

## РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБТ

УДК 621.396.96

В.В. Атаманюк, А.А. Звонко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМИ ЗВОРОТНОГО РОЗСІЮВАННЯ МОДЕЛІ ГОЛОВНОЇ ЧАСТИНИ РАКЕТИ

Проведене експериментальне дослідження діаграми зворотного розсіювання масштабної моделі головної частини ракети у вигляді тригранної піраміди. Визначена залежність амплітуди відбитого сигналу від ракурсу спостереження. Проведено порівняння отриманих експериментальних даних з розрахованими.

**Ключові слова:** головна частина ракети, експериментальна установка, ефективна площа розсіювання цілі, радіолокаційна станція, тригранна піраміда.

#### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як правило, конструкція головних частин ракет являє собою такі геометричні фігури, як конус чи півсфера, що є неоптимальним рішенням з точки зору її радіолокаційної помітності. В останній час з'явилися пропозиції, які базуються на використанні для зниження ймовірності правильного виявлення об'єктів плоских нахилених поверхонь, які відбивають електромагнітні хвилі в сторону від радіолокаційної станції [1, 2, 3, 4, 10].

Вирішити електродинамічну задачу розсіювання електромагнітного поля на реальних тілах дуже важко, але така задача вирішується для багатьох тіл простої форми [5, 6].

Плоскі поверхні мають велике значення ефективної площі розсіювання тільки при напрямку опромінювання, який близький до нормалі. У всіх інших напрямках ефективна площа розсіювання плоских поверхонь значно менше. Це є один з принципів, на якому заснована технологія Стелс, а саме заміна криволінійних форм плоскими [5, 8, 9].

Таким чином, при виборі геометричної форми головної частини ракети значення ефективної площі розсіювання можна змінити таким чином, щоб мінімізувати відбитий сигнал в напрямку на радіолокаційну станцію.

Для цього необхідно об'єктивно оцінити характеристики розсіювання таких об'єктів.

**Метою статті є** порівняння теоретично розрахованої діаграми зворотного розсіювання моделі головної частини ракети у вигляді тригранної піраміди з практично отриманими даними.

#### Виклад основного матеріалу

Якщо головна частина ракети матиме форму трикутної піраміди, то значення ефективної площі розсіювання її бічної грані буде визначатися, як [7]

$$\sigma = \frac{\sigma_m (\cos \psi \cos \varphi)^2}{[(ka \sin \psi \cos \varphi)^2 - (kb \sin \varphi)^2]^2} \{ [\sin^2 (ka \sin \psi \cos \varphi) - \sin^2 (kb \sin \varphi)]^2 + (kb \sin \varphi)^2 \left[ \frac{\sin(2ka \sin \psi \cos \varphi)}{2ka \sin \psi \cos \varphi} - \frac{\sin(2kb \sin \varphi)}{2kb \sin \varphi} \right]^2 \}, \quad (1)$$

де  $a$  – половина основи грані;

$b$  – висота грані;

$k$  – хвильове число;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$\varphi$  – кут опромінення в горизонтальній площині (кут між вектором опромінення та проекцією цього вектора на вертикальну площину, проведена через нормаль до площини об'єкта у точці опромінення);

$\psi$  – кут опромінення у вертикальній площині (кут між нормаллю до площини об'єкта та проекцією вектора опромінення);

$\sigma_m$  – ефективна площа розсіювання при  $\varphi = 0$  та  $\psi = 0$ .

$$\sigma_m = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2}. \quad (2)$$

Для практичного підтвердження правильності вибору математичної моделі, яка дає діаграму зворотного розсіювання головної частини ракети, була створена масштабна модель у вигляді тригранної піраміди з геометричними розмірами грані  $a = 0.14$  м, та  $b = 0.47$  м, які відповідають

реальним розмірам головної частини ракети для довжини хвилі радіолокаційної станції виявлення, а також створена установка для дослідження.

Установка для дослідження (рис.1) складається з когерентно-імпульсної РЛС сантиметрового діапазону (1РЛ-133) [11], плати збору та обробки даних, персонального комп'ютера, комплексу програм, осцилографічних пристроїв спостереження та вимірювання.

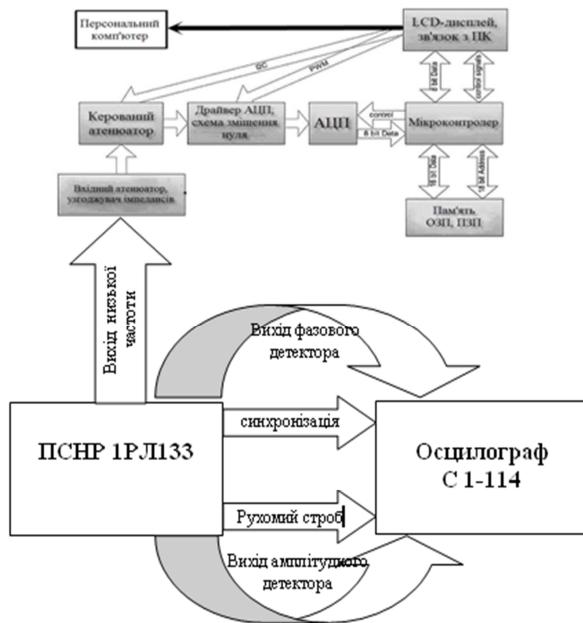


Рис.1. Схема установки для дослідження

В установці персональний комп'ютер і мікропроцесорний комплект із вбудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) є основою побудови пристрою для вимірювання, реєстрації та обробки характеристик розсіювання об'єктів. Можуть використовуватися обчислювальні потужності вбудованого мікропроцесора або персонального комп'ютера, що дозволяє вирішувати вимірювальні задачі широкого спектра складності при аналізі сигналів в часовій та частотній областях, а також дослідження їх параметрів.

З виходів фазового або амплітудного детектора РЛС сигнал поступає на осцилограф та плату збору даних, в якій відбувається його перетворення у цифрову форму та запам'ятовування. Тут же реалізований інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером. Програмна частина вимірювального пристрою емулює передню панель керування.

Технічні характеристики установки:

- тип радіолокаційного сигналу – радіоімпульсний;
- довжина хвилі радіочастотного випромінювання – 1,8 см;
- тривалість радіоімпульсу – 400 нс;
- кількість каналів – 2, максимальна частота дискретизації - 200 кГц (для одного каналу);
- розрядність АЦП – 10 біт.

Установка забезпечує необхідну точність вимірювань, автоматизацію вимірювань параметрів сигналів, статистичну обробку сигналу, зчитування та обробку попередньо записаних даних, широкі аналітичні можливості та архівацію даних, детальний аналіз вибраної частини сигналу, можливість аналізу сигналів в частотній та часовій областях.

Для дослідження було здійснено:

1. Вибір ділянки місцевості для проведення практичних досліджень і проведення розмітки опорних точок.

2. Підготовка установки для дослідження до використання (перевірка працездатності радіолокаційної станції, перевірка апаратури контролю та метрологічного забезпечення).

3. Аналіз радіолокаційної картини вибраної ділянки місцевості з метою зменшення похибок вимірювання за рахунок розсіювання сигналу місцевими предметами.

4. Встановлення відбивача та його орієнтація, за допомогою мірної стрічки визначення відстані до експериментальної установки.

5. Фіксація максимального значення відбитого сигналу від відбивача та суміщення оптичної та електричної осей антени.

6. Встановлення моделі головної частини ракети у вигляді тригранної піраміди та її орієнтація по максимуму відбитого від неї сигналу.

7. Проведення вимірювань амплітуди відбитого сигналу на виході амплітудного детектора радіолокаційної станції в попередньо розмічених опорних точках, кожний раз суміщаючи електричну вісь антени з напрямком на модель по оптичному прицілу (рис. 2).

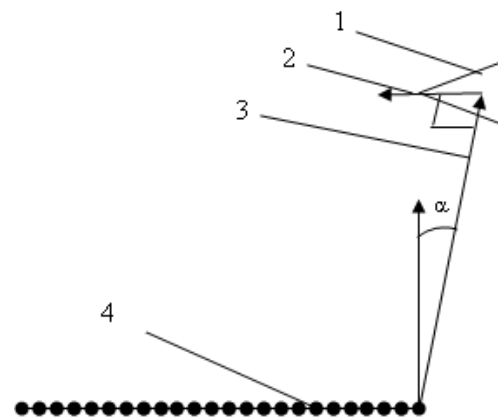


Рис.2. Геометрія експерименту:

- 1 – положення моделі головної частини ракети у вигляді тригранної піраміди;
- 2 – центральна вісь моделі;
- 3 – напрямок опромінення моделі з вихідної опорної точки;
- 4 – опорні точки з відстанню між ними 2 м;
- $\alpha$  – кут між напрямком опромінення з вихідної опорної точки та нормаллю до площини опромінювання –  $3.06^\circ$

8. Збір та обробка отриманої інформації. Проведення необхідних розрахунків, аналіз отриманих результатів, оформлення звітної документації.

У результаті було виміряно амплітуду відбитого моделлю сигналу на виході детектора радіолокаційної станції в опорних точках.

Для визначення кутів опромінення для кожної з опорних точок був проведений перерахунок відстаней між опорними точками (рис. 3).

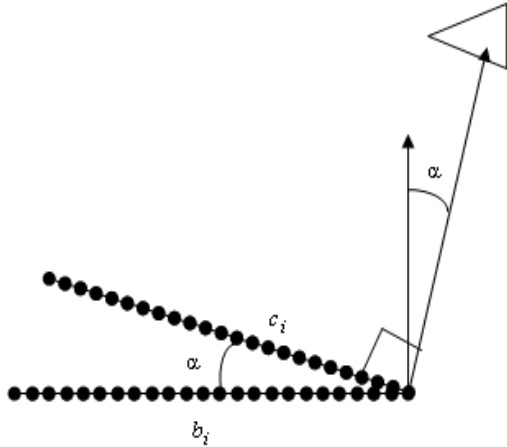


Рис. 3. Перерахунок відстаней між опорними точками

Для цього відстань між вихідною точкою та наступною позначили –  $b_i$ , а відстань для перерахунку –  $c_i$ .

$$c_i = \frac{b_i}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

де  $i$  – номер опорної точки.

Куты опромінення для кожної з опорних точок  $\beta_i$  визначаються за формулою (рис.4)

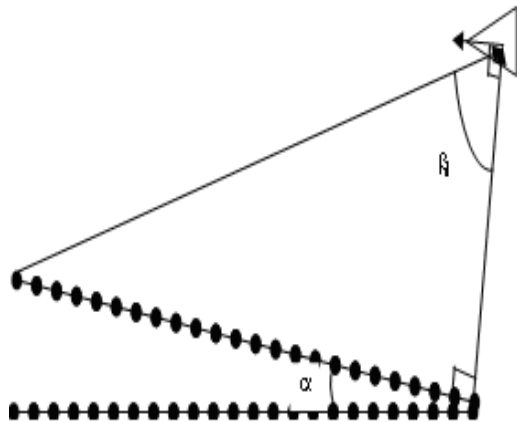


Рис.4. Визначення кутів опромінення

$$\beta_i = \arctg \frac{c_i}{D}, \quad (4)$$

де  $c_i$  – відстань між вихідною точкою та  $i$ -ю;

$D$  – відстань між вихідною точкою та моделлю – 235 м.

Результати отриманих експериментальних значень наведені в таблиці.

Таблиця

Таблиця практично отриманих і розрахованих значень

b, м	c, м	$\beta^\circ$	$A$	$A^2$	b, м	c, м	$\beta^\circ$	$A$	$A^2$
0	0	0	1.7	2.89	36	36.07	8.72	0.9	0.81
2	2	0.487	1.68	2.82	38	38.07	9.2	0.76	0.58
4	4	0.97	1.59	2.53	40	40.08	9.93	0.66	0.44
6	6.01	1.46	1.4	1.96	42	42.084	10.15	0.6	0.36
8	8.01	1.94	1.37	1.9	44	44.088	10.62	0.47	0.22
10	10.02	2.44	1.2	1.44	46	46.09	11.09	0.19	0.04
12	12.02	2.93	0.9	0.81	-2	-2	-0.487	1.6	2.56
14	14.02	3.41	0.6	0.36	-4	-4	-0.97	1.57	2.46
16	16.03	3.9	0.6	0.36	-6	-6.01	-1.46	1.47	2.16
18	18.036	4.35	0.76	0.58	-8	-8.01	-1.94	1.37	1.9
20	20.04	4.86	0.9	0.81	-10	-10.02	-2.44	1.2	1.44
22	22.044	5.37	0.92	0.86	-12	-12.02	-2.93	0.92	0.86
24	24.048	5.84	0.83	0.69	-14	-14.02	-3.41	0.6	0.36
26	26.05	6.32	0.76	0.58	-16	-16.03	-3.9	0.58	0.34
28	28.056	6.8	0.58	0.34	-18	-18.036	-4.35	0.76	0.58
30	30.06	7.29	0.19	0.036	-20	-20.04	-4.86	0.9	0.81
32	32.06	7.767	0.47	0.22	-22	-22.04	-5.37	0.92	0.86
34	34.068	8.25	0.83	0.69					

На рис. 5 наведені теоретично розраховані та практично отримані дані.

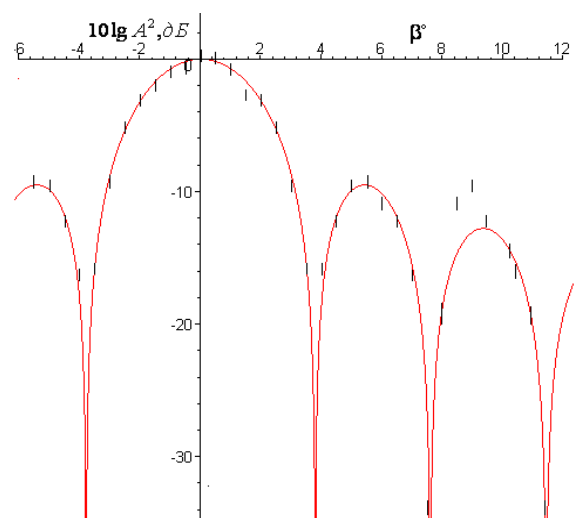


Рис.5. Теоретично розрахована діаграма зворотного розсіяння в логарифмічному масштабі (суцільна лінія) та практично отримані результати (риски)

З рисунку видно достатньо точний збіг, в межах похибок вимірювань, теоретично розрахованих та практично отриманих даних, за винятком ділянки  $8,25 - 8,72^\circ$ , що викликано попаданням в радіолокаційний об'єм сигналу, відбитого від місцевого предмета.

### Висновки

1. Створена установка для дослідження, яка дозволяє досліджувати характеристики розсіювання радіолокаційних об'єктів різної геометричної форми.

2. Практично отримано ділянку діаграми зворотного розсіювання моделі головної частини ракети у формі тригранної піраміди.

3. Порівняння теоретично розрахованих даних з практично отриманими показало хорошу ступінь їх збігу, що підтверджує правильність вибору математичної моделі для визначення діаграми зворотного розсіювання грані тригранної піраміди.

### Список літератури

1. Степанов Ю.Г. Противорадиолокационная маскировка / Ю.Г.Степанов. – М.: Советское радио, 1968. – 220 с.
2. Атаманюк В.В., Звонко А.А. Визначення ефективної площі розсіювання головної частини ракети, яка складається з плоских граней в залежності від кутів спостереження / В.В. Атаманюк, А.А. Звонко // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ. – 2013. – №3(50). – С. 5-10.
3. Головань А.В. Возможности пассивного противорадиолокационного маскирования озброєння та військової техніки /

А.В. Головань, В.Г. Головань., М.О. Дроздов, М.В.Фелько // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – №1(29). – С. 17-22.

4. Стратегическая крылатая ракета воздушного базирования AGM-129A (АСМ) [Электронный ресурс] / Информационно-новостная система Ракетная техника. – Режим доступа: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/agm129a/agm129a.shtml>.

5. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.

6. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы / Е.А. Штагер. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.

7. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели / В.О. Кобак. – М.: Советское радио, 1975. – 248 с.

8. Беляев Ю.Л. Радиопоглощающие материалы и технологии Стелс / Ю.Л. Беляев // Зарубежное военное обозрение. – 1993. – № 4. – С.45-47.

9. Лагарьков А.Н., Погосян М.А. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий / А.Н. Лагарьков, М.А. Погосян // Вестник Российской академии наук. – 2003 г. – №9. – С. 848.

10. Гончаренко Э.А. Снижение радиолокационной заметности военной техники и объектов / Э.А. Гончаренко // Вологодские чтения. – 2002. – №16. – С. 8-11.

11. Изделие 1РЛ133. Техническое описание. БД 1.400.009 ТО. – 1974. – 232 с.

**Рецензент:** д.т.н., с.н.с. А.М.Зубков, Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

### Исследование диаграммы обратного рассеивания модели главной части ракеты

В.В.Атаманюк, А.А. Звонко

Проведено экспериментальное исследование диаграммы обратного рассеивания масштабной модели главной части ракеты в виде трехгранной пирамиды. Определена зависимость амплитуды отбитого моделью сигнала от ракурса наблюдения. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с рассчитанными.

**Ключевые слова:** главная часть ракеты, эффективная площадь рассеивания цели, экспериментальная установка, радиолокационная станция, трехгранная пирамида.

### Analysis of the backscattering pattern of the missile head

V. Atananuk, A. Zvonko

Experimental study of the backscattering pattern of the missile head in the triangular pyramid form has been carried out. The dependence of the amplitude of the reflected signal model from the angle of observation has been defined. The comparison of the experimental data with the theoretically calculated ones has been made.

**Key words:** missile key piece, target scattering cross-section, experimental setup, radar station, triangular pyramid.