

УДК 623.462.22: 621.371.332.4

М.В. Бархударян¹, С.В. Кукобко²¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків**ВИКОРИСТАННЯ ЗЕНІТНОЇ КЕРОВАНОЇ РАКЕТИ ЗМ8 У ЯКОСТІ РАКЕТИ-МІШЕНІ**

Розглянуто можливість використання зенітної керованої ракети ЗМ8 зенітного ракетного комплексу 2К11 «Круг» у якості ракети-мішені при проведенні тактичних навчань з бойовою стрільбою на державному полігоні ЗС України «Чауда». Проведено аналіз отриманих методами фізичної оптики характеристик розсіювання моделі зенітної керованої ракети ЗМ8. Дані рекомендації щодо необхідного устаткування, яке потрібне для здійснення пусків ракет-мішеней.

ракета-мішень, ефективна поверхня розсіювання, математичне моделювання, зенітна керована ракета

Постановка проблеми та аналіз літератури

Сучасні зенітні ракетні комплекси (ЗРК), що є на озброєнні Повітряних Сил України, здатні відбивати масовані удари засобів повітряного нападу. Однак, реальна перевірка можливостей ЗРК ускладнена через відсутність відповідної мішенної обстановки. В той же час, проведення тренувань при застосуванні електронних цілей не дозволяє в повному обсязі з'ясувати можливості та ступінь навченості бойових розрахунків ЗРК, оскільки у цьому випадку не імітується польот зенітної керованої ракети (ЗКР) з головою самонаведення.

Для якісного відпрацювання завдань бойової готовності засобів протиповітряної оборони необхідна багатоцільова мішенна обстановка, що характеризується різними типами та кількістю цілей, що одночасно перебувають у повітрі на різних висотах, летять із різних напрямків і різних швидкостей. Важливим фактором застосування мішеней є їх дешевизна та простота експлуатації. Розробка нових ракет-мішеней (РМ) є довгостроковою і дуже коштовною. Тому у світі одним із шляхів створення ракет-мішеней є застосування в цій якості існуючих запасів зенітних крованих ракет (ЗКР), що зняті з озброєння. Зокрема в Російській Федерації та Білорусі розроблені наступні ракети-мішені: мішень РМ-75 розроблена на базі ракети ЗРК С-75, мішені "Саман", "Пищаль", "Пение" – на базі ракет ЗРК "Оса", С-125 та "Куб", відповідно.

В Збройних Силах України є достатньо велика надлишкова кількість ЗРК, що зняті з озброєння, зокрема ЗРК "Круг". Саме можливість застосування ЗКР ЗМ8 цього комплексу у якості ракети-мішені розглянута в цій роботі.

Мета статті – обґрунтування можливості використання зенітної керованої ракети ЗМ8 у якості ракети-мішені.

Необхідно відмітити, що одним із найважливіших показників, що визначає придатність ЗКР до застосування у якості ракети-мішені, є її ефективна поверхня розсіювання (ЕПР). Проведення натурних експериментів з визначення ЕПР потребує наявності відповідного радіолокаційного полігону та обладнання, що є дорогостоячим. Альтернативним шляхом визначення ЕПР є застосування методів математичного моделювання [1, 2], а зокрема, враховуючи що розміри цілей в радіолокації, як правило, набагато більші довжини хвилі опромінювання, для розрахунку ЕПР є виправданим застосування асимптотичних методів короткохвильової дифракції [3 – 7].

Основний матеріал

Зенітна керована ракета ЗМ8 призначена для ураження бомбардувальників, винищувачів та літаків-снарядів, які летять на середніх висотах з дозвуковою та надзвуковою швидкістю, у будь яких метеорологічних умовах [8].

Загальна побудова ЗКР ЗМ8. Ракета двоступінчаста. Першою ступеню є стартовий прискорювач, що складається із чотирьох порохових реактивних двигунів, розташованих по периферії другої ступені. Друга ступень являє собою планер ракети із установленим на ньому бортовим устаткуванням.

Планер ракети призначений для створення керуючих сил відповідно до команд керування, виробленими станцією наведення ракет. Планер можна умовно розділити на центральне тіло, корпус й оперення. Центральне тіло являє собою тіло обертання, контур якого обраний з умови оптимальної роботи повітрязабірника. Центральне тіло з'єднується з корпусом за допомогою чотирьох пілонів, розташованих за схемою « + ». Корпус у поперечному перерізі являє собою тор, внутрішній канал якого служить повітрязабірником для камери згоряння маршового двигуна. Оперення ракети складається із чотирьох

поворотних крил, розташованих за схемою «X», і чотирьох стабілізаторів, виконаних за схемою «+».

Аеродинамічна схема ракети з поворотними крилами характеризується створенням у польоті малих кутів атаки корпусу, що забезпечує нормальні умови роботи маршовому двигуну. Маршовим двигуном другої ступені є надзвуковий прямоточний повітряно-реактивний двигун.

Основними елементами бортового устаткування ракети є: блок радіокерування та радіовізування; автопілот; радіопідривач; запобіжно-виконавчий механізм; бойова частина; пневмогідролічна система; електроустаткування та система комутації.

Принцип дії ЗКР ЗМ8. Ракета стартує із самохідної пускової установки в напрямку виявленої цілі в точку встрілювання. Старт і розгін ракети відбуваються за допомогою стартового прискорювача, що складається із чотирьох порохових реактивних двигунів.

Після моменту сходу ракети з пускової установки до відділення стартового прискорювача ракета здійснює некерований політ. Траєкторія руху на цій ділянці польоту визначається кутами старту, які задаються станцією наведення. Через 3,7 - 5,2 с після старту відокремлюються стартові двигуни й ракета продовжує політ із працюючим маршовим двигуном, вихід на режим якого здійснюється при досягненні швидкості польоту ракети, що відповідає числам $M = 1,75 - 2,0$. Після відділення стартового прискорювача ракета починає управлятися станцією наведення.

Станція наведення при польоті ракети здійснює:

- автоматичне супроводження цілі, обраної для поразки;
- захват ракети і її автоматичне супроводження;
- вироблення команд керування польотом ракети при наведенні її на ціль (команди K1 і K2).

Команди наведення K1 і K2 зі станції приймаються апаратурою радіокерування та радіовізування ракети, перетворюються автопілотом і передаються кермовими машинами на поворотні крила ракети.

Керована ділянка польоту ракети поділяється на два етапи:

- вивід на кінематичну траєкторію;
- наведення ракети на ціль по кінематичній траєкторії.

Наведення ракети здійснюється одним із двох методів наведення: трьох точок або половинного спрямування. Вибір методу наведення здійснюється командиром станції наведення до пуску ракети.

Окрім команд K1 і K2 на борт ракети надходять команди K6 і K9. Команда K6 – величина відносної швидкості зближення ракети й цілі. Команда K9 подається на взведення радіопідривача.

Ураження цілі здійснюється осколками бойової частини, що підривається в зоні зустрічі ракети з

ціллю неконтактним радіопідривачем, який розташований на борту ракети. При прольоті ракети повз цілі передбачена ліквідація ракети по команді K10, що вироблена апаратурою радіокерування та радіовізування, або здійснюється самоліквідація на 73 - 83 с польоту від годинникового механізму запобіжно-виконавчого механізму (ЗВМ) підривом бойової частини.

Можливість застосування ЗКР ЗМ8 у якості ракети-мішені. До складу технічних засобів забезпечення ЗРК "Круг" [9] входить контрольно-перевірочна машина станції наведення 9В719, яка призначена для перевірки станції наведення ракет у замкнутому контурі керування та дозволяє здійснювати реальні пуски ракет по імітованим цілям. Така можливість була використана при розробці ракети-мішені (РМ) 9М316 "Віраж" [10]. Ракета-мішень 9М316 "Віраж" призначена для імітації сучасних аеродинамічних і балістичних цілей і використовувалась у ЗС СРСР як ракета-мішень при проведенні навчально-бойових стрільб ЗРК "Круг", "Куб", "Оса" на державному полігоні "Емба". Ракета-мішень 9М316 "Віраж" має наступні льотно-технічні характеристики:

- діапазон висот застосування – 1000 ... 20000 м;
- максимальна швидкість польоту – 1000 м/с;
- дальність керованого польоту:
- на висотах 3-5 км - 40...48 км;
- на висотах 10-20 км - 55...65 км;
- час польоту до самоліквідації - 73...83 с.

Мішень може здійснювати маневр швидкістю й маневри типу "віраж", "змійка", "кабрирування". Траєкторії польоту РМ 9М316 "віраж" показані на рис. 1.

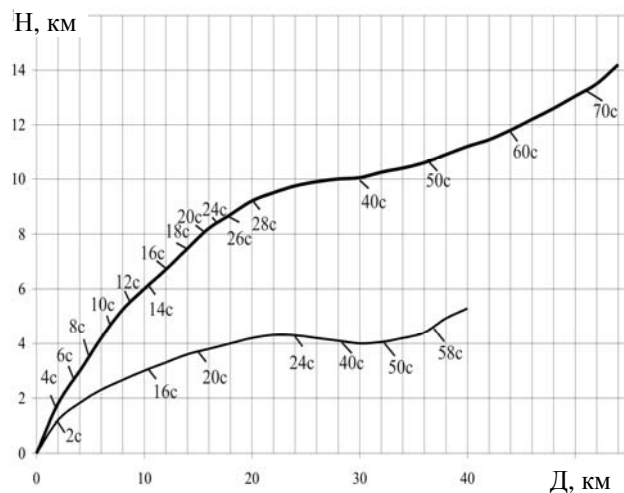


Рис. 1. Траєкторії польоту ракети-мішені 9М316

При проведенні навчальних стрільб на полігоні "Емба" пуск РМ 9М316 здійснювався з відстаней 50 – 110 км (залежно від типу ЗРК) у напрямку стартових позицій ЗРК. Таким чином, одним з можливих варіантів використання ЗКР ЗМ8 у якості мішені для

ЗРК "Бук" на державному полігоні "Чауда" представляється здійснення пусків РМ з платформ, встановлених у морі на відстані 50 – 70 км від берегу. При цьому на платформах повинні бути розміщені станції наведення ракет (СНР) 1С32 (на базі ГМ124, маса 28 т), пускова установка (ПУ) 2П24 (на базі ГМ123, маса 28,2 т) і контрольно-перевірочна машина станції наведення 9В719 (на базі автомобіля ГАЗ-66). При цьому між ПУ та СНР повинен бути забезпечений рознос не менше як 100 м.

Сама ракета повинна бути в деякій мірі доопрацьована – необхідно зняти бойову частину та встановити заряд меншої потужності для збереження режиму самоліквідації.

Особливу стурбованість викликає сучасний технічний стан порохових реактивних двигунів, ампульної батареї.

Метод розрахунку ЕПР. Розрахунок розсіяного ціллю поля здійснювався методом фізичної оптики. Реалізація методу потребує математичного моделювання поверхні цілі, що базується на апроксимації її поверхні фрагментами тривісних еліпсоїдів і триангуляції створеної моделі системою трикутних фацетів [11].

Амплітуда і фаза розсіяного поля визначаються електромагнітними параметрами середовищ, що граничать, а також геометрією поверхні цілі в деякій малій околиці даної точки. За цю околицю й приймається одиничний фацет. Достоїнством методу є можливість моделювання цілі будь-якої форми з необхідним рівнем точності та деталізації, а також урахування взаємного затінення елементів конструкції. Обчислення розсіяного окремих фацетом поля здійснюється чисельним інтегруванням щільностей поверхневих струмів, наведених хвилею, що падає на цей фацет. Сумарне розсіяне поле знаходиться суперпозицією полів, розсіяних окремими фацетами, що розташовані на "освітленій" частині поверхні цілі:

$$D \approx \sum_{j=1}^g D_j = \sum_{j=1}^g \int_{\Delta_j} F(M) dS, \quad (1)$$

де j – кількість фацетів, $j=1, \dots, g$; D_j – поле, розсіяне одиничним фацетом; $\{\Delta_j\}$ – площа одиничного фацета; $F(M)$ – величина розсіяного поля в деякій точці M фацета; dS – елемент ділянки поверхні.

Відомо, що при такому представленні припускаються певні похибки, обумовлені неточністю відтворення поверхні фацетами поблизу крайового контуру об'єкту, а також тим, що поверхня в більшості випадків є випуклою. Проте вибором кількості фацетів g помилку можна знизити до прийнятної для практики величини. Кількість фацетів вибирається залежно від складності поверхні об'єкту (винищу-

вач, транспортний літак, крилата ракета) і необхідного ступеня її деталізації, які, у свою чергу, пов'язані з електричними розмірами цілі (співвідношенням її характерних розмірів і довжини хвилі зондуючого сигналу).

Таким чином, критерієм для вибору кількості фацетів служить збіжність інтегралу (1).

З метою оптимізації розрахунків інтегралів від швидкоосцилюючих функцій застосовується спеціальна кубатурна формула, заснована на кусочно-площинній інтерполяції амплітудної та фазової складових підінтегральної функції в межах кожного фацета.

Крім того, оскільки при апроксимації поверхні ракети використовуються не лише цілі еліпсоїди, а й окремі їх фрагменти, з метою виділення необхідного фрагмента в процесі моделювання проводиться відсікання неживаних ділянок еліпсоїдів площинами. У загальному випадку, кількість січних площин обмежена.

Співставлення результатів чисельного моделювання ЕПР моделі крилатої ракети з експериментальними даними, які отримано на радіолокаційному полігоні спеціалістами компанії Boeing Aerospace, показало достатньо хорошу ступінь узгодженості (з погрешністю в межах 2-5 дБ, тобто 4-8 %).

Результати розрахунку ЕПР моделі ЗКР 3М8. При розрахунках ЕПР була використана модель ЗКР 3М8, яка наведена на рис. 2.

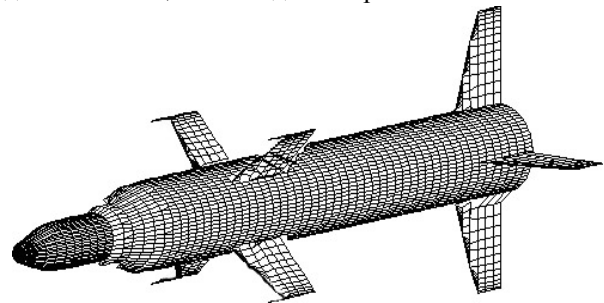


Рис. 2. Модель зенітної керованої ракети 3М8

Результати розрахунків ЕПР представлені на рисунках 3 та 4. На рис. 3 представлені результати розрахунків, які отримано в діапазоні довжин хвиль 3 см, а на рис. 4 – у діапазоні довжин хвиль 10 см. Рисунки (а) відповідають ЕПР, які розраховані при куті місця цілі 5° , рисунки (б) – при куті місця цілі 20° . На всіх рисунках ЕПР наведені в децибелах. Кут обходу в 0° відповідає опроміненню цілі з носового ракурсу.

Аналіз отриманих результатів показує, що при бойових ракурсах, у діапазоні кутів $\pm 30^{\circ}$, ЗКР 3М8 має середні ЕПР $0,49 \dots 0,73 \text{ м}^2$ при довжині хвилі в 3 см, і $0,86 \dots 1,02 \text{ м}^2$ при довжині хвилі в 10 см. В діапазоні кутів $\pm 70^{\circ}$ середні ЕПР рівні $1,72 \dots 1,8 \text{ м}^2$ та $1,63 \dots 1,77 \text{ м}^2$ відповідно.

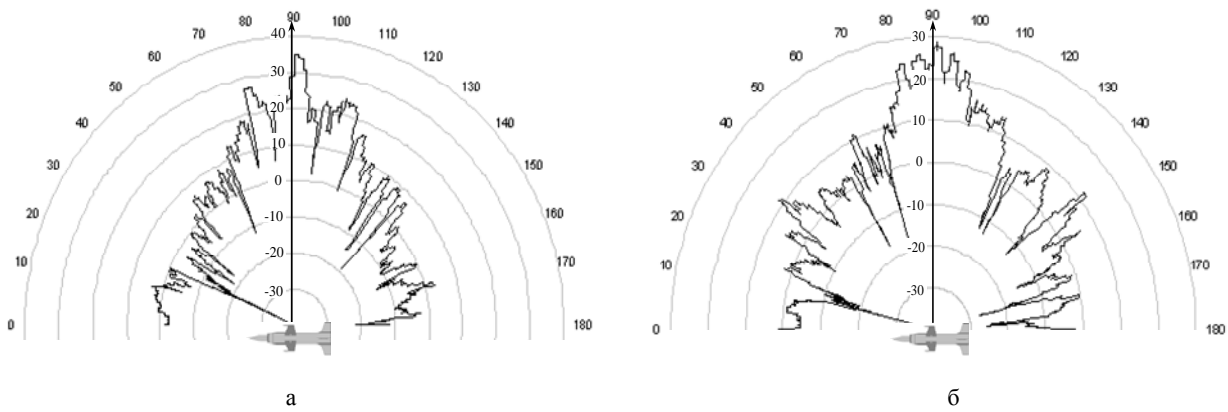


Рис. 3. ЕПР моделі ЗРК 3М8 в діапазоні довжин хвиль 3 см: а – при куті місця цілі 5° , б – при куті місця цілі 20°

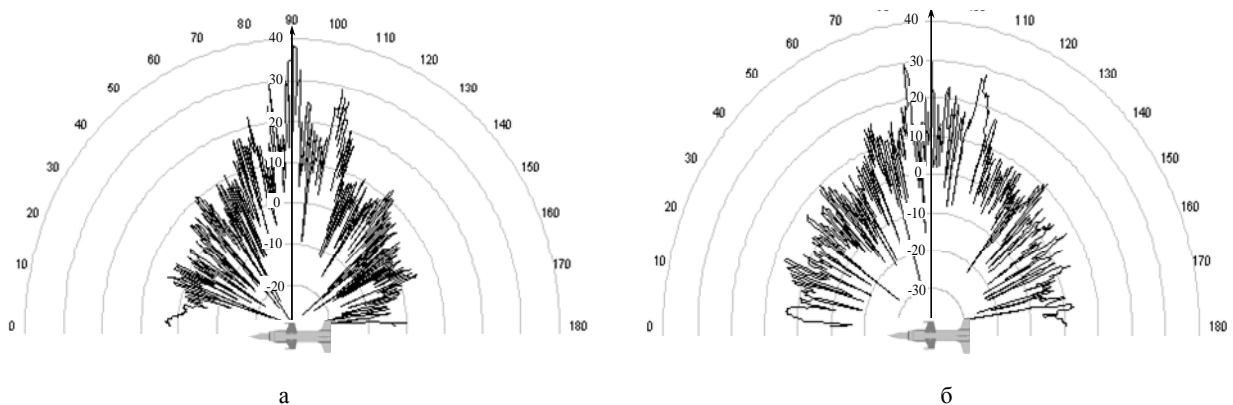


Рис. 4. ЕПР моделі ЗРК 3М8 в діапазоні довжин хвиль 10 см: а – при куті місця цілі 5° , б – при куті місця цілі 20°

Висновок

У цілому отримані результати дозволяють зробити висновок, що ефективна поверхня розсіювання ЗРК 3М8 дозволяє використовувати дану ракету в якості ракети-мішені, зокрема, для ЗРК "Бук", який забезпечує обстріл повітряних цілей з ефективною поверхнею розсіювання не менш як $0,1 \text{ м}^2$ [12].

Список літератури

1. Нотт Ю.Ф. Развитие методов расчета эффективной площади отражения радиолокационных целей // ТИИЭР. – 1985. – Т. 73 – № 2. – С. 90-105.
2. Юсеф Н.Н. Эффективная площадь отражения сложных радиолокационных целей // ТИИЭР. – 1989. – Т. 77, № 5. – С. 100-112.
3. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции. – М.: Советское радио, 1962. – 240 с.
4. Тафлав А., Умашанкар К. Численное моделирование рассеяния электромагнитных волн и вычисление эффективной площади отражения целей конечно-разностным методом во временной области // ТИИЭР. – 1989. – Т. 77, № 5. – С. 57-76.
5. Shyh-Kang, Jeng. Near-field Scattering by Physical Theory of Diffraction and Shooting and Bouncing Rays // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. – 1998. – Vol. 46, № 4. – P. 551-558.

6. Борзов А.Б., Соколов А.В. Математическая модель рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы // Электромагнитные волны и электронные системы. – 1998. – № 10. – С. 39-54.

7. Борзов А.Б., Соколов А.В., Сучков В.Б. Цифровое моделирование входных сигналов систем ближней радиолокации от сложных радиолокационных сцен // Успехи современной радиоэлектроники. – 2004. – № 9-10. – С. 38-62.

8. Ракеты типа 3М8. Техническое описание. Часть первая. 3М8-ТО-1. – 1977. – 88 с.

9. Учебно-тренировочные средства для вооружения войск ПВО Сухопутных войск: Учебное пособие. – К.: ВА ПВО СВ, 1991. – 186 с.

10. Войсковой зенитный ракетный комплекс "Круг". – М.: Воениздат, 1990. – 200 с.

11. Математическое моделирование процесса пеленгации в ближней зоне сложного протяженного объекта / Н.В. Бархударян, О.И. Сухаревский и др. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, №2. – С.217-223.

12. Войсковой зенитный ракетный комплекс "Бук". Часть первая. – М.: Воениздат, 1986. – 320 с.

Надійшла до редколегії 9.11.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Сухаревський, Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків.