

Істотним є вплив на нерівномірність ходу двигуна частоти обертання колінчатого валу. При зменшенні частоти обертання нерівномірність стрімко зростає, досягаючи найбільших значень на режимі мінімального холостого ходу ( $n = 600$  об/хв).

Характерним є також те, що в діапазоні частот 2000...1600 об/хв числові значення нерівномірності  $\delta$  відрізняються незначно.

При подальшому зменшенні частоти обертання різниця стає більш істотною. Найбільша нерівномірність має місце на режимах 7/16, 10/16 і 1/16 відключень робочих циклів.

Видно, що при роботі двигуна на режимі мінімального холостого ходу у всьому діапазоні відключень робочих циклів нерівномірність ходу двигуна вище за допустимі значення.

При роботі на режимі відключень 13/16 (що відповідає роботі дизеля на холостому ході) при  $n = 600$  об/хв  $\delta$  становить 0,08169, що практично в три рази менше, ніж у 4-циліндровому (0,2489) [4] при такій же частоті обертання.

Але з урахуванням моменту інерції засобу, на якому встановлюватиметься дизельний ДРЦ, наприклад автомобіля, нерівномірність ходу двигуна і його крутного моменту різко зменшується, комфортність останнього при цьому порушуватиметься незначно.

#### Висновки

1. Виконані на оригінальній математичній моделі дослідження нерівномірності ходу 8-циліндрового дизеля з V-подібним розміщенням циліндрів і порядком роботи 1-5-4-2-6-3-7-8 залежно від частоти обертання і кількості відключених циклів показали, що при збільшенні останніх нерівномірність ходу збільшується, досягаючи найбільших значень при 10/16, 1/16, 3/16, і особливо 7/16 відключень індикаторної потужності  $N_i$ .

2. Істотно на нерівномірність ходу двигуна впливає частота обертання, зменшення якої викликає збільшення нерівномірності. Найбільша нерівномірність куткової

швидкості колінчатого валу  $\delta = 0,15013$  має місце на режимі 7/16 відключень при  $n = 600$  об/хв, що істотно вище, ніж без відключення циклів, але практично в три рази менше, ніж у 4-циліндровому (0,2489) при такій же частоті обертання. Особливо звертає на себе увагу зменшення нерівномірності ходу двигуна на режимі 8/16 відключень робочих циклів, тобто при відключенні половини індикаторної потужності.

3. Розрахунки параметрів динаміки 8-циліндрового дизельного ДРЦ підтвердили закономірності зміни нерівномірностей індикаторного крутного моменту і нерівномірностей ходу дизельного ДРЦ, отримані при дослідженні 4-циліндрових ДРЦ.

4. Дане теоретичне рішення може мати практичне застосування при роботі транспортних засобів зі значними періодами їх експлуатації на холостому ході і малих навантаженнях. Особливо важливим, на наш погляд, є продовження даного дослідження для його подальшого впровадження військовим відомством України, так як актуальність питання не викликає сумніву.

1. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 344 с. 2. Системи управління дизельними двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М.: ЗАО "КЖИ "За рулём", 2004. – 480 с. 3. Пат. 79657 С2 Україна, (2006) F 02 D 17/00, F 02 D 13/06. Система автоматичного регулювання потужності багатопотужного дизеля / А.З. Філіппов, О.А. Бешун (Україна). – № а 2005 06190. Заявл. 22.06.2005.; Опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10. 4. Anatoliy Filippov, Aleksey Beshun, Yuriy Gerasimchuk, Olga Gluhovska, Ludmila Evchenko. Динаміка дизельного ДРЦ (двигателя) с регулюванням потужності отключением отдельных рабочих циклов // MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – 2005, Т. 7. – С. 83-91. 5. Філіппов А.З., Бешун О.А., Топчій С.І. Математична модель динаміки багатопотужного дизельного двигуна з регулюванням потужності відключенням окремих робочих циклів (ДРЦ) // Науковий вісник Нац. аграрн. ун-ту. – Київ. – 2005. – Вип. 80. – С. 317-325. 6. Валеев Д.Х., Гергенредер В.А., Олесов И.Ю., Патрахальцев Н.Н. Возможность улучшения экономических и экологических свойств дизелей КамАЗ-740 отключением цилиндров и циклов на режимах холостых ходов и малых нагрузок // Двигателестроение, 1991. – №8-9. – С.62, 69.

Надійшла до редколегії 20.01.10

УДК 621. 396. 967

В.П. Долгушин, канд. техн. наук, доц.,  
І.В. Пампуха, канд. техн. наук, доц.,  
В.М. Лоза, здобувач

## ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ РЛС РТВ ЗА РОЗРІЗНЕННЯМ ГРУПОВИХ ЦІЛЕЙ "СКЛАДНОЇ" МОДЕЛІ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЗА АЛГОРИТМОМ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРАВДОПОДІБНОСТІ

*Проводиться аналітичне дослідження можливостей кутового розрізнення 2-х цілей, що перебувають в одному імпульсному об'ємі РЛС, у системі виявлення, що реалізує метод "високого" розрізнення за алгоритмом максимальної правдоподібності.*

*Ключові слова: кутове розрізнення, система виявлення.*

*Analytical investigation of possibilities of angular discrimination of 2 targets which are in one pulse volume of Radio Detection and Ranging equipment, in acquisition system, realising a method of high resolution on algorithm of maximum likelihood is made.*

*Keywords: angular discrimination, revealing system.*

**Постановка завдання.** Однією з найбільш складних завдань радіолокації цілей, навіть в умовах нескладної зовнішньої сигнальної – перешкодової обстановки (зокрема, порушення державної границі щільною групою з 2 ... 3 літаків), є розрізнення кожної цілі із складу **групової цілі** (ГРЦ), у якій інтервали між окремими літаками відповідають мінімально можливим з погляду безпеки польоту (орієнтовно 1,2 ... 1,5 швидкості цілі).

Поняття "складної" моделі ГРЦ має на увазі, в простішому випадку, групу з двох цілей, що не розрізняються за дальністю та кутом місця, а також з мінімальним

інтервалом за азимутом. Прикладами таких моделей побудови ГРЦ є: пари літаків з незначним зсувом за дальністю (меншим елемента розрізнення) і "трийка" літаків за схемою трикутника, у якій "відомі" літаки мають однакову дальність (ілюстрація моделей – рис.1). Оскільки лінійне розрізнення за азимутом для сучасних РЛС перевищує інтервал між окремими цілями при дальностях до цілі, більш 50 ... 70 км, то виконання завдання розрізнення вимагає застосування альтернативних методів кутового спектрального оцінювання, що дозволяють забезпечити так зване "високе" розрізнення

у порівнянні з релеєвським, тобто в межах променя | діаграми спрямованості (ДС) [1].

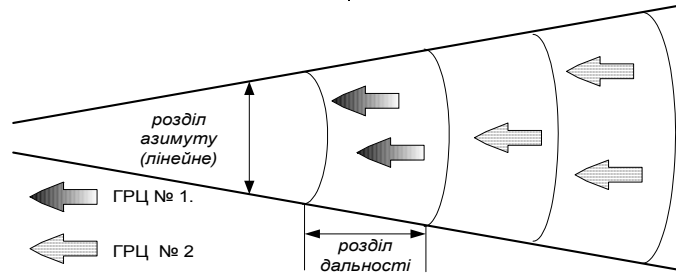


Рис. 1

Ці методи є адаптивними до вхідних даних, а основною операцією обробки (більшості алгоритмів) є обчислення кореляційної матриці (КМ) сигналів у прийомних каналах антенної решітки (АР). Кутові координати цілей при послідовному огляді зони добуваються шляхом **математичного сканування** за допомогою опорного просторового сигналу з наступним знаходженням положення максимумів.

Порівняльний аналіз усіх відомих методів "високого розрізнення" (С/В), представлений в [2], показує, що дотепер відсутній метод, що перевершує інші за сукупним показником ефективності. Тому для вирішення поставленого завдання обрано один з найпоширеніших і простих у технічній реалізації метод і алгоритм максимальної правдоподібності (МП), ідея якого запропонована Кейпоном.

Дослідженню характеристик методів С/В присвячена досить велика кількість публікацій (зокрема, [1,2]). У більшості з них аналіз заснований на умові незалежності сигналів, прийнятих від джерел випромінювання, що розрізняються. Найбільш близькою за характером поставленого завдання є публікація [4], у якій дається оцінка граничної ефективності методу Кейпона за виявленням та розрізненням шумових корельованих сигналів при апріорно відомому інтервалі за кутом між цілями.

Принципова відмінність поставленого в даній статті завдання полягає в структурі відбитих сигналів (імпульсні сигнали). Крім того, у цільовій настанові досліджень акцент робиться не на показниках якості виявлення, а

на аналізі тонкої структури результуючої пеленгаційної характеристики (її 1-ої і 2-ої похідних), яка є головною характеристикою можливостей роздільного виявлення цілей (при обов'язковому перевищенні сигналами порога виявлення).

При вирішенні завдання не визначена в явному вигляді ступінь кореляції прийнятих корисних сигналів різних цілей. Це пояснюється відсутністю обґрунтованих досліджень по даному питанню. Незважаючи на однотипність цілей, як вторинних випромінювачів, завжди відрізняються комплексні множники, що формують відбитий сигнал, так як діаграма зворотного вторинного випромінювання будь-якої реальної цілі є випадковою функцією, а ракурс опромінення цілей відрізняється. Із цього погляду слід очікувати досить високий ступінь кореляції відбитих сигналів, але не можна приймати її близькою до 1.

**Мета статті** – зробити аналітичну оцінку можливостей кутового розрізнення двох цілей у межах імпульсного об'єму РЛС при обробці сигналів за алгоритмом максимальної правдоподібності (МП).

**Основний зміст статті.** **Вирішальна функція** алгоритму МП для одномірної АР, що складається з  $N$  елементів, записується у вигляді:

$$W_p(\beta_0) = \frac{1}{x^H(\beta_0)R^{-1}x(\beta_0)}, \quad (1)$$

де  $x(\beta_0)$  – пошуковий вектор – рядок з елементами:

$$x_k(\beta_0) = \left[ \exp[j(k-1)2\pi(d/\lambda)\sin\beta_0] ; k = 1, \dots, N \right],$$

$\beta_0$  – напрямок пошуку, що задається опорним вектором,  $d/\lambda$  – відносний інтервал між елементами АР,  $N$  – знак ермітового спряження, індекс "р" у позначенні вирішальної функції (ліва частина) означає що алгоритм обчислює потужність сигналу на виході,  $R$  – кореляційна матриця (КМ) вихідних сигналів прийомних каналів АР.

Вектор  $x_0(\beta_0)$  визначає амплітудно-фазовий розподіл (АФР) у розкриванні АР і фізично відповідає характеристиці просторового фільтра (яким є АР) для відбитого сигналу. У цьому сенсі вихідний сигнал системи обробки при дії на вході сигналу  $Y$  визначається виразом:

$$u_{вих} = x^H(\beta_0)Y. \quad (2)$$

Визначимо складові цільової функції (1) при дії двох близьких за азимутом цілей, що створюють відбиті сигнали  $s_1$  і  $s_2$ .

Оцінне значення КМ при числі імпульсів пачки, що дорівнює  $M$ , визначається виразом:

$$R_{oc} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Y_i Y_i^H, \quad (3)$$

де  $Y_i$  – вектор – стовпець вихідних сигналів прийомних каналів АР.

Перетворений вираз КМ при досить великій кількості імпульсів  $M$  ( $\geq 10$ ) може бути виражений через АФР результуючого сигналу двох цілей  $u_p$ :

$$\tilde{R}_{oc} \approx p_w I + p_c u_p u_p^H, \quad (4)$$

де  $I$  – одинична матриця розміром  $N \times N$ ,  $p_w$ ,  $p_c$  – потужності шуму й сигналу в 1-му каналі АР,

$$u_p = (x_1^H + x_2^H)u_{c1}, \quad (5)$$

де  $x_1$ ,  $x_2$  визначають АФР для сигналів 1-ої і 2-ої цілей (як функції часу вище позначені  $s_1$ ,  $s_2$ ).

Використовуючи відому формулу множника ФАР при значенні  $d/\lambda = 0,5$ :

$$E(\theta) = \frac{\sin[0,5\pi N(\sin\theta - \sin\theta_0)]}{N \sin[0,5\pi(\sin\theta - \sin\theta_0)]},$$

запишемо необхідні для подальших розрахунків співвідношення:

$$E_{oi} = \frac{x_i^H x(\beta_o)}{N} = \frac{\sin[0,5\pi N(\sin\beta_o - \sin\beta_i)]}{N \sin[0,5\pi(\sin\beta_o - \sin\beta_i)]} \quad (6)$$

Вираз зворотної матриці при прийнятому наближенні  $R^{-1} \cong R_{oc}^{-1}$  після виконання операції зворотності модифікованої матриці [4] представимо в компактному вигляді:

$$R_{oc}^{-1} = p_w^{-1} \left( I - \frac{q u_p u_p^H}{1 + q u_p^H u_p} \right) \quad (7)$$

Вираз шуканої цільової функції при підстановці в (1) співвідношення (7) має вигляд:

$$W_p = p^{-1} \left( N - \frac{q |x^H(\beta_o) u_p|^2}{1 + E_{oo}} \right)^{-1} \quad (8)$$

Екстремальні значення функції  $H(\beta)$ , що представляють собою інформацію для виміру кутового положення цілей, визначаються з розв'язку рівняння:  $H'(\beta_0) = 0$ .

Висновки про можливість розрізнення сигналів двох цілей у межах ДС антени можуть бути зроблені з аналізу

$$A(0) = H''(0) = (E_{o1}'^2 + E_{o2}'^2 + E_{o1} E_{o1}'' + E_{o2} E_{o2}'') - (2E_{o1}' E_{o2}' + E_{o2} E_{o1}'' + E_{o1} E_{o2}'') \cos \Delta\psi = 0 \quad (11)$$

З аналізу рівняння (11) випливає, що граничні можливості алгоритму МП за кутовим розрізненням сильно корельованих сигналів, як і при класичному методі оцінки кута за "тонкою" структурою огинаючої пачки, зале-

де  $q = Nq_i$  – інтегральне відношення сигнал/шум сигналу ГРЦ при синфазному підсумовуванні вихідних сигналів каналів,

$$E_{oo} = u_p^H u_p = 2q(1 - E_{12} \cos \Delta\psi),$$

$\Delta\psi$  – різниця фаз сигналів різних цілей.

При достатньо сильній корельованості сигналів, відбитих від різних цілей, замість виразу (8) для аналізу граничних можливостей алгоритму МП за кутовим розрізненням, можна використовувати більш просту монотонно пов'язану з ним функцію:

$$H(\beta_o) = \frac{q |x^H(\beta_o) u_p|^2}{1 + E_{oo}} \quad (9)$$

Після підстановки (6) для  $i = [0, 1, 2]$  одержимо:

$$H(\beta_o) = \frac{qN^2(E_{o1} + E_{o2} - 2E_{o1}E_{o2} \cos \Delta\psi)}{1 + 2qN(1 - E_{12} \cos \Delta\psi)} \quad (10)$$

зу 2-ої похідної, що визначає характер основного екстремуму, з рівняння:

жать від ширини ДС, але при цьому залежать і від різниці початкових фаз сигналів.

На рис. 2 представлена залежність  $A(0) = f(\beta/\beta_{o,sp})$ . При розрахунках використані дані:  $\lambda = 5$  см,  $N = 200$ .

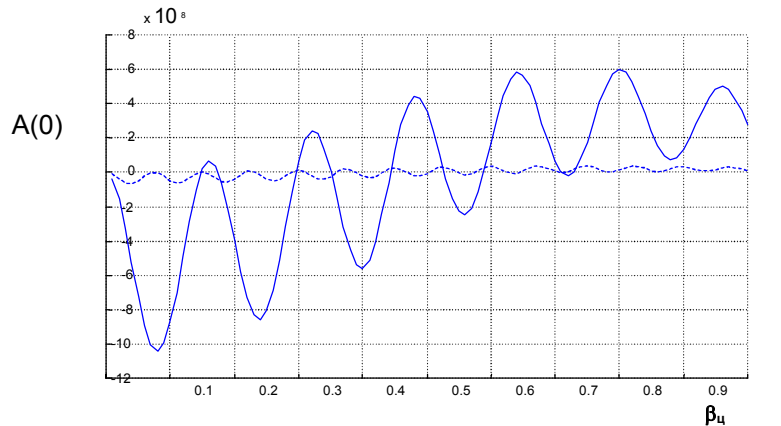


Рис. 2

1. Марпл мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. 2. Защита радиолокационных систем от помех ( состояние и тенденции развития ) . \ Под ред. А.И. Канашенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника , 2003. 3. Кейпон Дж. Пространственно-временной анализ с высоким разрешением. – ТИИЭР , т. 57, № 8 , 1969. 4. Бондаренко Б.Ф., Сашук И.Н., Тимчук В.Ю. Качество обнаружения и предельное разрешение коррелированных сигналов в обнаружителях на основе алгоритма Кейпона. // Радиозлектроника. – 2004. – №7. – С.46 — 51. 5. Воеводин В.В. Матрицы и вычисления. – М.: Наука , 1967.

Надійшла до редколегії 11.02.10

**Висновки з аналізу:**

1. Граничні можливості кутового розрізнення сигналів за алгоритмом МП залежать від зсуву початкових фаз відбитих сигналів.

2. Порізаний характер залежності  $A(0)$  означає, що алгоритм не забезпечує гарантований розв'язок завдання роздільного виявлення двох цілей при сильній кореляції сигналів, хоча можуть мати місце випадки, коли навіть при  $\Delta\beta \cong 0,1\beta_{\text{проБР}}$  сигнали розрізняються.

3. Уцілому слід зробити висновок, що при повністю корельованих сигналах двох цілей алгоритм МП втрачає властивість "високого" розрізнення.