 355.414

М.Ю. Мокроцький, А.Ф. Раскошній

Науковий центр БЗ РВіА Сумського державного університету, Суми

## РОЗПОДІЛ БОЄПРИПАСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПОСЛІДОВНИХ ПРИРОЩЕНЬ

У статті представлений підхід, який спрямований на подальший розвиток питань пов'язаних з розв'язанням задачі оптимізації розподілу ресурсу боєприпасів з врахуванням ефективності виконання вогневих завдань, що очікується, та важливості об'єктів ураження противника.

**Ключові слова:** боєприпаси, вогневі засоби, розподіл.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Завдання розподілу ресурсу боєприпасів по об'єктах ураження є важливим заходом планування вогню артилерії. Визначення розподілу артилерійських боєприпасів вимагає пошуку та вибору методу розв'язання задачі оптимізації.

Рациональний розподіл боєприпасів може здійснюватися з використанням різних методів оптимізації [1]. Розглянуті підходи [2, 3] щодо визначення розподілу ресурсу боєприпасів для ураження основних об'єктів угруповання противника передбачали, що показник ефективності виконання вогневих завдань ( $W_{взi}$ ) може бути визначений за формулами:

$$W_{взi} = 1 - (1 - P_{1i})^{N_i}; \quad (1)$$

$$W_{взi} = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - P_{1ij})^{N_{ij}}, \quad (2)$$

де  $P_{1i}$  – ступінь ураження об'єкта і-го типу одним боєприпасом;  $P_{1ij}$  – ступінь ураження об'єкта і-го типу одним боєприпасом j-го виду;  $N_i$  – кількість боєприпасів необхідна для ураження об'єкту і-го типу;  $N_{ij}$  – кількість боєприпасів j-го виду для ураження об'єкта і-го типу;  $k$  – кількість видів боєприпасів, які можуть застосовуватись вогневими засобами під час виконання вогневого завдання.

Разом з цим, у ході розподілу артилерійських боєприпасів ефективність виконання вогневого завдання, що очікується, не коректно оцінювати за залежностями (1), (2), оскільки ефективність виконання вогневих завдань підрозділом артилерії потребує врахування, що показник ефективності виконання вогневого завдання визначається за більш складними залежностями [4, 6]. Тому обґрунтування розподілу артилерійських боєприпасів потребує вирішення актуального завдання щодо визначення методичного підходу, який би дозволив урахувати відмінність у визначенні показника ефективності виконання вогневого завдання від наведених залежностей (1), (2).

### Основна частина

З урахуванням загальної формалізації задачі розв'язання задачі оптимізації розподілу ресурсу

боєприпасів, яка розглядалась [1, 2], ефективність ураження противника вогнем артилерії, що характеризується певною величиною збитку ( $W_\Gamma$ ), під час виконання бойового завдання можливо визначити за формулою:

$$W_\Gamma = \sum_{i=1}^m A_i n_i P_i W_{взi}, \quad (3)$$

де  $m$  – кількість типів об'єктів ураження;  $A_i$  – важливість об'єктів ураження і-го типу;  $n_i$  – очікувальна кількість об'єктів і-го типу в угрупованні противника;  $P_i$  – ступінь викриття об'єктів і-го типу до кінця даного періоду бойових дій, очікується; при цьому аналітична залежність показника ефективності виконання вогневих завдань від витрати боєприпасів  $N_i$  описується за формулою:

$$W_{взi} = 1 - e^{-C_i N_i}, \quad (4)$$

де  $C_i$  – параметр, що залежить від могутності боєприпасу, захищеності об'єкта, а також характеристик точності стрільби артилерійських систем, підходи до визначення даного параметру наведено [4].

**Постановка задачі розподілу боєприпасів та вибір методу її вирішення.** З урахуванням виду залежностей (3, 4) задача розподілу боєприпасів по об'єктах ураження може бути сформульована наступною загальною постановкою: знайти такий план розподілу однорідного ресурсу, при якому досягається максимальне значення цільової функції:

$$u = \max_i \sum_{i=1}^m A_i n_i P_i W_{взi}$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m n_i P_i N_i \leq N_\Gamma; \\ N_i \geq 0, \end{cases}$$

де  $N_i$  – витрата снарядів призначена для ураження об'єктів і-го типу;  $N_\Gamma$  – витрата снарядів, відпущена на даний період бою;  $W_{взi}$  – математичне очікуван-

ня збитку, що наноситься об'єктам і-го типу.

Одним з методів, який може бути застосований для вирішення задачі оптимізації розподілу ресурсу боєприпасів, є метод послідовних прирощень (МПП) [2, 4].

Метод послідовних прирощень забезпечує оптимізацію адитивної цільової функції довільного виду при одній обмежуючій функції такого ж виду.

Сутність МПП полягає в організації оптимізаційного процесу по випуклих оболонках з кроком по спряжених точках.

Випуклою оболонкою  $\Phi_i$  називається лінійна кусково-безперервна функція, обтягнута навколо початкової функції  $W_{B3i}$ . Спільні точки дотику функції  $W_{B3i}$  і її оболонки  $\Phi_i$  називаються спряженими точками (рис. 1).

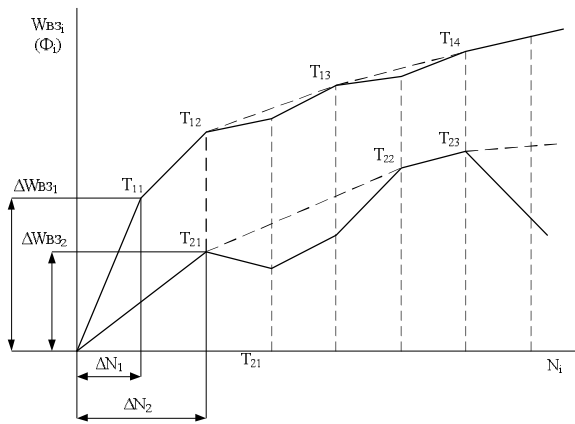


Рис. 1. Вигляд випуклих оболонок  $\Phi_i$  та спряжених точок  $T_{ij}$  функцій  $W_{B3i}$

На  $t$ -му кроці оптимізаційного процесу номер типу об'єкта, що приймається до ураження,  $i_t$  і величина прирощення ресурсів  $\Delta N_{i_t}^{(s)}$  з номером  $s$  спряженої точки визначаються з умови отримання максимального прирощення величини цільової функції, що приходить на кожну одиницю прирощення ресурсу:

$$U_{i_t}^{(s)} = \max_i \frac{\Delta W_{B3i}^{(s)}}{\Delta N_i^{(s)}} = \max_i \max_{\Delta N_i} \frac{\Delta W_{B3i}}{\Delta N_i} \quad (5)$$

Алгоритм розв'язання оптимізаційної задачі на основі МПП:

1. Нанести на загальну координатну сітку всі компоненти цільової функції в області їх існування  $N_i \in \{0, 1, 2, \dots, N_r\}$ .

2. Записати початкові значення поточних величин:

$$N_{0i}^{(0)} = 0, i = 1, 2, \dots, m; \quad W_r^{(0)} = 0; \quad N^{(0)} = N_r.$$

3. Прийняти номер кроку процесу  $t = 1$ .

4. З початку координат провести дотичну до сімейства кривих  $W_{B3i}$ .

5. З врахуванням точок дотику і умови

$$U_{i_t}^{(s)} = \max_i \frac{\Delta W_{B3i}^{(s)}}{\Delta N_i^{(s)}} = \max_i \max_{\Delta N_i} \frac{\Delta W_{B3i}}{\Delta N_i}$$

визначити величини  $i_t$ ,  $\Delta N_{i_t}^{(s)}$  і  $\Delta W_{B3i_t}^{(s)}$ .

6. Розрахувати поточне значення невитраченого ресурсу:

$$N^{(t)} = N^{(t-1)} - \Delta N_{i_t}^{(s)} [n_{i_t} P_{B_{i_t}}].$$

7. Перевірити умову наявності залишку боєприпасів  $N^{(t)} > 0$ : якщо так, тоді перейти до п.8; якщо ні – до п.12.

8. Розрахувати поточне значення елементів вектора закріплення боєприпасів  $N_{0i}^{(t)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ :

$$N_{0i}^{(t)} = \begin{cases} N_{0i}^{(t-1)} + \Delta N_{i_t}^{(s)}, & \text{якщо } i = i_t; \\ N_{0i}^{(t-1)}, & \text{якщо } i \neq i_t. \end{cases}$$

9. Розрахувати поточне значення цільової функції:  $W_r^{(t)} = W_r^{(t-1)} + \Delta W_{B3i_t}^{(s)} [n_{i_t} P_{B_{i_t}}]$ .

10. Криву  $\Delta W_{B3i_t}$  перенести паралельно їй самій до суміщення її точки дотику з дотичною з початком координат.

11. Прийняти  $t = t + 1$  і перейти до п. 4.

12. Записати розв'язання ( $W_r^{(t)}$  і  $W_{0i}^{(t)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ) і закінчити розрахунки.

Аналіз алгоритму, що реалізує МПП, показує, що його розв'язання буде точним, якщо на деякому  $t$ -му кроці процесу ресурсу  $N^{(t)}$ , що залишився, достатньо для збільшення  $k$ -ї компоненти поточного вектора  $N_{0k}^{(t-1)}$  точно на величину  $\Delta N_k^{(s)}$ , тобто на величину, котра відповідає оптимальній величині прирощення  $\Delta N_k$ . В інших випадках має місце погрішність в оптимальному розподілі боєприпасів. Величина цієї погрішності зменшується зі збільшенням виділеної кількості боєприпасів.

**Приклад.** Здійснити оптимальний розподіл однорідного ресурсу боєприпасів із застосуванням методу МПП, якщо: характеристики об'єктів ураження відповідають умовам (табл. 1):

Таблиця 1

Характеристики об'єктів ураження

Номер типу об'єкта	1	2	3
Коефіцієнт важливості об'єкта	10	2	4
Очікувана кількість об'єкта	2	6	10
Ступінь викриття об'єкта	0,5	0,8	0,3
Кількість об'єктів, що плануються до ураження	1	5	3

Знайти оптимальний розподіл 10 боєприпасів, якщо необхідно уразити 3 типи об'єктів, ефективність виконання вогневих завдань щодо ураження об'єктів кожного типу 1-м боєприпасом дорівнюють відповідно 0,86; 0,78 і 0,69; параметр  $C_i$  для кожного

типу об'єкта ураження дорівнює відповідно 2,0; 1,5; 1,2; для ураження об'єктів противника виділено 10 розрахункових боєприпасів.

Порядок і результати розв'язання оптимізаційної задачі наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порядок і результати розв'язання оптимізаційної задачі в умовах прикладу

t	i			$\frac{i_t}{\Delta N_{i_t}}$	$N^{(0)}$	$W_T(t)$
	1	2	3			
	$A_i$					
	10	2	4			
	$\Delta W_{AC_i t}$					
1	8,6	1,6	2,8	1/1	9	8,6
2	1,2	1,6	2,8	3/1	6	17,0
3	1,2	1,6	0,8	2/1	1	25,0
4	1,2	0,3	0,8	1/1	0	26,2
$N_{0i}^{(t)}$	2	1	1			

У ході розв'язання величини  $\Delta N_{i_t}^{(s)}$  і  $\Delta W_{Bz_i}^{(s)}$  визначились по рис. 2.

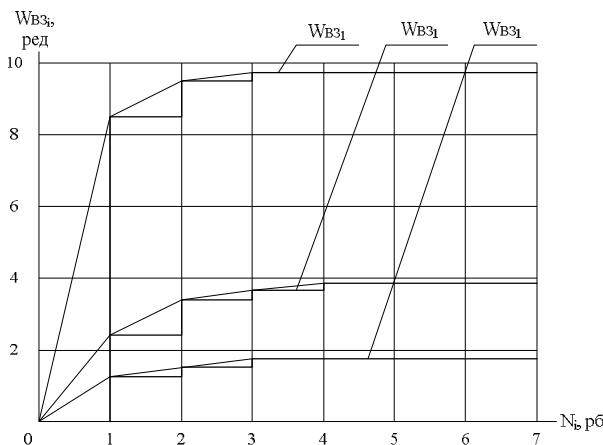


Рис. 2. Вигляд функцій  $W_{a\phi}$  та їх випуклих оболонок в умовах прикладу

У результаті проведених розрахунків за вище наведеним алгоритмом можливо отримати матрицю розподілу боєприпасів та значення збитку угруповання противника, який може бути йому завданий за результатами розподілу боєприпасів по найбільш важливих об'єктах противника.

## Висновок

Таким чином, представлений методичний підхід щодо визначення розподілу боєприпасів по основних типах об'єктів противника запропоновано здійснювати на основі вирішення задачі розподілу методом послідовних наближень. Це дозволяє врахувати більшу кількість факторів при визначенні ефективності виконання вогневих завдань, що очікується.

Представлений підхід може бути використано під розробки комплексу розрахункових задач та їх використання в комплексах засобів автоматизації. Він надає можливість визначати розподіл ресурсу боєприпасів як під час планування вогню артилерії, так і при здійсненні управління вогнем, більш повно враховувати умови виконання завдань, а саме: могутність боєприпасів, захищеність об'єктів ураження та характеристик точності стрільби артилерійських систем.

Напрямок подальших досліджень може бути врахування більшої кількості характеристик щодо особливостей різних типів боєприпасів і вогневих засобів та автоматизація проведення розрахунків з метою своєчасного прийняття більш обґрунтованих рішень з ВУП.

## Список літератури

1. Ефимов Н.Е. Применение методов математического программирования для оптимизации плана огневого поражения противника / Н.Е. Ефимов. – Л.: ВАА, 1993. – 54 с.
2. Мокроцький М.Ю. Підхід щодо розподілу боєприпасів з використанням методу нормованих функцій / М.Ю. Мокроцький // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2010. – № 3(23). – С. 60-62.
3. Раскошный А.Ф. Підхід до здійснення цілерозподілу методом двох функцій / А.Ф. Раскошный // Наука і техніка ПС ЗСУ. – Х.: ХУПС, 2010. – № 3(5). – С. 56-58.
4. Теоретические основы управления ракетными ударами и огнем ракетных войск и артиллерии. – С-П.: ВАУ, 2004. – 357 с.
5. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации / О.Г. Алексеев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 248 с.
6. Грицай М.П. Підходи до удосконалення шляхів застосування сил і засобів артилерії за досвідом локальних війн та збройних конфліктів / М.П. Грицай // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 3(23). – С. 30-32.

Надійшла до редколегії 10.11.2010

Рецензент: канд. військ наук, доц. П.Є. Трофіменко, Сумський державний університет, Суми.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЕПРИПАСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИРАЩЕНИЙ

М.Ю. Мокроцький, А.Ф. Раскошный

В статье представлен подход направленный на дальнейшее развитие вопросов связанных с решением задачи оптимизации распределения ресурса боеприпасов с учетом эффективности выполнения огневых заданий, которое ожидается, и важности объектов поражения противника.

**Ключевые слова:** боеприпасы, огневые средства, распределение.

## DISTRIBUTION OF LIVE AMMUNITIONS WITH THE USE TO THE METHOD OF SUCCESSIVE INCREASES

M.J. Mokrockiy, A.F. Raskoshniy

In the article approach of directed is presented on further development of questions related to the decision of task of optimization of distribution of resource of live ammunitions taking into account efficiency of implementation of fire tasks, which is expected, and importance of objects of defeat of opponent.

**Keywords:** live ammunitions, fire weapons, distribution.