

УДК 358.111.6

І.В. Коплик, В.О. Овчінніков, О.М. Авдєєва, Д.А. Новак

Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Сумська філія

## РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ПРИЦІЛЮВАННЯ ПРИ ПЛАНУВАННІ РАКЕТНИХ УДАРІВ ПО ГРУПОВІЙ ЦІЛІ

Показаний підхід до визначення положення точок прицілювання ракет під час планування ракетних ударів по груповій цілі з використанням методу цільної упаковки кіл на площині.

**Ключові слова:** планування ракетних ударів, ефективність ураження, групова ціль, точки прицілювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Головним завданням ракетного дивізіону, озброєного оперативного-тактичним (тактичним) ракетним комплексом (далі *рдн*), при веденні бойових дій є завдання з ураження об'єктів противника ракетами для створення сприятливих умов досягнення успіху в операції угруповання військ (УВ), до складу якого він входить (далі - завдання з вогневого ураження (ВУ)). Цю задачу *рдн* виконує шляхом нанесення ракетних ударів (РУ) по цілях, які призначаються рішенням командувача УВ. Для виконання завдань з ВУ ракетний комплекс зазвичай має ракети з моноблочними і касетними бойовими частинами (БЧ) в різному бойовому оснащенні (БО): фугасному, осколково-фугасному (ОФ), кумулятивно-осколково та інші. При цьому БЧ і їх бойові елементи (БЕ) можуть бути як некеровані, так і керовані. Більшість цілей можна уражати, застосовуючи БЧ з різним бойовим оснащенням.

Цілями для ВУ *рдн* можуть бути різноманітні об'єкти, що відрізняються один від одного за своєю важливістю, функціональністю, захищеністю, мобільністю, демаскуючими ознаками, розмірам і іншим якостям. Вони можуть бути поодинокими або груповими; точковими, площадковими або лінійними; броньованими або неброньованими; високомобільними або немобільними. Одні й ті ж цілі за різних умов обстановки можуть мати різний склад, просторові розміри і стан; можуть бути незахищеними, частково або повністю захищеними.

Для одних і тих же об'єктів противника, залежно від обстановки, може знадобитися різна ступінь ослаблення їх бойових можливостей (збиток) - повне виведення об'єкту з ладу (знищення або руйнування), або достатньо тимчасово заборонити його бойову діяльність шляхом подавлення, дезорганізації управління і т. д. Величина збитку, який необхідно заподіяти цілі, що уражується, знаходить своє відображення в показниках ефективності вогневого ураження (ймовірність ураження - для поодинокі цілі і математичне очікування числа уражених елементарних цілей - для групової цілі [1]). Завдання завдання цілям противника необхідного за даних умов збитку (далі - завдання ураження) ставиться *рдн* у вигляді потріб-

ного ступеня ефективності їх ураження. Наведені вище деякі відмінності характеристик цілей противника, ефективності дії БЧ в різному БО, а також завдань ураження ведуть до того, що для вогневого ураження різних об'єктів з вказаним ступенем ефективності потрібна різна кількість ракет.

Завдання на нанесення РУ *рдн* отримує від вищої ланки управління, яка є органом управління командувача УВ (далі - старшого начальника). У цьому завданні старший начальник як правило вказує ціль, її характер, необхідні для підготовки РУ характеристики цілі і потрібний ступінь ефективності її ураження. При виконанні отриманого завдання *рдн* зобов'язаний забезпечити ураження призначених цілей з вказаним ступенем ефективності, тобто провести по ним РУ необхідною кількістю ракет з відповідним БО.

Більшість цілей військового характеру, характерних для ураження *рдн*, є груповими цілями (ГЦ), що складаються з деякої кількості елементарних об'єктів (ЕО), які можуть відрізнятися за своєю важливістю. Від діяльності найбільш важливих ЕО безпосередньо залежить функціонування всієї ГЦ - вони й повинні уражатися в першу чергу. Однак найчастіше розташування цих ЕО не відомо. У кращому випадку розвідкою визначено тільки лише ймовірне місце центру ГЦ, її розміри, конфігурація і склад. Тому для того, щоб ГЦ в результаті РУ по ній за таких умов повністю або тимчасово припинила своє функціонування важливо не тільки призначити необхідну кількість ракет з відповідним БО, а й правильно призначити точки прицілювання (ТП) для кожної ракети з тим, щоб отримати необхідний ефект. Тобто, для ефективного виконання поставлених завдань з нанесення РУ по цілях виникає важливе питання про вибір способу обстрілу цілі, про витрату ракет і про призначення ТП.

Вибір способу обстрілу цілей ракетами, визначення необхідної кількості ракет з відповідним БО для ураження цілей з заданою ефективністю, а також ТП виконується під час планування РУ, яке є складовою планування ВУ противника. Існуючі методики для проведення планування ВУ противника не є досконалими. Вони засновані зазвичай на використанні заздалегідь розрахованих таблиць. Табличні методики громіздкі, мають невисоку точність, робота з ними займає багато часу. Варіанти для вибору найкращого способу

обстрілу цілі ракетами не прораховуються, а використовуються стандартні. Все це призводить або до невиконання завдання з ураження цілей із заданою ефективністю через неправильно спланований удар або брак часу на підготовку удару. За умов динамічних бойових дій такий підхід до планування РУ помітно знижує ефективність застосування *р*дн.

**Мета статті.** Надати підхід до визначення положення ТП ракет при нанесенні РУ по ГЦ, який може бути застосований під час розробки способів обстрілу цілей і при побудові автоматизованих систем, здатних виконувати подібні розрахунки.

## Основна частина

Введемо основні допущення. Групову ціль представимо як сукупність елементарних об'єктів, розташованих у межах деякої ділянки місцевості розмірами  $F \times D$ , де  $F$  – фронт цілі;  $D$  – її глибина. Оскільки розташування ЕО у межах ГЦ заздалегідь не відоме, то найбільш правильним варіантом буде припустити, що вони випадковим чином розподілені в межах прямокутника  $F \times D$  за законом рівної ймовірності.

При спрацьовуванні (підриві) БЧ ракети БЕ розподіляються на поверхні землі в межах деякої ділянки, яку з хорошим наближенням можна прийняти у вигляді кола радіуса  $r$ . Оскільки розроблюваний підхід може бути універсальним, то для БЧ з моноблочною ОФ ГЧ під цим колом слід розуміти приведену зону ураження для ЕО, а для касетної БЧ – ділянка місцевості на якій відбувається падіння БЕ. В останньому випадку при підриві кожного БЕ утворюється своя зона ураження зазначеного боєприпасу для ЕО.

Таким чином, завдання зводиться до питання «найкращого покриття» площі цілі зоною ураження декількох ракет, кожна з яких має радіус ураження  $r$ , або наскільки щільно можна укласти на площині з розмірами  $F \times D$  значну кількість однакових кіл радіуса  $r$ . Щільною упаковкою кіл на площині є гексагональна решітчаста упаковка [2 – 8]. Однак, наша задача зводиться до покриття колами радіуса  $r$  не нескінченної площі, а прямокутника розміром  $F \times D$  (рис. 1), тому проведемо такі перетворення.

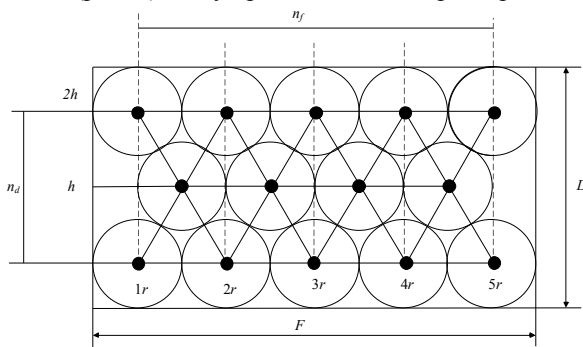


Рис. 1. Щільна упаковка колами прямокутника  $F \times D$

Глибина  $D$  прямокутника дорівнює (рис. 1)

$$D = 2r + n_d h, \quad (1)$$

де  $n_d$  – кількість ліній на яких знаходяться центри кіл;  $h$  – відстань між цими лініями

$$h = \sqrt{3}r. \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1) і провівши перетворення, отримаємо

$$n_d = \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot (D/r - 2). \quad (3)$$

Фронт  $F$  прямокутника дорівнює (рис. 1)

$$F = 2r(1 + n_f),$$

де  $n_f$  – кількість «смуг» шириною  $2r$ , що дорівнює

$$n_f = F/(2r) - 1. \quad (4)$$

Оскільки перед нами стоїть завдання найбільш щільним чином покрити колами обмежену прямокутником  $F \times D$  область поверхні, то таке «покриття» буде з деяким «запасом» перебільшувати межі прямокутника. Виходячи з цього і як видно з рис. 1 загальна кількість  $N_p$  кіл покриття дорівнює:

$$N_p = (n_f + 1)k + n_f z, \quad (5)$$

де  $k = \begin{cases} \frac{n_d}{2}, & \text{якщо } n_d \text{ парне;} \\ \frac{n_d + 1}{2}, & \text{якщо } n_d \text{ непарне;} \end{cases} \quad (6)$

$$z = \begin{cases} \frac{n_d}{2}, & \text{якщо } n_d \text{ парне;} \\ \frac{n_d - 1}{2}, & \text{якщо } n_d \text{ непарне.} \end{cases} \quad (7)$$

Якщо у виразах (6), (7) взяти  $n_d$  парним, то формула (5) прийме вигляд:

$$N_p = (2n_f + 1) \frac{n_d}{2}. \quad (8)$$

Після перетворення (8) з урахуванням (6), (7), (3), (4) отримаємо

$$N_p = \frac{1}{2\sqrt{3}} \left( \frac{F \cdot D}{r^2} - \frac{2F}{r} \right). \quad (9)$$

Перетворюючи (9) і вводячи позначення

$$t = \frac{1}{r}; \quad (10)$$

$$A = F \cdot D \cdot 4; \quad (11)$$

$$B = -2F; \quad (12)$$

$$C = -2\sqrt{3}N_p, \quad (13)$$

отримаємо стандартне квадратне рівняння

$$At^2 + Bt + C = 0. \quad (14)$$

Рішенням (14) буде

$$t = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (15)$$

звідки з урахуванням (10) можна визначити радіус кіл, необхідних для покриття прямокутника  $F \times D$  найбільш щільним чином якщо відомо, що можна використовувати не більше  $N_p$  кіл.

Скориставшись формулами (10), (9), (6), (7) можна вирішити і зворотну задачу: знайти кількість

№ кіл радіуса  $r$ , якими необхідно покрити найбільш щільно прямокутник  $F \times D$ . Для нашого завдання це рівнозначно знаходженню кількості ракет з радіусом ураження  $r$ , необхідних для «найкращого покриття» площі цілі зоною ураження.

При вирішенні задачі про знаходження кількості № кіл радіуса  $r$  слід брати до уваги той факт, що вирази (10), (9), (6), (7) задають «жорсткий» зв'язок між величинами  $F$ ,  $D$  і  $r$ . На практиці ці величини можуть не задовольняти зазначеним рівнянням. Тому в ході вирішення даного завдання слід змінити значення  $F$  і  $D$  таким чином, щоб вони задовольняли виразам (10), (9), (6), (7), але були не менше своїх початкових значень.

Викладений вище підхід дозволяє побудувати розрахунковий алгоритм вирішення задачі про знаходження № при заданих  $F$ ,  $D$  і  $r$ , тобто алгоритм знаходження кількості ракет і вибору точок їх прицілювання при РУ по ГЦ.

При визначенні розмірів прямокутника, що оточує площу цілі, необхідно врахувати той факт, що підготовка і здійснення РУ (стрільби ракетами) завжди супроводжуються виникненням помилок, що впливають на точність доставки бойового оснащення відносно точки прицілювання. Ці помилки можуть бути компенсовані збільшенням витрати ракет. Тому площу прямокутника, по якому необхідно призначити наряд ракет, треба збільшити на величину сумарних помилок, які супроводжують стрільбу.

## Висновки

1. Наведений підхід визначення положення точок прицілювання забезпечує ідеальний спосіб обстрілу цілі. При цьому він дозволяє розподілити точки прицілювання за площею цілі компенсуючи помилки стрільби витратою ракет.

2. Кількість ракет, що виділяються для ураження цілей, залежно від можливостей, буде завжди обмеженою. Представлений підхід дозволяє найкращим способом розподілити задану кількість ракет, виділених для ураження цілі. Якщо виділена кількість ракет менше тієї, що потрібна для ідеального «покриття» площі, то вони будуть розподілені оптимально. Якщо ж кількість виділених ракет пере-

вищує необхідну кількість для «щільного» покриття, алгоритм дозволить визначити саме ту кількість, яка потрібна і «зайві» ракети витратяться не будуть.

3. Запропонований підхід можна застосовувати при розробці алгоритмів рішення завдання вибору ТП ракет, оснащених різними типами БЧ, для ураження типових об'єктів із заданим ступенем ефективності.

4. Зазначений підхід можна застосовувати при визначенні найвигіднішого способу обстрілу цілей ракетами з БЧ в різному БО для ураження типових об'єктів із заданим ступенем ефективності.

5. Наведений спосіб можна використовувати під час розробки методики визначення норм витрати ракет із різними типами БЧ для ураження типових об'єктів.

## Список літератури

1. *Теоретические основы управления огнем наземной артиллерии.* – Л.: ВАА им. М.И. Калинина, 1978. – 454 с.
2. *Роджерс К. Укладки и покрытия / К. Роджерс.* – М.: Мир, 1968. – 134 с.
3. *Тот Ласло Фейш. Расположение на плоскости, на сфере и в пространстве / Тот Ласло Фейш.* – М.: Физматгиз, 1958. – 363 с.
4. *Барановский Е.П. Упаковки, покрытия, разбиения и некоторые другие расположения в пространствах постоянной кривизны / Е.П. Барановский // Итоги науки. Сер. Мат. "Алгебра. Топология. Геометрия. 1967 г." – М.: ВИНИТИ, 1969. – С. 189-225.*
5. *Сидельников В.М. О плотнейшей упаковке шаров на поверхности  $n$ -мерной евклидовой сферы и числе векторов двоичного кода с заданным кодовым расстоянием / В.М. Сидельников // Доклады АН СССР, 1973. – Т. 213, № 5. – С. 1029-1032.*
6. *Кабатянский Г.А. О границах для упаковок на сфере и в пространстве / Г.А. Кабатянский, В.И. Левенштейн // Проблемы передачи информации. – 1978. – 14, № 1. – С. 3-25.*
7. *Левенштейн В.И. О границах для упаковок в  $n$ -мерном евклидовом пространстве / В.И. Левенштейн // Доклады АН СССР, 1979. – Т. 245, № 6. – С. 1299-1303.*
8. *Левенштейн В.И. Границы для упаковок метрических пространств и некоторые их приложения / В.И. Левенштейн // Проблемы кибернетики. Вып. 40. – М.: Наука, 1983. – С. 43-110.*

Надійшла до редколегії 14.12.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Лержавний університет телекомунікацій, Київ.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ПРИЦЕЛИВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАКЕТНЫХ УДАРОВ ПО ГРУППОВОЙ ЦЕЛИ

И.В. Коплык, В.А. Овчинников, Е.Н. Авдеева, Д.А. Новак

*Показан подход к определению положения точек прицеливания ракет при планировании ракетных ударов по групповой цели с использованием метода плотной упаковки кругов на плоскости.*

**Ключевые слова:** планирование ракетных ударов, эффективность поражения, групповая цель, точки прицеливания.

## SOLUTION OF THE TASK OF DETERMINING THE POSITION OF AIMING POINTS WHILE PLANNING THE MISSILE ATTACKS ON GROUP TARGETS

I.V. Kopylyk, V.A. Ovchinnikov, E.N. Avdeeva, D.A. Novak

*The approach to determining the position of aiming points while planning the missile attacks on group targets using the method of dense packing of circles in the plane is shown.*

**Keywords:** planning the missile attacks, the destruction effectiveness, group targets, aiming point.