

Р.М. Жовноватюк, к.т.н., пров.н.с.

*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету*

### СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ РІЗНИЦІ ДОПЛЕРІВСЬКИХ ЗСУВІВ ЧАСТОТ У ПАСИВНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

*У статті розроблено спосіб визначення відношення різниці доплерівських зсувів частот, який ґрунтується на вимірюванні тривалості імпульсів, що отримані в результаті обробки сигналів, прийнятих пунктами пасивної багатопозиційної радіотехнічної системи.*

**Постановка проблеми.** Важливим завданням моніторингу радіоелектронної обстановки є визначення параметрів джерел випромінювання (ДВ) електромагнітних сигналів. Зокрема велика увага приділяється оцінюванню координат та параметрів руху повітряних об'єктів. З цією метою можуть бути використані як активні, так і пасивні радіотехнічні системи (РТС) добування інформації. Для пасивних РТС, які доцільно розглядати в контексті вирішення військових завдань, пріоритетним вважається [1] застосування комбінованих методів визначення місцеположення ДВ, серед яких широкого розповсюдження набув кутомірно-різницево-далекомірний метод. Саме його використання дозволяє зменшити кількість пунктів прийому сигналів і зберегти при цьому необхідний рівень точності оцінювання параметрів ДВ. Суттєвим недоліком кутомірної складової методу є необхідна наявність у складі РТС гостроспрямованих антенних систем, що може призводити до появи похибок другого роду (пропуск цілі) [2].

Вказаний вище недолік можна усунути шляхом залучення у процесі оцінювання параметрів додаткових джерел інформації про стан ДВ, а саме при сумісному використанні часових та частотних параметрів прийнятих сигналів для визначення місцеположення та лінійної швидкості ДВ. У літературі [3–5] розглянуто методи визначення пасивними РТС місцеположення та радіальної швидкості ДВ, але відзначається необхідність застосування рухомого пункту прийому, що досить складно виконати, враховуючи структуру сучасних військових багатопозиційних радіотехнічних засобів. При цьому альтернативні способи використання частотних параметрів, без рухливих пунктів прийому, у літературі розглянуто недостатньо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [6] розроблено методику визначення місцеположення ДВ, а в [7] розглянуто спосіб оцінювання лінійної швидкості повітряного об'єкта, обидва підходи ґрунтуються на комплексному використанні часових та частотних параметрів прийнятих сигналів. Одним із завдань, які при цьому необхідно вирішити, є оцінка відповідності виміряного відношення доплерівських зсувів частот із розрахованим відношенням різниць напрямних косинусів вектора швидкості ДВ. У [8] показано, що використання відомих [9, 10] методів прямого вимірювання доплерівських зсувів частот, за умови невизначеності несучої частоти сигналу, не забезпечує необхідного рівня точності оцінювання частотних параметрів прийнятих сигналів.

Таким чином, **метою** статті є розробка альтернативного способу визначення відношення різниці доплерівських зсувів частот.

**Викладення основного матеріалу.** Нехай комплекс радіоелектронної розвідки має у своєму складі три пункти прийому наземного базування А, В, С. Задамо прямокутну систему координат, як показано на рисунку 1.

Необхідно визначити відношення різниці доплерівських зсувів частот за формулою [2]:

$$K = \frac{f_1 - f_2}{f_1 - f_3}, \quad (1)$$

де  $f_1, f_2, f_3$  – частоти прийнятих РТС сигналів у пунктах А, В, С відповідно.

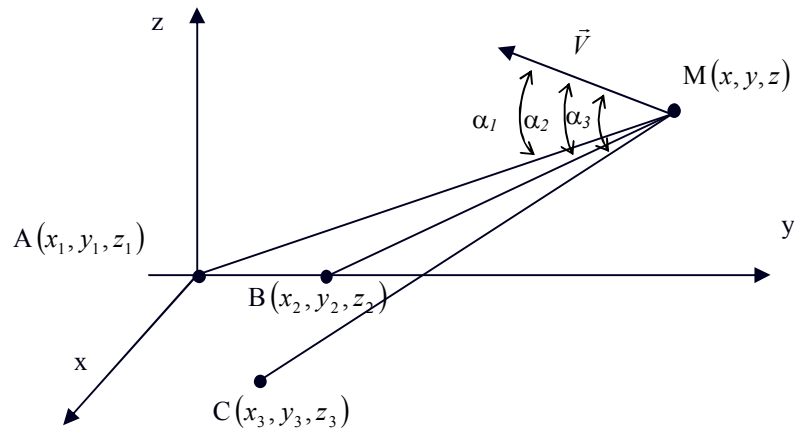


Рис. 1. Положення ДРВ в дносно пункт в прийому РТС

Розглянемо випадок, коли ДРВ випромінює сигнал вигляду:

$$U(t) = U_0 \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0).$$

Тоді в першому пункті прийому буде прийнято сигнал:

$$U_1(t) = U_1 \cos(2\pi f_1 t + \varphi_0),$$

а в другому –

$$U_2(t) = U_2 \cos(2\pi f_2(t + \Delta t) + \varphi_0).$$

Прийняті сигнали подамо на підсилювач-обмежувач (ПО) для вирівнювання їх амплітуд та перетворення на послідовність прямокутних імпульсів (рис. 2, 3).

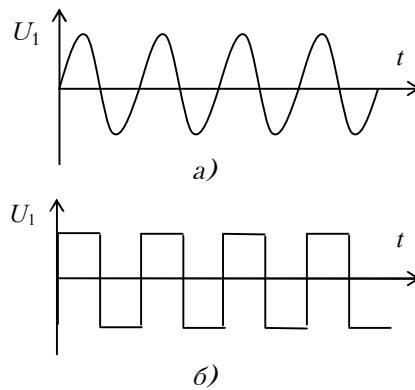


Рис. 2. Сигнал, прийнятий першим пунктом на вход (а) та на виход ПО (б)

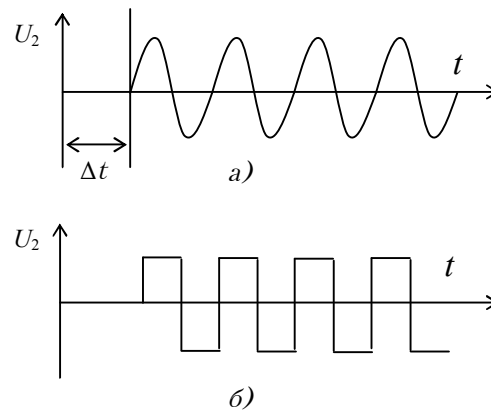


Рис. 3. Сигнал, прийнятий другим пунктом на вход (а) та на виход ПО (б)

Послідовність прямокутних імпульсів, отриманих у результаті обробки сигналу, прийнятого другим пунктом прийому, інвертується і подається на пристрій підсумовування ( $\Sigma$ ). Імпульси від першого пункту прийому затримуються через лінію затримки (ЛЗ) на час  $\Delta t$  і також подаються на пристрій підсумовування (рис. 4).

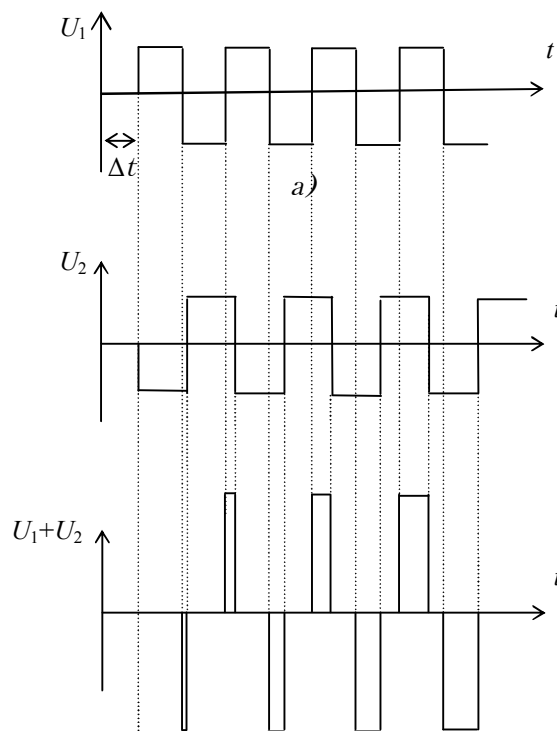


Рис. 4. Сигнали на вход (а) та на виход пристрою підсумовування

Після підсумовування сигналів з отриманої послідовності різнополярних імпульсів виділимо тільки позитивні імпульси та виміряємо їх тривалість вимірювачем тривалості імпульсів (ВТІ) (рис. 5).

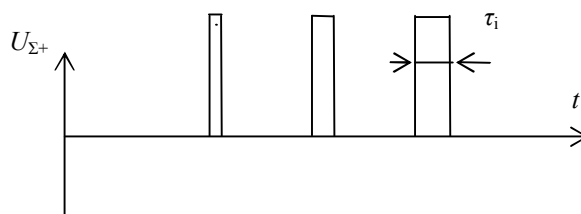


Рис. 5. Видлення позитивних імпульсів з виходу підсумовуючого пристрою

Тривалість отриманих імпульсів буде визначатися за такою формулою:

$$\tau_i = i(T_2 - T_1), \quad (2)$$

де  $\tau_i$  – тривалість імпульсу;  $i$  – порядковий номер імпульсу;  $T_1, T_2$  – період першого та другого сигналів відповідно.

Відомо [11], що період може бути виражено через частоту сигналу:

$$T_1 = \frac{1}{f_1}, T_2 = \frac{1}{f_2}. \quad (3)$$

Переписавши (2) з урахуванням (3) та провівши елементарні перетворення, отримаємо такий вираз:

$$\tau_i = i \left( \frac{f_1 - f_2}{f_1 f_2} \right). \quad (4)$$

Обробивши сигнали від ДРВ, прийняті третім та першим пунктами РТС, відповідно до описаного вище підходу, можна одержати послідовність імпульсів, тривалість яких буде визначатися за формулою:

$$\tau_i^* = i \left( \frac{f_1 - f_3}{f_1 f_3} \right). \quad (5)$$

У пристрої розрахунку (ПР) визначимо відношення вимірної тривалості імпульсів (4) та (5):

$$\frac{\tau_i}{\tau_i^*} = \frac{f_1 - f_2}{f_1 - f_3} \frac{f_3}{f_2}. \quad (6)$$

Оскільки другий множник (6):

$$\frac{f_3}{f_2} = \frac{c - v \cdot \cos \alpha_3}{c - v \cdot \cos \alpha_2} \approx 1,$$

то можна записати:

$$K = \frac{f_1 - f_2}{f_1 - f_3} \approx \frac{\tau_i}{\tau_i^*}. \quad (7)$$

Отже для визначення коефіцієнта  $K$  необхідно за вказаною послідовністю провести обробку прийнятих сигналів, виміряти тривалість відповідних за порядком наступності імпульсів та розрахувати їх відношення.

Структурна схема вимірювача відношення різниці доплерівських зсувів частот сигналів, прийнятих пунктами РТС, на дано на рисунку 6.

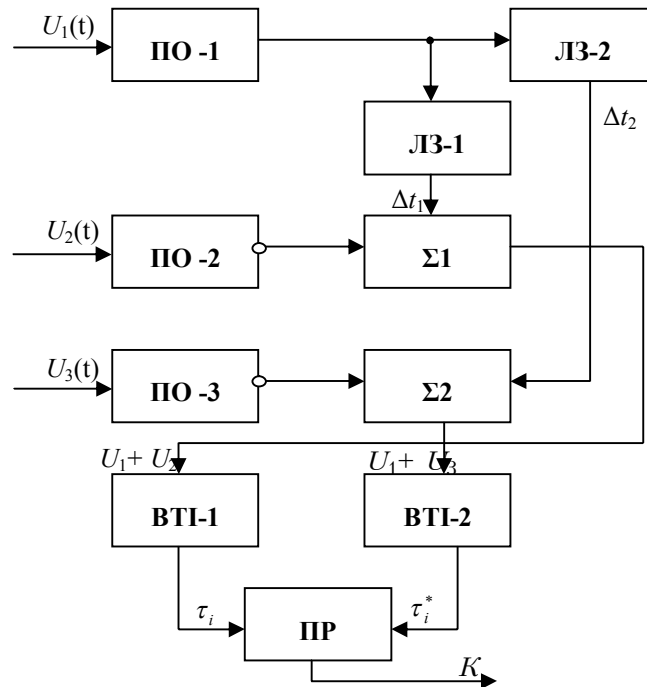


Рис. 6. Структурна схема вимірювача відношення різниці доплерівських частот

Запропонований спосіб дозволяє розраховувати коефіцієнт  $K$  і в мобільних комплексах радіомоніторингу з порівняно невеликими базами.

Так для сигналів з частотою в 100 кГц тривалість імпульсів, які необхідно виміряти, досягатиме 5 мкс. Наприклад, станція радіотехнічної розвідки “КОЛЬЧУГА-М” [12] здатна вимірювати тривалість імпульсів з похибкою до 0,5 мкс, що робить цілком можливим використання запропонованої методики в комплексі з трьох таких станцій. Разом з цим сучасні методи визначення часових інтервалів дозволяють із значно кращою точністю вимірювати тривалості імпульсів [9], що вказують на доцільність та перспективність використання розробленого способу для визначення параметрів джерел випромінювання пасивними системами радіомоніторингу.

На рисунку 7 показано залежність коефіцієнта складності аналізатора тривалості імпульсів від точності її вимірювання  $\Delta\tau$  [9].

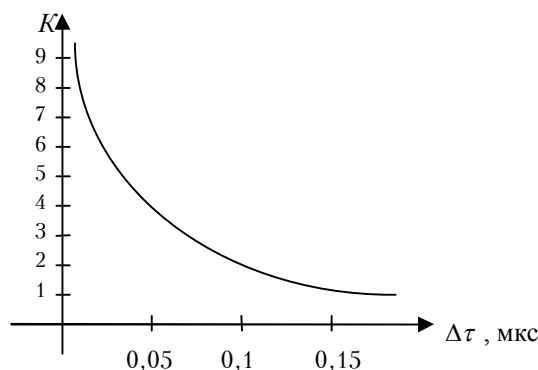


Рис. 7. Залежність коефіцієнта складності аналізу тривалості імпульсу в відношенні до точності вимірювання

При зменшенні похибки вимірювання, наприклад, від 0,1 до 0,025 мкс, апаратура ускладнюється приблизно в десять разів. У свою чергу граничне значення тривалості імпульсу, що може бути виміряне, визначає граничну частоту, на якій можливе використання запропонованого способу. Ця залежність показана на рисунку 8.

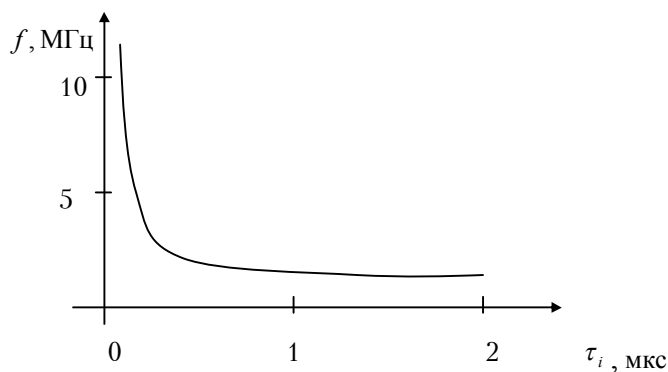


Рис. 8. Залежність граничної частоти від точності вимірювання тривалості імпульсів

У таблиці 1 надано значення напрямних коефіцієнтів, які розраховано для різних умов руху ДРВ, за точно виміряними значеннями частот прийнятого сигналу  $K_0$  (розрахунки  $K_0$  проводились за ідеалізованих умов шляхом моделювання на ПЕОМ) та запропонованим способом  $K$ .

Таблиця 1

Значення напрямних коефіцієнтів

$V$ , км/г	500	1000	1500	2000
$R$ , км;	100	300	300	100
$h$ , км	1	10	10	20
$\psi^0$	10	20	40	60
$K_0$	2,9686845334	2,0712633137	71,1197974328	82,958856185
$K$	2,9686845122	2,0712633053	71,1197541573	82,958729497
$K_0 - K$	$2,121 \times 10^{-8}$	$8,401 \times 10^{-9}$	$4,328 \times 10^{-5}$	$1,267 \times 10^{-4}$

Отриманні результати підтверджують можливість використання запропонованого способу для визначення відношення різниці доплерівських зсувів частот.

**Висновки.** У статті розроблено спосіб визначення відношення доплерівських зсувів частот у пасивних багатопозиційних радіотехнічних системах, який ґрунтується на вимірюванні тривалості імпульсів, отриманих у результаті обробки прийнятих корисних сигналів. Розробка даного способу відкриває шлях до практичної реалізації методів вимірювання координат та параметрів руху повітряних об'єктів з комплексним використанням часових та частотних параметрів прийнятих від ДРВ сигналів.

#### Список використаної літератури:

1. Довідник з протиповітряної оборони / *А.Я. Торочин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник та ін.* – К. : МО України ; Х. : ХВУ, 2003. – 368 с.
2. *Жовноватюк Р.М.* Визначення параметрів рухомих джерел випромінювання пасивними системами радіомоніторингу / *Р.М. Жовноватюк* // зб. наук. праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2007. – № 8. – С. 72–80.
3. Радиотехнические системы : учеб. пособие / *Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов и др.* – М. : Высшая школа, 1990. – 496 с.
4. *Караваяев В.В.* Статистическая теория пассивной локации / *В.В. Караваяев, В.В. Сазонов.* – М. : Радио и связь, 1987. – 270 с.
5. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация / *В.С. Черняк.* – М. : Радио и связь, 1993. – 416 с.
6. *Сащук І.М.* Методика визначення місцеположення рухомих об'єктів / *І.М. Сащук, Р.М. Жовноватюк* // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 170–174.
7. *Сащук І.М.* Методика визначення модуля лінійної швидкості джерела радіоелектронного випромінювання пасивною системою радіомоніторингу / *І.М. Сащук, Р.М. Жовноватюк, С.І. Болобан* // Вісник ЖДТУ. – 2011. – № 1 (56). – С. 72–74.
8. *Кондратьев В.М.* Многопозиционные радиотехнические системы / *В.М. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков.* – М. : Радио и связь, 1986. – 264 с.
9. *Смирнов Ю.А.* Радиотехническая разведка / *Ю.А. Смирнов.* – М. : Воениздат, 2001. – 456 с.
10. *Меерсон А.М.* Радиоизмерительная техника / *А.М. Меерсон.* – 3-е изд. – Л. : Энергия, 1978. – 408 с.
11. Справочник по основам радиолокационной техники / *А.М. Педак, П.И. Баклашов и др.* ; под ред. *В.В. Дружинина.* – М. : Воениздат, 1967. – 768 с.
12. Устройство, эксплуатация и ремонт станций и комплексов РТР. РТС «Кольчуга» / *Г.И. Коваленко, Ю.Г. Базь, Г.Н. Конев и др.* – К. : ВИРТУ ПВО, 1992. – 192 с.

ЖОВНОВАТЮК Руслан Михайлович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– розробка алгоритмів обробки інформації в радіотехнічних системах різного призначення.

Стаття надійшла до редакції 07.05.2012