
Сухенко Ю.Г., Муштрук М.М.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННИХ ЖИРІВ У ПАЛИВО

Наведені математичні моделі, що описують процес перетворення технічних тваринних жирів під дією спирту і каталізатора у дизельне біопаливо.

Ключові слова: математичне моделювання, метиловий ефір, переестерифікація, тваринний жир.

Сухенко Ю.Г., Муштрук М.М.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЖИРОВ В ТОПЛИВО

Приведены математические модели, описывающие процесс преобразования технических животных жиров под действием спирта и катализатора в дизельное биотопливо.

Ключевые слова: математическое моделирование, метиловый эфир, переэстерификация, животный жир.

Рецензент: д.т.н. Сухенко В.Ю., НУБіП

УДК 621.396.96.095.4

Тимошук О.М., Трофименко І.В., Шапран Ю.Є.

ФУНКЦІЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДВОАНТЕННИХ РАДІОМЕТРИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Проведено ґрунтовне дослідження функції невизначеності двоантенного радіометричного комплексу. Виявлено зміну форми функції невизначеності при переході від обробки вузькосмугових до надширокосмугових просторово-часових сигналів та надано фізичну інтерпретацію цій зміні. Доведено, що традиційні для активної радіолокації критерії широкосмуговості та надширокосмуговості не можуть бути використані у пасивній радіолокації. Отримані у статті результати можуть скласти основу розроблюваних відповідних критеріїв, які врахують класичне відношення ширини смуги до центральної частоти настройки приймача та геометрію антенної системи радіометричних комплексів.

Ключові слова: функція невизначеності, радіометричний комплекс, критерії, радіолокація.

Вступ. На сьогодні один з основних критеріїв за яким активні радіолокаційні системи розділяють на вузькосмугові, широкосмугові та надширокосмугові (НШС) є порівняння з порогом відношення ширини смуги ΔF робочих частот до центральної частоти f_0 високочастотної частини приймача. Зокрема, вважається [1, 2], що радіолокаційні системи, які задовольняють умові $\frac{\Delta F}{f_0} \leq 0,01$ – є вузькосмуговими, умові $0,01 < \frac{\Delta F}{f_0} < 0,2$ – є широкосмуговими і умові $0,02 < \frac{\Delta F}{f_0} < 2$ – є надширокосмуговими. Таке розподілення, як показано нижче, не може бути перенесено на класифікацію радіометричних комплексів (РМК).

У статті не уточнюються відомі критерії, а розробляються нові критерії класифікації РМК, засновані на аналізі форми функції невизначеності (ФН) РМК.

Дослідження ФН РМК. При дослідженні ФН РМК з M елементними антенними системами слід враховувати, що вона значною мірою залежатиме від геометрії їх просторового положення. Розглянемо для прикладу пасивну радіометричну систему апертурного синтезу [3], ФН якої запишемо наступним чином

$$\Psi = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^M \int_{-\infty}^{\infty} A_{\text{eff}} \left(f, \mathcal{G} - \mathcal{G}_0 \right) e^{j2\pi f (\mathcal{G} - \mathcal{G}_0) \Delta a_{ij} c^{-1}} df, \quad (1)$$

де $A_{\text{eff}} \left(f, \mathcal{G} - \mathcal{G}_0 \right)$ – ефективна площа антени, f – частота, \mathcal{G} – вектор напрямних косинусів, Δa_{ij} – відстань між фазовими центрами i -ї та j -ї антен, $i, j = \overline{1, M}$, M – число елементів у антенній системі (вважається, що всі антени однакової форми та розміру).

При записі ФН РМК (1) враховано, що автокореляційна обробка сигналів відсутня (лише канали з крос кореляційною обробкою).

На рівні з ФН РМК (1) для дослідження властивостей РМК в радіоастрономічних задачах аналізують функцію просторово-спектральної чутливості (ФПСЧ), яка пов'язана з ФН двовимірним перетворенням Фур'є по кутовим координатам, тобто

$$\begin{aligned} \Lambda = F_{2D, \mathcal{G}} \{ \Psi \} &= \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^M \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_{\text{eff}} \left(f, \mathcal{G} - \mathcal{G}_0 \right) e^{j2\pi f (\mathcal{G} - \mathcal{G}_0) \Delta a_{ij} c^{-1}} df e^{-j2\pi f (\mathcal{G} - \mathcal{G}_0) \Delta a'_{ij} c^{-1}} d\mathcal{G} = \\ &= \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^M \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{R}_A \left(f, \Delta a_{ij} - \Delta a'_{ij} \right) e^{-j2\pi f \mathcal{G}_0 (\Delta a_{ij} - \Delta a'_{ij}) c^{-1}} df, \end{aligned} \quad (2)$$

де $F_{2D, \mathcal{G}} \{ \cdot \}$ – операторна форма запису двовимірного перетворення Фур'є по змінній \mathcal{G} , $\mathcal{R}_A \left(f, \Delta a_{ij} - \Delta a'_{ij} \right)$ – автокореляційна функція амплітудно-фазового розподілення поля в апертурах i -ї та j -ї антен, як функція частоти та різниці баз.

Дослідимо ФН двоантенних РМК і їх ФПСЧ.

ФН РМК при $M = 2$. Залежність від бази. Геометрії розміщення двох антен з різними базами показано на рис. 1.а– 3.а. Відповідні їм зображення ФН РМК наведені на рис. 1.б–3.б, а зображення ФПСЧ – на рис 1.в– 3.в. При моделюванні рис. 1–3 прийнято значення $\frac{\Delta F}{f} = 0,2$, що відповідає класичному представленню границі надширокопосмуговості.

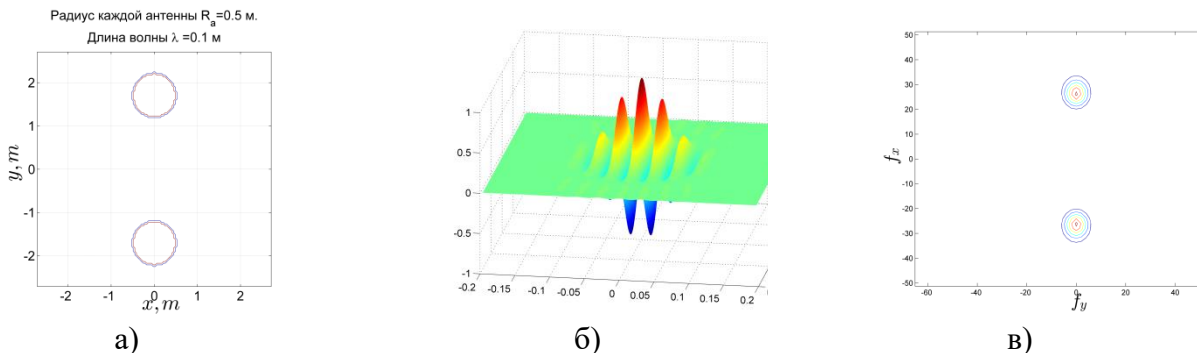


Рис. 1. База 3,41 м

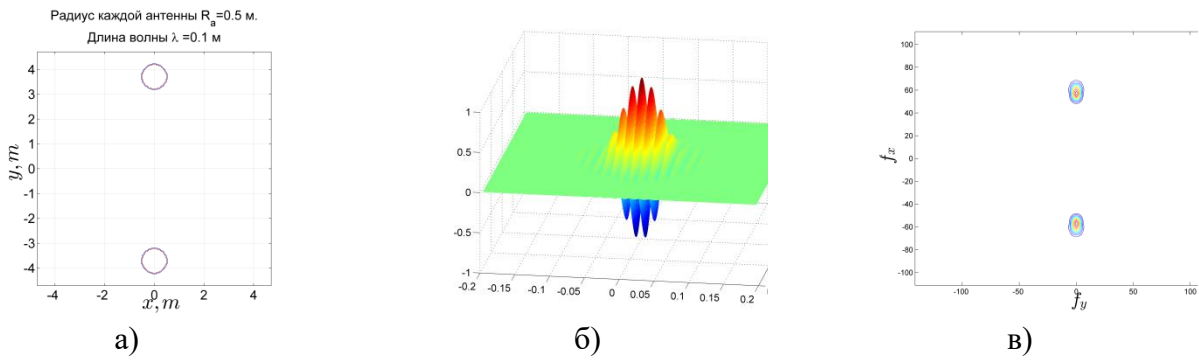


Рис. 2. База 7,41 м

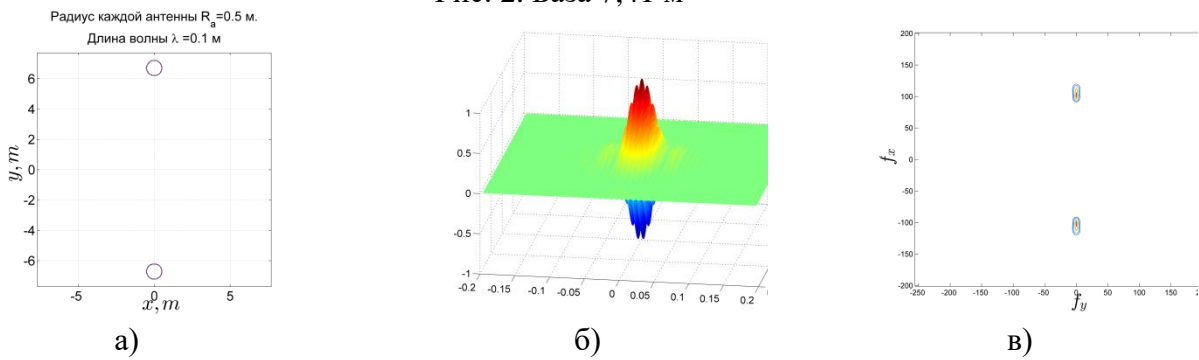


Рис. 3. База 13,41 м

З аналізу рис. 1–3 слідує, що при фіксованому відношенні $\frac{\Delta F}{f} = 0,2$ розширення області просторової спектральної чутливості відбувається за рахунок розширення бази антени. Також з цих графіків слідує, що РМК у різних просторових напрямках та при різних геометріях антенної системи може проявляти чи не проявляти властивості надширокосмуговості. Зокрема, з рис. 1 слідує, що РМК з двоантенною системою (база 3,41 м) не проявляє властивостей широкосмуговості. У той же час, збільшуючи базу антенної системи (див. рис. 2–5) спостерігається і розширення (поки що тільки вздовж просторових частот f_x) області просторової спектральної чутливості. Це має важливе значення і призводить до нового ефекту «модуляція синком» ФН РМК, яке виникає при обробці сигналів у НШС РМК і не присутнє при обробці у виконанні умови КМН.

Ефект «модуляції синком» ФН НШС РМК. Пояснити явище «модуляції синком» ФН РМК можна на прикладі аналізу січних ФН РМК (див. рис. 1.б– 3.б) площиною (ϑ_x, θ, z) . Ці січні наведені на рис. 4,5.

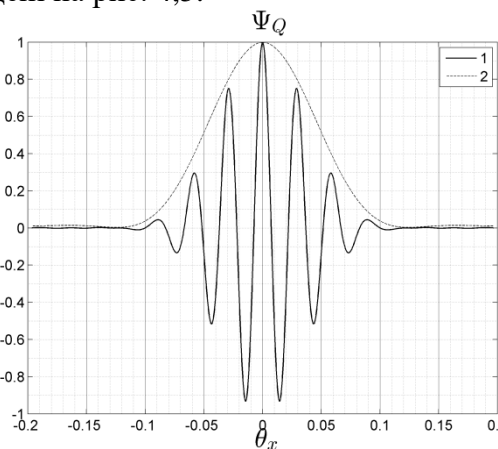


Рис. 4. Січна ФН, наведеної на рис. 1 – 1, огинаюча ФН елементарної антени – 2

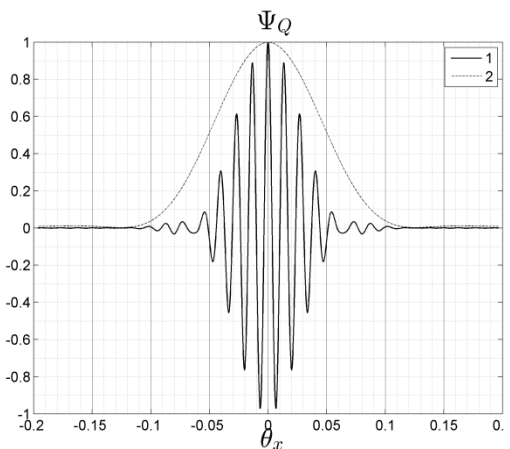


Рис. 5. Січна ФН, наведеної на рис. 2 – 1, огинаюча ФН елементарної антени – 2

З аналізу рис. 4,5 слідує, що при фіксованому відношенні $\frac{\Delta F}{f} = 0,2$ і збільшенні бази спостерігається перехід до надширокосмуговості, який супроводжується не тільки підвищенням роздільної здатності по кутовим координатам, але й «модуляцією синком» ФН РМК. Цю умову приймемо не за достатню, а доповнимо її, виходячи з аналізу наступних досліджень.

ФН РМК при $M = 2$. Залежність від відношення $\frac{\Delta F}{f}$ при фіксованій базі. Дослідимо залежність ФН РМК з двоелементною антенною системою (база фіксована, геометрія антени показана на рис. 1.а) від відношення $\frac{\Delta F}{f}$. На рис. 6 показані тривимірні зображення ФН РМК і двовимірні зображення їх січних площинами $(\theta_x, 0, z)$.

З аналізу рис. 5, 6 слідує, що при фіксованій базі можливо реалізувати НШС РМК розширенням смуги пропускання при незмінній центральній частоті настройки приймача, що еквівалентно $\frac{\Delta F}{f_0} = var$.

Слід зазначити, що огинаюча ФН елементарної антени при збільшенні $\frac{\Delta F}{f}$ не описується квадратом функції Бесселя першого роду нульового порядку $J_0(\cdot)$, яка характерна для ФН елементарних антен з круглою апертурою при обробці вузькосмугових сигналів. Цей ефект «зміни згинаючої ФН елементарної антени» пояснюється у нижче.

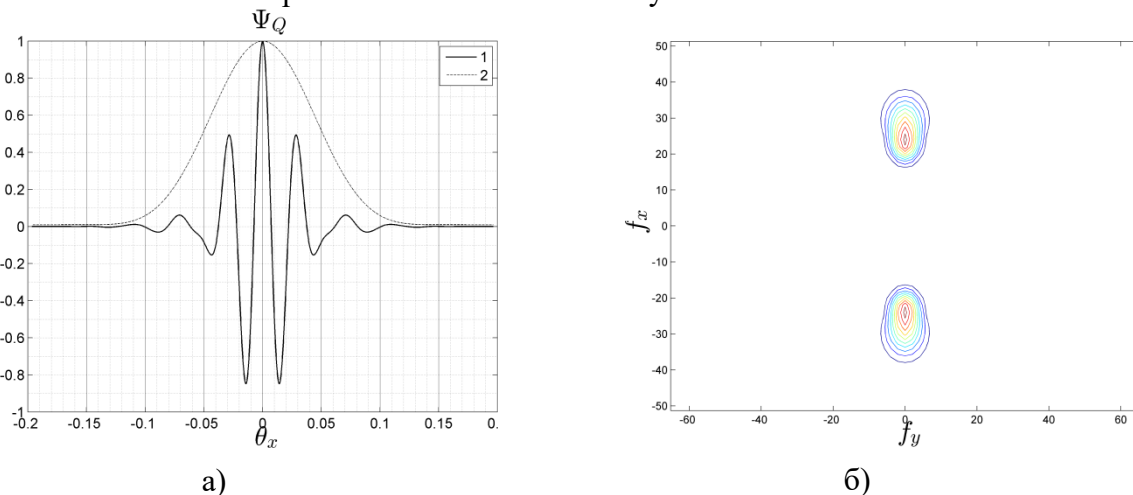


Рис. 6. Січна ФН двоантенного РМК при $\frac{\Delta F}{f_0} = 0,5$ – 1.а, огинаюча ФН елементарної антени – 2.а, проекція ФПСЧ на площину $(f_x, 0, f_y)$ – б

Дослідження фізичної сутності ефекту «зміни згинаючої ФН елементарної антени» у антенній системі НШС РМК. Проаналізуємо вигляд огинаючих, показаних кривою 2 на рис. 6.а, 7 При збільшенні $\frac{\Delta F}{f_0}$ огинаюча майже зберігає свою поведінку при значеннях вище рівня 0,5 і суттєво змінюється у діапазоні амплітуд від 0 до 0,5.

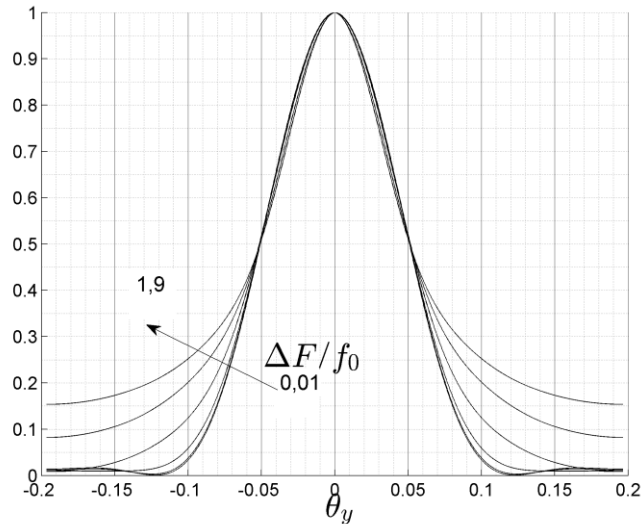


Рис. 7. Динаміка зміни згинаючої елементарної антени при відношенні $\Delta F / f_0 = [0,01; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 1,9]$

Пояснити це явище можна аналізуючи ФПСЧ. Виходячи з (2), ФПСЧ і ФН РМК пов'язані двовимірним перетворенням Фур'є по кутовим координатам. Зважаючи на лінійність цього перетворення та можливість факторизації ФПСЧ по просторовим частотам f_x, f_y можна довести, що зміна огинаючої елементарної антени при обробці НШС сигналів визначається усередненням огинаючих, отриманих перетворенням Фур'є січних ФПСЧ на різних частотах, як це показано на рис. 8.

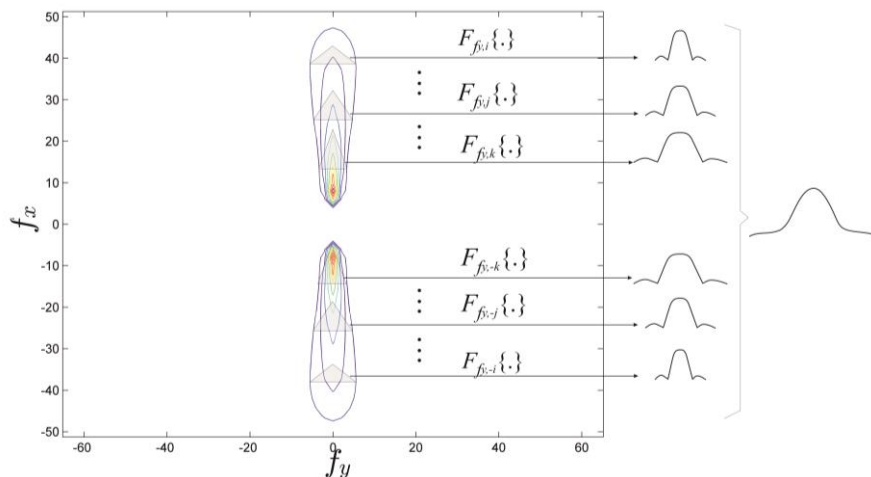


Рис. 8. Пояснення усереднення огинаючих ФН елементарної антени

На рис. 8: $F_{f_y,i}(\cdot)$ – оператор перетворення Фур'є на i -й просторовій частоті, який переводить функцію чутливості з просторово-спектральної області у огинаючу ФН у області кутових координат; фігурна дужка } відповідає усередненню огинаючих.

Слід зазначити, що для вузькосмугових процесів такого усереднення не спостерігається і огинаюча має чітко виражені мінімуми в області просторових значень. Цей факт може бути врахований при визначенні умов надширокосмуговості РМК.

Висновки. Проведено ґрунтовне дослідження ФН двоантенного РМК та виявлено ефекти, які виникають при зміні форми ФН за рахунок переходу від обробки вузькосмугових до надширокосмугових сигналів. Показано, що критерії вузькосмуговості, широкосмуговості

та надширокопосмуговості, характерні для активної радіолокації не можуть бути безпосередньо використані у пасивній. Надано фізичну інтерпретацію таких ефектів, як «модуляція синком» та «зміна згинаючої ФН елементарної антени».

Наразі, коли стрімко розвивається теорія надширокопосмугової пасивної радіолокації, виникла необхідність до визначення вказаних критеріїв на випадок багатоантенних РМК. Отримані у статті результати є підґрунтям для майбутнього обґрунтування таких критеріїв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Астанин, Л. Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений / Л. Ю. Астанин, А. А. Костылев. – М. : Радио и связь, 1989. – 192 с.
2. Лазоренко, О. В. Новые параметры для описания сверхширокополосных сигналов и процессов / О. В. Лазоренко // Радиофизика и электроника. – 2008. – Т. 13, № 3. – С. 512–517.
3. Statistical Synthesis of Multiantenna Ultrawideband Radiometric Complexes / V. K. Volosyuk, V.F. Kravchenko, V.V. Pavlikov, V.I. Pustovoit // Doklady Physics, 2016, Vol. 61, No. 4, pp. 179–183.
4. Тимошук Е.Н. Потенциальные характеристики двухантенных сверхширокополосных систем апертурного синтеза / Е. Н. Тимошук // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016. – № 3(77). – С.14–19.
5. Tymoshchuk O.M. Mathematical Models of Stochastic Radiothermal Signals/ О.М. Тимошук // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 5(102). – С.65–72.
6. Nguyen, Van Kiem Analytical models of stochastic radiothermal signals/ Kiem Nguyen Van, K. N. Nezhalskaya, O. M. Tymoshchuk // Applied radio-electronic.– 2016.– Vol. 15.– No. 2.– P. 105–109.

Тимошук О.М., Трофименко И.В., Шапран Ю.Е.

ФУНКЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДВУХАНТЕННЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Проведено детальное исследование функции неопределенности двуантенного радиометрического комплекса. Обнаружено изменение формы функции неопределенности при переходе от обработки узкополосных к сверхширокополосным пространственно-временным сигналам и дана физическая интерпретация этим изменениям. Доказано, что традиционные для активной радиолокации критерии широкополосности и сверхширокополосности не могут быть использованы в пассивной радиолокации. Полученные в статье результаты могут составить основу разрабатываемых соответствующих критериев, которые учтут классическое отношение ширины полосы к центральной частоте настройки приемника и геометрию антенной системы радиометрических комплексов.

Ключевые слова: функция неопределенности, радиометрический комплекс, критерии, радиолокация.

O. Tymoshchuk, Y. Trofymenko, Y. Shapran

AMBIGUITY FUNCTION TWO-ELEMENTS ANTENNA RADIOMETRIC SYSTEMS

Ambiguity function of the radiometric complex with two-elements antenna system is studied. A change of the ambiguity function form in the transition from narrowband to ultra-wideband spatio-temporal signal processing is obtained and a physical interpretation of these changes are given. It is proved that the traditional narrowband, wideband and ultra-wideband criteria using in active radar can not be used in a passive radar. The resulting article results can form the basis to develop appropriate criteria which take into account the classical relationship of bandwidth to the central receiver tuning frequency and the geometry of the antenna system radiometric complexes.

Keywords: ambiguity function, radiometric complex criteria radar.

Рецензент: д.т.н., професор Павліков В.В.