

УДК 621.396.96.001(07)

Т.Ю. Микуляк, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

І.А. Пількевич, к.т.н., доц.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

ВПЛИВ РЕЗОНАНСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИПОЛЯ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ

Запропоновано методику оцінювання впливу резонансної характеристики диполя на роздільну здатність радіолокаційних станцій. Показано, що резонансна характеристика диполя зменшує рівень бокових пелюсток, а на роздільну здатність не впливає. Зроблено висновок, що з метою компенсації дипольних перешкод доцільно розроблювати методи селекції, які використовують широкосмугові сигнали.

Постановка задачі. Головною рисою сучасної воєнно-політичної ситуації у світі є наявність ядерної зброї у провідних держав світу і розвиток космічних систем та засобів. Провідні держави світу велику увагу приділяють розвитку космічних систем, які на цей час у прямому значенні не є зброєю, бо не „стріляють” та не можуть вбивати, але вони значно підвищують як рівень безпеки держав, так і військовий потенціал [1]. Космічні засоби підвищують, насамперед, і можливості звичайної зброї, що робить їх застосування виправданим. Досвід ведення збройної боротьби дає можливість не тільки зробити висновки про результати анробування нових видів озброєння, але і намітити подальші шляхи їх застосування [2].

Одним із шляхів підвищення можливостей космічних систем щодо виділення сигналів від просторово-зосереджених елементів цілі на фоні дипольних перешкод поза атмосферою є досягнення високого просторового розділення, яке отримується будь-якими способами: використанням багатопозиційних систем локації, великоапертурних ФАР, використанням широкосмугових зондуючих сигналів і т. ін [3].

Якщо просторове розділення дозволяє відокремлено спостерігати за сигналами окремих диполів маскованої хмари, то задача виділення корисного сигналу істотно спрощується [4]. У зв'язку з цим практичний інтерес являє собою оцінювання реальних технічних можливостей щодо створення потрібного просторового розділення і вимоги до радіолокаторів, які слід поставити.

У теперішній час використання широкосмугових сигналів з метою розв'язання задачі радіолокаційного розпізнавання являє собою напрям удосконалення радіолокаційної техніки, що інтенсивно розвивається [5]. Тому практично необхідно мати дані щодо потрібної ширини спектра зондуючих сигналів, що забезпечують розділення окремих диполів за дальністю.

Нижче наводиться методика оцінювання впливу резонансної характеристики диполя на роздільну здатність радіолокаційних станцій (РЛС), а також кількісні результати проведеного оцінювання.

Відомо, що для постановки насивних перешкод радіолокаційним засобам космічних систем використовуються такі диполі резонансних довжин, які володіють найбільш ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР). Оскільки частотна характеристика вторинного випромінювання таких диполів (тут і далі під нею слід розуміти залежність ЕПР від частоти зондування або довжини хвилі) має яскраво виражений резонансний характер, а отже і вузьку смугу пропускання, то ширина спектра відбитого сигналу буде обмежуватись смугою пропускання диполя в околі резонансу, а ширина стиснутого імпульсу після узгодженої фільтрації – шириною спектра відбитого сигналу. Тому склалася думка, що гранично досяжне розділення диполів за дальністю визначається шириною їх смуги пропускання, і необмежене розширення спектра зондуючого сигналу не здатне надпотенціально підвищити розділення [3 та ін.].

Практичний зміст оцінювання роздільної здатності полягає у наступному: якщо виявиться, що середньоочікувані інтервали між диполями хмари вздовж лінії візування більші від величини потенціального розділення, то роздільний прийом дипольних сигналів на основі використання широкосмугового зондування, в принципі, нездійснений.

У свою чергу це означає, що розробка методів селекції цілі у хмарі дипольних відбивачів (ХДВ), що базуються на розділенні за дальністю кожного диполя окремо, є актуальною задачею і має практичне значення.

Оцінювання середньоочікуваної відстані між окремими диполями хмари та потрібної ширини спектра зондуючих сигналів. Оцінювання середньоочікуваних інтервалів між сусідніми диполями хмари вздовж лінії візування легко отримати, маючи оцінки очікуваних щільностей диполів у космічному просторі. Виходячи із даних, опублікованих у відкритих джерелах інформації [6], середньоочікувані щільності становлять $10^3 \dots 10^4$ дип./км³. Це означає, що у паралелепіпеді $10 \cdot 10 \cdot 100$ (м³) або $10 \cdot 100 \cdot 100$ (м³) знаходиться в середньому один диполь. Разом з цим потрібно врахувати, що щільності диполів, крім їх початкової кількості в комплектації пристрою розкиду диполів, визначаються багатьма факторами і можуть змінюватися за рахунок розльоту диполів з часом, а також залежно від дальності до локатора в широкій межі [7].

Тому найбільш об'єктивні оцінки очікуваних щільностей можна отримати за результатами моделювання процесу формування ХДВ на ПЕОМ. Результати одного із варіантів такого моделювання подані у [3]. Поєднуючи дані моделювання з даними інших джерел, можна зробити висновок, що середньоочікувані інтервали між сусідніми диполями хмари вздовж лінії візування становлять від десятків сантиметрів до десятків метрів, а у сформованій хмарі – з інтервалом в одиниці метрів і більш. Тому шляхом розширення спектра зондуючого сигналу до (400...500) МГц можна досягнути розділення окремих диполів за дальністю.

Стиснення прийнятого сигналу. Обробка прийнятого сигналу складається з його лінійної фільтрації у фільтрі з передаточною функцією $h(f)$. Якщо знехтувати часом затримки сигналу в лінійному фільтрі, то результат фільтрації можна записати як:

$$\omega(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{g}(f) h(f) e^{j2\pi f(t-t_0)} df, \quad (1)$$

де $\dot{g}(f)$ – частотна (резонансна) характеристика диполя;

t_0 – час затримки відбитого сигналу.

Можливість з розділення цілей визначає обидва сигналу на виході узгодженого фільтра ($h(f) = g_{sc}^*(f)$, де $g_{sc}^*(f)$ – спектральна щільність опромінюючого диполі сигналу). Тому виділимо із сигналу (1) обидву, яка буде мати вигляд:

$$W_{obs.}(t) = \int_{M/2}^{M/2+1} g(v+f_0) h(v+f_0) e^{j2\pi(v+f_0)(t-t_0)} dv. \quad (2)$$

Таким чином, для дослідження впливу резонансної характеристики диполя на роздільну здатність радіолокаційних станцій необхідно отримати частотну (резонансну) характеристику диполя та використати її в (2).

Частотна характеристика вторинного випромінювання диполів резонансних довжин.

Розсіяння на окремому тонкому проводі досліджувалось теоретично, з одного боку Ван Флеком та ін. [8], з другого – у працях Кінга [9] і Дайка та Кінга [10]. Розподіл струму, що збуджується у проводі полем падаючої плоскої хвилі довільної орієнтації, визначався наближеним вирішенням інтегрального рівняння. Основний член в отриманому виразі для струму підставлявся в інтеграл, який визначав електричне поле в далекій зоні, а потім розраховувалась величина перерізу зворотного розсіяння. Обидва методи відрізняються головним чином видом нульового наближення для струму, що використовувався, та методами подальшого розрахунку інтегралів. Результати, що отримані за допомогою обох методів, співпадають один з одним і з експериментальними значеннями. Однак отримані результати не можуть бути використані для оцінювання впливу резонансної характеристики диполя на роздільну здатність РЛС.

Тому в статті [11] запропонований простий метод вирішення поставленої задачі, що використовує методи розв'язання некоректно поставлених задач, які розроблені акад. А.М. Тихоновим.

Залежність ефективної поверхні розсіювання окремого диполя від частоти представлена на рис. 1 (результати математичного моделювання – суцільна лінія, результати експерименту – еліпси).

Аналіз рисунка показує, що результати розрахунків співпадають з експериментальними даними. Тому отримані результати можуть бути використані в (2) при дослідженні впливу резонансної характеристики диполя на роздільну здатність радіолокаційних станцій.

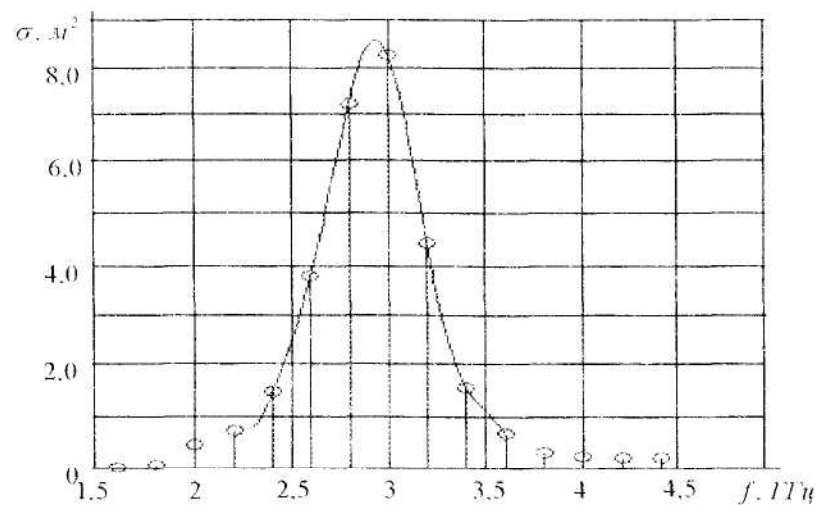


Рис. 1

Оцінювання роздільної здатності РЛС з урахуванням резонансної характеристики диполя. Величину інтервалу розділення, за критерієм Релея, можна оцінити шириною функції розузгодження за рівнем 0,707 (0,5 – за потужністю) від максимуму [12]. Однак допускається відлік за другими рівнями. Так, для ЛЧМ сигналів іноді використовується рівень 0,64 від функції розузгодження [13]. Останній був використаний авторами в чисельних розрахунках.

Результати моделювання процесу стиснення прийнятого сигналу, відбитого від окремого диполя, подані в таблиці. В ній представлена інформація про роздільну здатність без врахування (δ_r) і з врахуванням (δ'_r) частотної (резонансної) характеристики окремого диполя. Її аналіз показує, що резонансна характеристика диполя майже не впливає на роздільну здатність.

Таблиця

Δf , Гц	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
δ_r , м	0,5	0,375	0,3	0,25	0,214	0,1875	0,1(6)	0,15	0,136	0,123
δ'_r , м	0,5	0,375	0,3	0,25	0,22	0,2	0,17	0,16	0,15	0,25

На рис. 2 представлена залежність відносного рівня першої бокової пелюстки функції розузгодження від ширини спектра опромінюючого диполя сигналу.

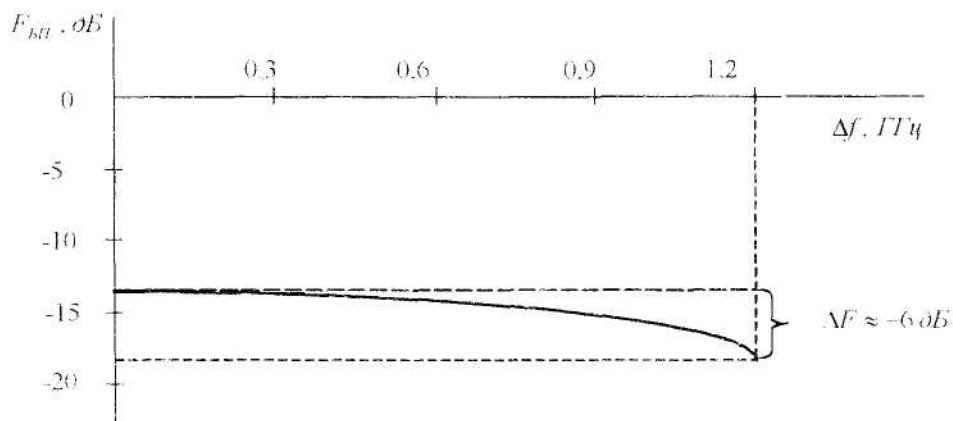


Рис. 2

Його аналіз показує, що при збільшенні ширини спектра опромінюючого сигналу відносний рівень першої бокової пелюстки, а відповідно й інших, зменшується. Цей факт відомий в радіолокації, як вплив округлення амплітудно-частотного спектра на зменшення бокових пелюсток у часовій області [13].

Висновки:

1. Оскільки середньоочікувані інтервали між сусідніми диполями хмари вздовж лінії візування становлять від десятків сантиметрів до десятків метрів, то у сформованій хмарі з інтервалом в одиниці метрів і більше можна шляхом розширення спектра зондуючого сигналу до (400...500) МГц досягнути розділення окремих диполів за дальністю. Отже, розроблення методів селекції цілей у ХДВ при надрозділенні широкосмуговими сигналами викликає практичний інтерес.

2. Збільшення ширини спектра опромінюючого диполя сигналу не призводить до зменшення його роздільної здатності за рахунок резонансної характеристики, а призводить до зменшення відносного рівня бокових пелюсток функції розузгодження. При ширині спектра зондуючого сигналу 4 ГГц рівень першої бокової пелюстки зменшується приблизно на -6 дБ.

3. Розробка методів селекції цілі у хмарі дипольних відбивачів, що базуються на розділенні за дальністю кожного диполя окремо, є актуальною задачею і має практичне значення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пастушенко М.С., Присяжний В.І., Яндовський В.О. Застосування космічних систем для забезпечення дії збройних сил: Навчальний посібник // За ред. професора В.І. Ткаченка. – Харків: ХВУ, 2003. – 192 с.
2. Артюшин Л.М., Мосов С.П., П'ясовський Д.В., Толубко В.Б. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції: Монографія. – К.: НАОУ, 2002. – 208 с.
3. Пількевич І.А. Оцінювання потенціально-досяжного розділення за дальністю при необмеженому збільшенні ширини спектра, опромінюючого диполі сигналу // Проблеми створення, випробування та експлуатації складних інформаційних систем: Збірник наукових праць. – Житомир: ЖВІРЕ, 2003. – № 6. – С. 114–121.
4. Пількевич І.А., Кулик Л.П. Поляризаційна компенсація дипольних помех при високом просторово-просторовому розділенні // Вопросы теории сложных радиоэлектронных систем: Н.т.сб. – Вып. 11. – ЖВУРЭ ПВО, 1989. – С. 20–27.
5. Асташич Л.Ю., Костылева А.А. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
6. Шапиро, Джонс, Перкинс. Орбитальные свойства пояса диполей проекта West Ford // Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – 1964. – № 5. – С. 495–547.

7. Шлькевич І.А. Використання законів гідродинаміки для опису локальних хмар дипольних відбивачів поза атмосферою // Актуальні проблеми створення і застосування авіаційних та космічних систем: Збірник матеріалів НПК. – К.: НАОУ, 20.11.2003. – С. 374–380.
8. Van Vleck J.H., Bloch F., Hamermesh M., Journ. Appl/Phys., 18, 124 (1947).
9. King K.W.P., Theory of Linear Antennas. – Harvard University Press, Cambridge, 1956. – Ch. 4.
10. Dike S. H., King D.D., Proc.IRE., 40, 853 (1952); 41, 926 (1953).
11. Шлькевич І.А. Математичний опис розсіювання електромагнітної хвилі на окремому диполі при широкосмуговому зондуванні // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – № 2(29). – С. 134–137.
12. Кремер И.Я. Пространственно-временная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
13. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

МИКУЛЯК Таміла Юріївна – магістр педагогічних наук, аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання фізичних процесів.

Тел.: 42-14-27.

ШЛЬКЕВИЧ Ігор Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектроніки Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання складних систем;

– обробка радіолокаційної інформації на фоні перешкод.

E-mail: office@sch.ztu.ua

Подано 17.06.2004