

Г. В. Певцов,

*доктор технічних наук, професор,
заступник начальника Харківського університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба з наукової роботи,*

А. Я. Яцуценко,

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник Наукового центру
Повітряних Сил Харківського університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,*

М. Ф. Пічугін,

*кандидат військових наук, професор, провідний науковий
співробітник Наукового центру Повітряних Сил
Харківського університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба,*

Д. В. Карлов,

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідного відділу Наукового центру
Повітряних Сил Харківського університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба,*

Ю. В. Трофименко,

*науковий співробітник Наукового центру Повітряних Сил
Харківського університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба*

Теоретичні основи новітніх технологій побудови радіолокаційних систем

Викладається альтернативний варіант енергетичної теорії виявлення й оцінювання параметрів радіосигналів, розробленої на підставі врахування закону збереження енергії та байєсівської безумовної оптимізації статистичних рішень. Енергетичне виявлення радіосигналу – це пошук інтервалу часу, де сумарна енергія сигналу та шуму відносно усередненої енергії внутрішнього шуму перевищує поріг виявлення із заданими якісними показниками.

Загальна постановка проблеми, аналіз останніх досягнень та публікацій. За сучасних умов проведення швидкоплинних повітряно-наземних операцій з використанням останніх досягнень інформаційних технологій та інтегрованих систем зброї із широким застосуванням орбітальних систем різного призначення постає актуальне питання отримання повної вірогідної інформації про плинний повітряно-наземний стан угруповання супротивника за кількома високоточними вимірами з метою швидкого розпізнавання його задуму на ведення бойових дій.

З розвитком нових цифрових технологій, коли стала можливою статистична обробка радіолокаційної інформації на інтервалах часу, рівних періоду слідування зондуючих сигналів, доцільною є розробка алгоритмів виявлення слабких відбитих від цілей радіолокаційних сигналів при плинній оцінці статистичних характеристик випадкового процесу як в однопозиційних, так і в багатопозиційних радіолокаційних системах (БП РЛС).

На основі узагальнення досліджень енергетичного підходу до виявлення й оцінювання параметрів радіосигналів ставиться завдання знайти можливості практичного використання розроблених технологій для побудови як економічних наземних і повітряних, так і для орбітальних радіолокаційних систем.

Техніко-економічні показники радіолокаторів різноманітного базування повинні забезпечити техніко-економічні переваги від упровадження нових технологій порівняно з найкращими існуючими вітчизняними й зарубіжними аналогами. Таку можливість дасть застосування нового напряму досліджень у радіолокації. Розгляньмо основні особливості енергетичного підходу.

У рамках закону збереження енергії та байєсівської статистичної теорії розглядається новий підхід до процесу виявлення радіосигналів на фоні внутрішніх шумів приймача – за енергетичним критерієм.

У зв'язку із цим виникла необхідність розвитку відомої теорії виявлення радіосигналів та оцінювання їх параметрів на фоні внутрішніх шумів і активних маскуючих перешкод. На відміну від класичного підходу, який ґрунтується на критерії мінімуму середнього ризику й використовує відношення правдоподібності як відношення щільності ймовірності сумісного розподілу амплітуд радіосигналу і внутрішнього шуму радіоприймача до щільності ймовірності розподілу амплітуд внутрішнього шуму, запропоновано врахувати закон збереження енергії шляхом використання енергетичного відношення правдоподібності як відношення щільності ймовірності розподілу сумарної енергії радіосигналу та шуму до щільності ймовірності розподілу енергії шуму. Така постановка задачі враховує закон збереження енергії та забезпечує можливість виявлення радіосигналів за енергетикою співвимірних або менших за енергетику внутрішніх шумів. Використання відношення щільності ймовірності розподілу енергії сумарного радіосигналу та шуму до щільності ймовірності розподілу енергії шуму

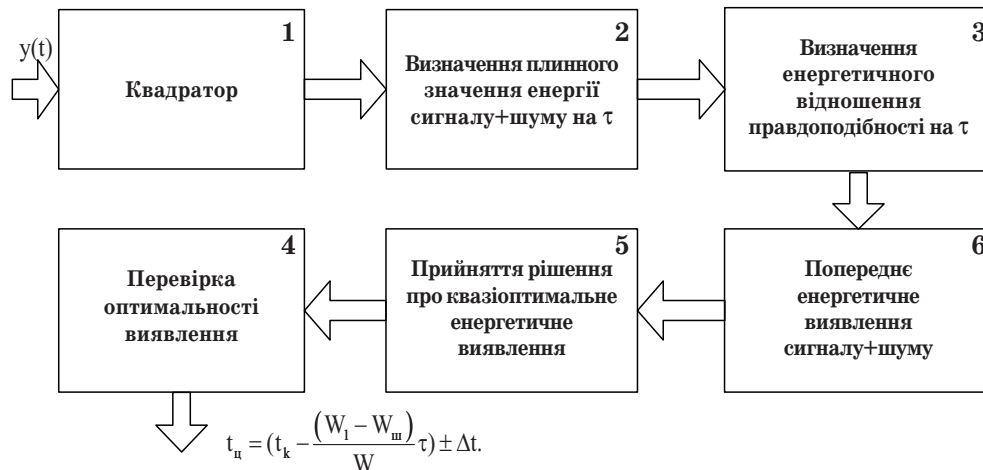


Рис. 1. Алгоритм оптимального послідовного енергетичного виявлення радіосигналів

уможливило здійснення байєсівської статистичної оптимізації процесу виявлення. Байєсівський підхід вимагає використання всіх апріорних даних щодо засобу виявлення та умов його застосування й дає змогу на основі апостеріорного статистичного аналізу випадкового процесу прийняти оптимальне рішення про виявлення радіосигналу.

Мета статті – розробка методу збільшення дальності виявлення цілей при даному потенціалі радіолокатора (або зменшення його потенціалу для заданої дальності виявлення).

Постановка задачі та виклад матеріалів дослідження. Процес енергетичного виявлення – це пошук інтервалу часу, де сумарна енергія радіосигналу й шуму відносно усередненої енергії шуму перевищила поріг виявлення. Це апостеріорне відношення сумарної енергії сигналу й шуму до усередненої енергії шуму функціонально пов'язане зі щільностями ймовірності розподілу сумарної енергії радіосигналу й шуму. Враховуючи цей функціональний зв'язок, апостеріорне відношення сумарної енергії сигналу й шуму до усередненої енергії шуму ми називатимемо енергетичним відношенням правдоподібності. Максимальна чутливість радіоприймача обме-

жується рівнем флуктуацій плинного значення енергії шуму на інтервалі статистичного аналізу, рівному апріорному значенню тривалості зонduючого радіосигналу відносно усередненого значення енергії шуму.

Поріг прийняття рішення в радіолокації визначається критерієм Неймана-Пірсона і полягає в обмеженні ймовірності хибних тривог. Прийняття рішення про виявлення радіосигналу здійснюється після порівняння значення енергетичного відношення правдоподібності для довільного закону розподілу випадкових величин з порогом прийняття рішення. Для моделі суми квадратів амплітуд оцифрованих гаусівських шумових вибірок умовна ймовірність хибних тривог має вигляд χ^2 -розподілу.

Практичне застосування запропонованого способу енергетичного виявлення полягає в розбиванні періоду слідування зонduючих радіосигналів на інтервали статистичного аналізу, рівні тривалості радіосигналу, визначенні дисперсії випадкового процесу на кожному інтервалі статистичного аналізу, енергетичного відношення правдоподібності для кожного інтервалу аналізу й порівняно із заданим порогом виявлення. Це одноканальний у часі спосіб енергетичного виявлення (рис. 1).

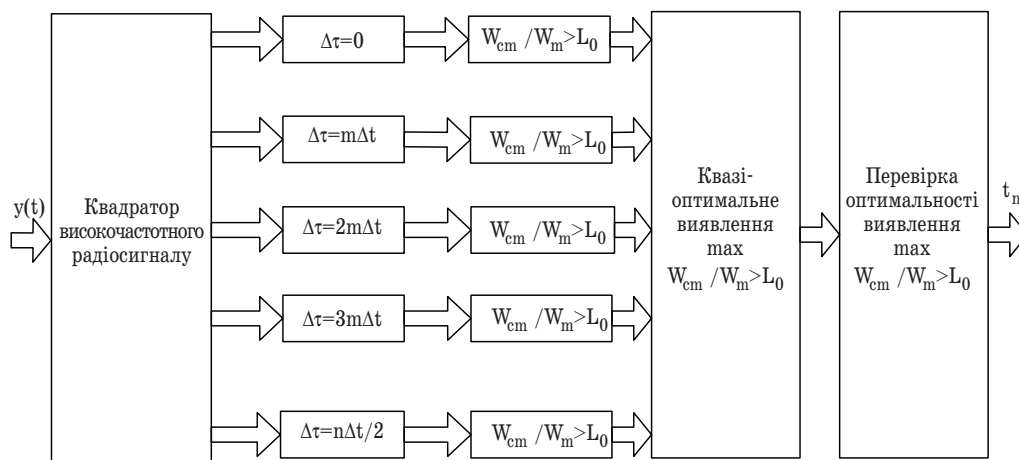


Рис. 2. Алгоритм багатоканального оптимального енергетичного виявлення суми енергій радіосигналу та шуму

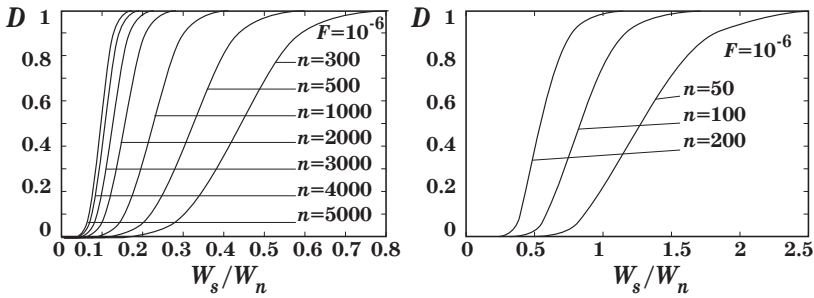


Рис. 3. Умовна ймовірність правильного виявлення сумарної енергії детермінованого радіосигналу різної тривалості та гаусового шуму від відношення енергій радіосигналу й шуму

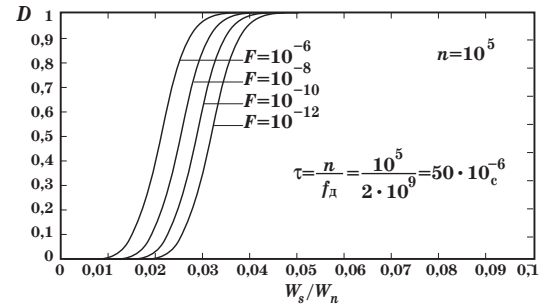


Рис. 4. Умовна ймовірність правильного виявлення сумарної енергії для моделі детермінованого радіосигналу та гаусового шуму для різних умовних ймовірностей хибних тривог від відношення енергій радіосигналу й шуму

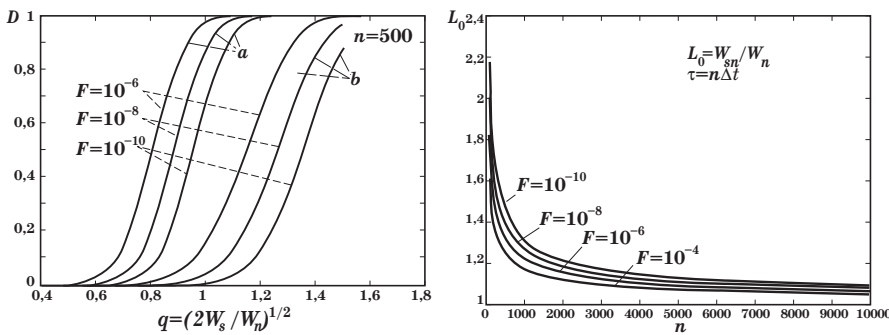


Рис. 5. Графіки залежності умовної ймовірності правильного виявлення радіосигналів і порогу ухвалення рішення L_0 про виявлення радіосигналу від його тривалості

Багатоканальне виявлення передбачає максимальне зрушення в часі вхідної реалізації випадкового процесу на половину тривалості радіосигналу й наявності додаткових каналів виявлення, зрушених на час, пропорційний відношенню половини тривалості радіосигналу до числа каналів, і знаходженні максимуму енергетичного відношення правдоподібності на виході всіх каналів виявлення (рис. 2).

Принцип оптимальності енергетичного виявлення сигналів від цілей полягає у збіганні інтервалу статистичного аналізу випадкового процесу з інтервалом аналізу. На рисунках 3 і 4 наведені криві виявлення – умовної ймовірності правильного виявлення від відношення енергій сигнал/шум при збіганні інтервалу аналізу з тривалістю радіосигналу та для різних тривалостей радіосигналів.

Графіки залежності умовної ймовірності правильного виявлення радіосигналів від відношення енергій сигналу та шуму, визначених статистичним шляхом, і порогу ухвалення рішення L_0 про виявлення радіосигналу від його тривалості подані на рисунку 5.

Важливо, що оптимальне енергетичне виявлення радіосигналу можливе без використання очікуваного радіосигналу в умовах апріорної невизначеності як форми радіосигналу, його тривалості, модуляції, так і несної частоти, що має значення для розвідки.

Результати досліджень нової теорії виявлення шляхом аналого-цифрового моделювання багатоканального за часом алгоритму енергетичного виявлення радіосигналів та оцінювання часових інтервалів їх положення при усередненні 1000 реалізацій для різних тривалостей радіосигналів відображені на рисунках 6 і 7.

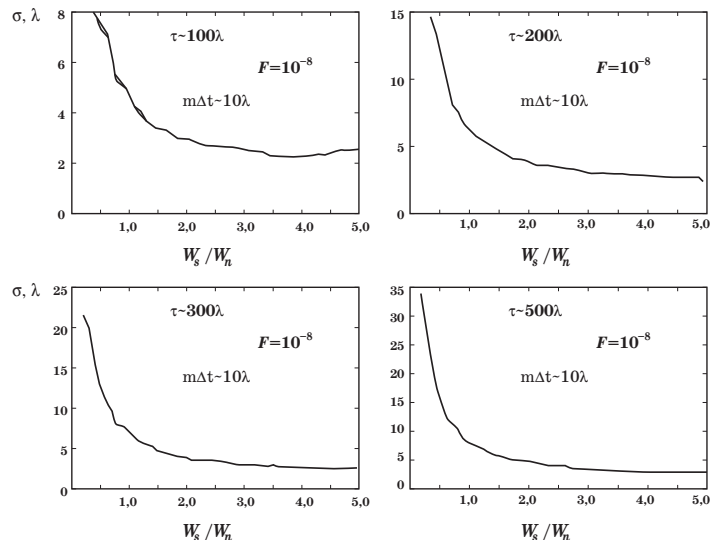


Рис. 6. Графіки залежності середньоквадратичної помилки визначення дальності до цілі від енергетичного відношення сигнал/шум

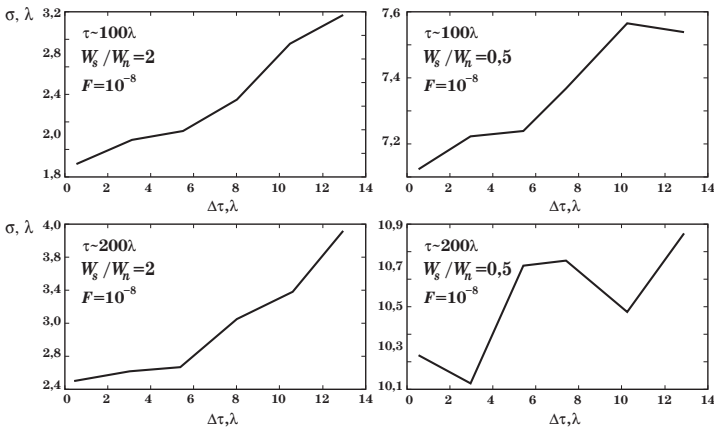


Рис. 7. Графік залежності середньоквадратичної помилки визначення дальності до цілі від величини затримки між часовими каналами виявлення

На *рисунках 6 і 7* подані середньоквадратичні помилки визначення початку переднього фронту відбитого радіосигналу від цілі залежно від енергетичного відношення сигнал/шум і від часу затримки між часовими каналами виявлення.

У *таблиці 1* оцінюється ступінь впливу використання енергетичного критерію виявлення радіосигналів на збільшення дальності виявлення цілей.

На *рисунку 8* подана нормована функція розузгодження при виявленні енергії суми радіосигналу та шуму.

Таблиця 1

Виграш у дальності виявлення при енергетичному виявленні

n	$W_s/W_n, F = 10^{-6}; D = 0,9$	q^E	q^A	r_E/r_A
500	0,45	0,9486	6,5	1,618
1000	0,3	0,7746	6,5	1,7
1500	0,25	0,7071	6,5	1,74
4500	0,145	0,538	6,5	1,86
6500	0,1	0,447	6,5	1,95
10^5	0,027	0,2323	6,5	2,299

Нормована функція розузгодження при виявленні енергії суми радіосигналу та шуму на *рисунку 8a* при використанні одного інтервалу аналізу, на *рисунку 8b* – при послідовному виявленні, а на *рисунку 8c* – при паралельному виявленні.

На *рисунку 9* показаний принцип розпізнавання впливу активних перешкод на виявлення сигналів від цілей.

На *рисунку 10* ілюструється енергетичний критерій виявлення радіосигналу на фоні активної маскуючої перешкоди.

Розпізнавання впливу маскуючих шумових перешкод можливе за рахунок запам'ятовування значення рівня власних шумів попередніх вимірювань при апріорній відсутності маскуючих радіоперешкод. Результати дослідження стійкості енергетичного критерію при впливі

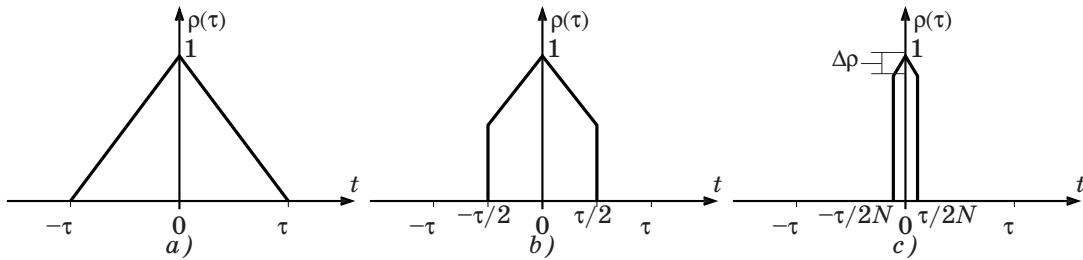


Рис. 8. Нормована функція розузгодження при виявленні енергії суми радіосигналу та шуму

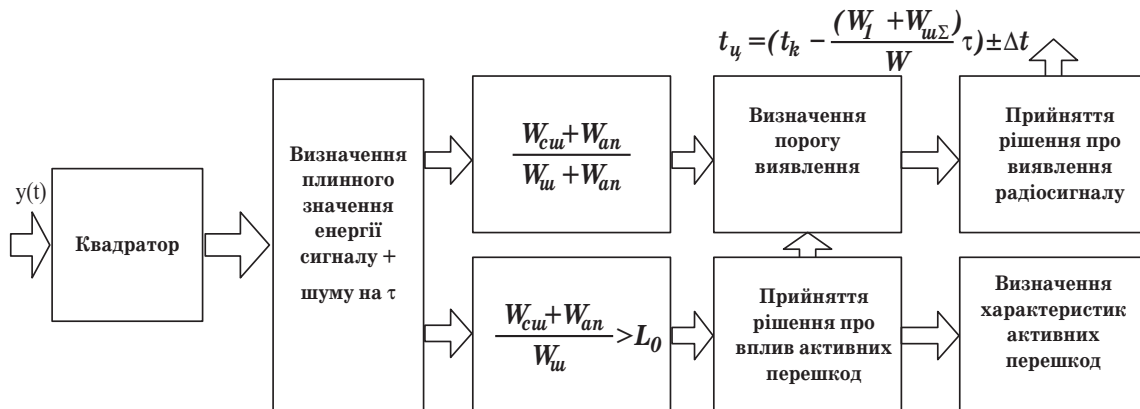


Рис. 9. Алгоритм послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при впливі активних маскуючих перешкод

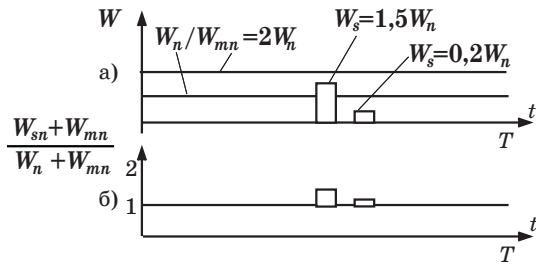


Рис. 10. Ілюстрація енергетичного критерію виявлення радіосигналу на фоні активної маскуючої перешкоди

активних шумових перешкод і 10-відсоткових флуктуаціях плинної енергії шуму подані на *рисунку 11*.

Розглянуто основні принципи розробки нової теорії оцінювання параметрів радіосигналів на основі енергетичного відношення правдоподібності та когерентних властивостей радіосигналів.

В основу теорії оцінювання параметрів радіосигналу при енергетичному підході, як і в класичному випадку, покладена мінімізація умовного середнього ризику для кожної реалізації випадкового процесу шляхом пошуку оцінки параметрів виявлених радіосигналів при складанні (або перемноженні) їх із множиною еталонних радіосигналів (кореляційна обробка радіосигналів) і заданих функціях вартості та пошуку максимального

значення апостеріорного енергетичного відношення правдоподібності. Значення параметрів еталонного радіосигналу, якому відповідає максимальне значення апостеріорного енергетичного відношення правдоподібності, і є оцінкою параметра радіосигналу.

На відміну від класичної теорії оцінювання, використання енергетичного відношення правдоподібності дає змогу оптимально оцінити значення параметрів радіосигналів, за енергетикою менших за рівень внутрішніх шумів.

Дослідження детермінованої моделі визначення максимуму сумарної енергії співвимірних виявленому радіосигналу із сукупністю еталонних радіосигналів показали таку закономірність: значення помилки оцінки доплерівської частоти залежить від тривалості радіосигналу (як і в класичному випадку), а при тривалих радіосигналах виникає неоднозначність оцінки; оцінка початкової фази визначається кроком дискретизації еталонних радіосигналів. З метою оптимізації обчислювальних витрат слід використовувати різнокрокове квантування еталонних радіосигналів, поступово наближаючись до оптимального значення оцінюваного параметра.

Залежність енергії сумарного радіосигналу від цілі з виходу суматора при послідовному оцінюванні доплерівської частоти при тривалості радіосигналу $\tau = 4,85 \cdot 10^{-4}$ с і $\tau = 9,7 \cdot 10^{-4}$ с подана на *рисунку 12* у діапазоні зміни

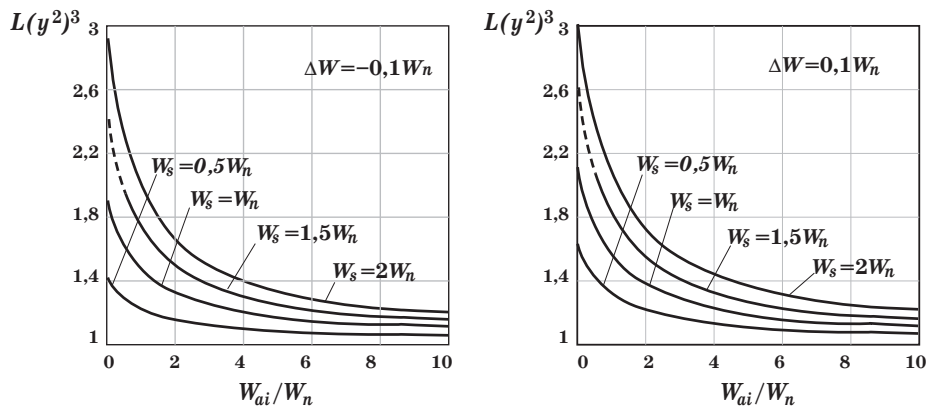


Рис. 11. Результати дослідження стійкості енергетичного критерію при впливі активних шумових перешкод

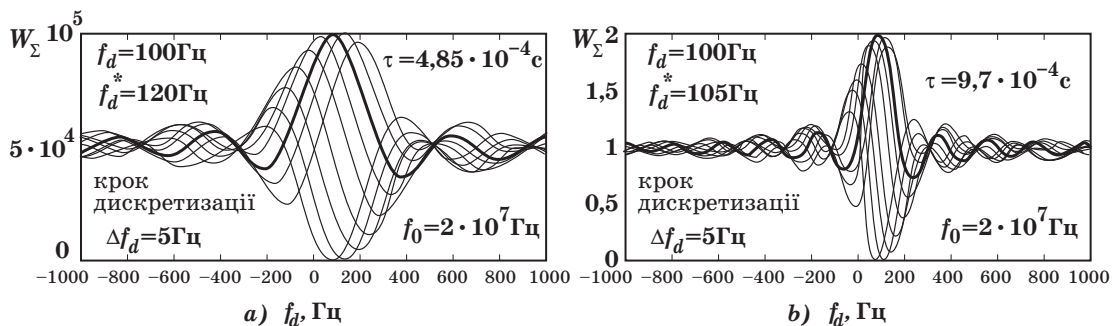


Рис. 12. Залежність енергії сумарного радіосигналу від цілі з виходу суматора при послідовному оцінюванні доплерівської частоти при тривалості радіосигналу $\tau = 4,85 \cdot 10^{-4}$ с та $\tau = 9,7 \cdot 10^{-4}$ с

еталонних радіосигналів $\pm 10^3$ Гц із кроком зміни доплерівської частоти 5 Гц. Доплерівська частота вхідного радіосигналу становить 100 Гц. Квазіоптимальна оцінка частоти складає 120 Гц (рис. 12a). При збільшенні тривалості радіосигналу вдвічі (рис. 12b) точність оцінки доплерівської частоти підвищується й наближається до інтервалу дискретизації еталонних радіосигналів.

Графік залежності максимальної помилки визначення доплерівської частоти радіосигналу від його тривалості за максимумом сумарної енергії для кореляційного способу обробки інформації подано на *рисунку 13*.

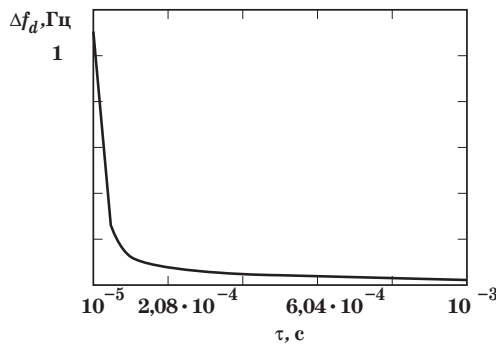


Рис. 13. Залежність максимальної помилки визначення доплерівської частоти радіосигналу від його тривалості за максимумом сумарної енергії для кореляційного способу обробки інформації

Загальна схема методу оцінювання доплерівської частоти й початкової фази коротких когерентних немодульованих радіосигналів в енергетичній теорії виявлення та оцінювання при використанні еталонних радіосигналів подана на *рисунку 14*.

Сутність фазового методу оцінювання початкової фази й доплерівської частоти радіосигналів полягає у формуванні з тривалого радіосигналу вибірок радіосигналів

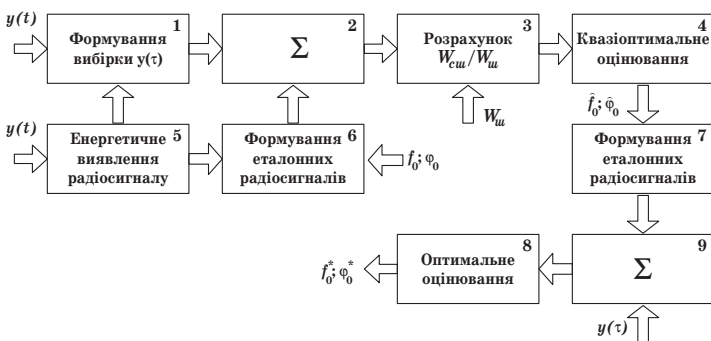


Рис. 14. Загальна схема методу оцінювання доплерівської частоти й початкової фази коротких когерентних немодульованих радіосигналів в енергетичній теорії виявлення та оцінювання при використанні еталонних радіосигналів

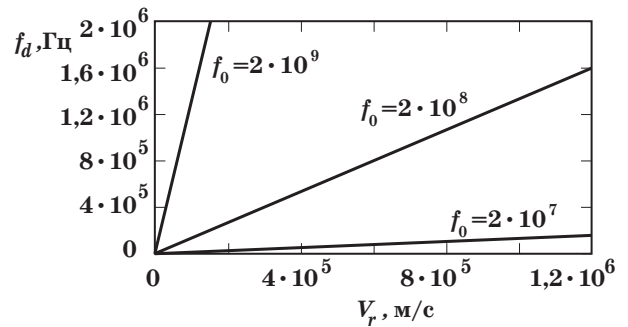


Рис. 15. Залежність доплерівської частоти радіосигналів від модуля вектора швидкості для різних несних частот радіосигналу

різної тривалості для досягнення однозначності оцінювання початкової фази й доплерівської частоти для різних класів об'єктів. Для енергетичного оцінювання параметрів радіосигналів фазовим методом потрібно з тривалого радіосигналу сформувати різотривалі вибірки, оцінити початкову фазу прийнятого радіосигналу в широкосмуговому радіоканалі, сформувати квадратурні еталонні радіосигнали й дешифрувати розподіл максимумів енергетичного відношення правдоподібності на парному виході різосмугових каналів в однозначному діапазоні фазових затримок виявленого радіосигналу, що відповідають його доплерівській частоті.

Залежності енергетичних відношень правдоподібності за різної тривалості радіосигналу ± 3 кГц при рівних початкових фазах еталонного й аналізованого радіосигналів у діапазоні зміни частоти еталонного радіосигналу для різних доплерівських частот відбитого від цілі радіосигналу (на несній частоті $f_0 = 2 \cdot 10^8$ Гц) подані на *рисунку 16*.

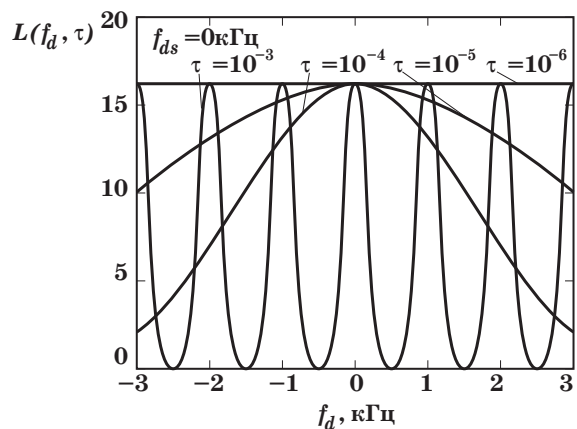


Рис. 16. Залежність енергетичного відношення правдоподібності за різної тривалості радіосигналу при рівних початкових фазах еталонного й аналізованого радіосигналів у діапазоні зміни частоти еталонного радіосигналу при відсутності доплерівської частоти

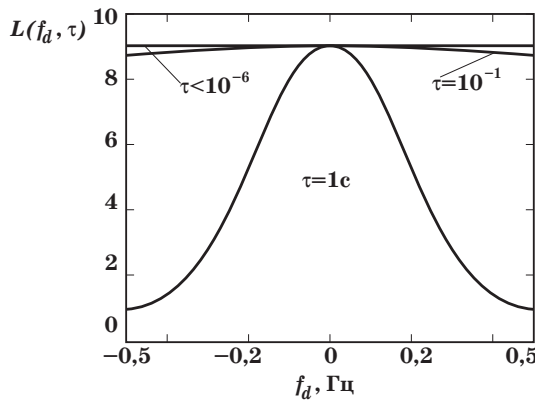


Рис. 17. Розподіл енергетичного відношення правдоподібності в смузі доплерівських частот для радіосигналів секундної тривалості

Розподіл енергетичного відношення правдоподібності в смузі доплерівських частот для радіосигналів секундної тривалості подано на *рисунку 17*.

Розподіл енергетичного відношення правдоподібності в діапазоні однозначної зміни фаз еталонного радіосигналу тривалістю 10^{-7} с при рівних амплітудах вхідного й еталонного радіосигналів та еквівалентної амплітуди шуму подано на *рисунку 18*.

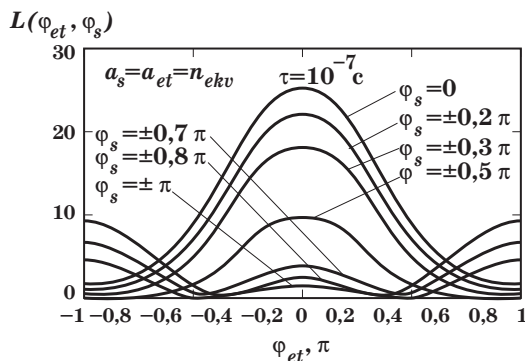


Рис. 18. Розподіл енергетичного відношення правдоподібності в діапазоні однозначної зміни фаз еталонного радіосигналу тривалістю 10^{-7} с

Розподіли максимумів енергетичного відношення правдоподібності для радіосигналів, сумірних за енергетикою з рівнем шуму різних доплерівських частот, у діапазоні однозначного визначення фазових зрушень радіосигналу $[-\pi; \pi]$ подано на *рисунку 19*.

Алгоритм оцінювання початкової фази й доплерівської частоти тривалого радіосигналу за критерієм максимуму енергетичного відношення правдоподібності подано на *рисунку 20*.

Вирівнювання початкових фаз прийнятого й апріорі відомих еталонних квадратурно зрушених радіосигналів у радіоканалах оцінювання доплерівської частоти здійснюється за оцінкою модуля фази, пропорційного відношенню різниці енергетичних відношень правдоподібності

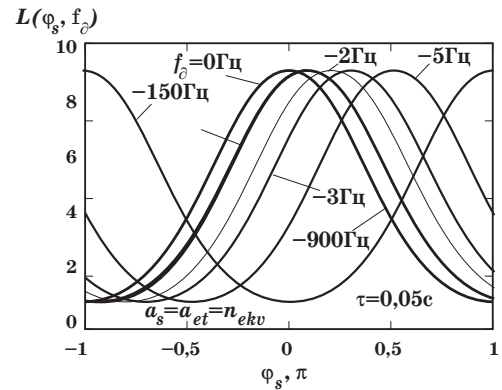


Рис. 19. Розподіли максимумів енергетичного відношення правдоподібності для радіосигналів, сумірних за енергетикою з рівнем шуму різних доплерівських частот, у діапазоні однозначного визначення фазових зрушень радіосигналу $[-\pi; \pi]$

при синфазному складанні та оптимально оціненого, до різниці енергетичних відношень правдоподібності при синфазному і протифазному складанні контрольних і еталонних радіосигналів в широкосмуговому квадратурному каналі з парним розподілом енергетичного відношення правдоподібності, розрахованим на смугу доплерівських частот об'єктів, які рухаються з великими швидкостями, за межами відомих аналогів

$$\Delta\varphi_0 = \frac{L_{\max} - L_{\text{изм}}}{L_{\max} - L_{\min}} \pi$$

де L_{\max} – максимальне значення енергетичного відношення правдоподібності при синфазному складанні радіосигналів з оціненими й відовими амплітудами за контрольними радіосигналами;

$L_{\min}(\pi)$ – мінімальне значення енергетичного відношення правдоподібності при протифазному складанні радіосигналів з оціненими й відовими амплітудами за контрольними радіосигналами;

$L_{\text{изм}}$ – оцінене значення енергетичного відношення правдоподібності при складанні вхідної реалізації з еталонними радіосигналами з оціненими й відовими амплітудами в квадратурному каналі з парним розподілом енергетичного відношення правдоподібності.

Знак початкової фази еталонного радіосигналу оцінюється за розташуванням максимуму енергетичного відношення правдоподібності в парному квадратурному каналі залежно від фазових зрушень. За оцінкою початкової фази формуються еталонні радіосигнали для кожного частотного каналу для квазіоптимального та оптимального оцінювання.

Залежності однозначного розподілу енергетичних відношень правдоподібності для доплерівської частоти $f_d = 745679,285$ Гц для радіосигналів різної тривалості при кореляційній обробці виявленого радіосигналу та управлінні його фазовими затримками ($a_s = a_{\text{et}} = n_{\text{tkv}} = 10$) подано на *рисунку 21*.

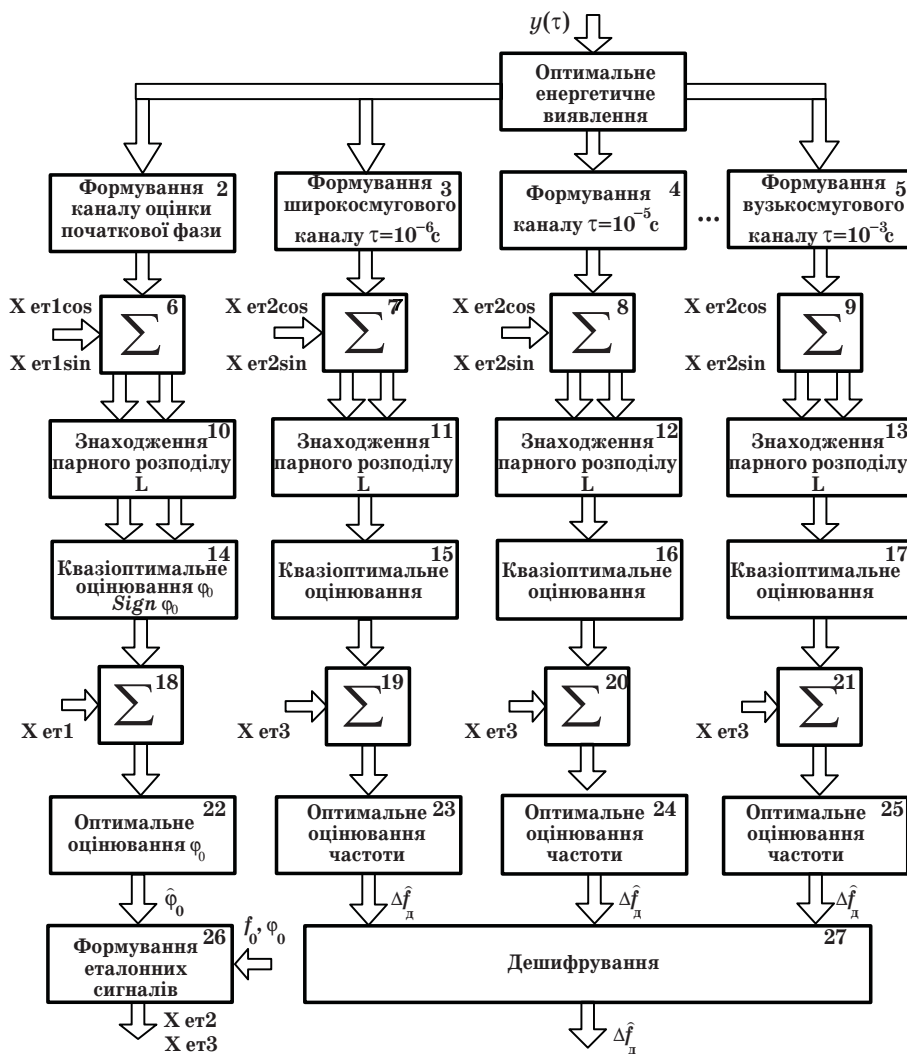


Рис. 20. Алгоритм оцінювання початкової фази й доплерівської частоти тривалого радіосигналу за критерієм максимуму енергетичного відношення правдоподібності

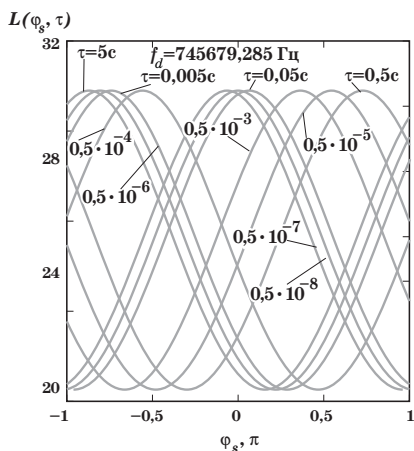


Рис. 21. Залежності однозначного розподілу енергетичних відношень правдоподібності для доплерівської частоти $f_d = 745679,285$ Гц для радіосигналів різної тривалості при кореляційній обробці виявленого радіосигналу та управлінні його фазовими затримками ($a_s = a_{et} = n_{tkv} = 10$)

Висновок

Запропонований варіант теорії енергетичного виявлення радіосигналу на фоні внутрішнього шуму відрізняється самою постановкою завдання: виявляються не амплітуди радіосигналів, а інтервали часу, де відносна сумарна енергія сигналу й шуму перевищує поріг виявлення.

В основу теорії оцінювання параметрів радіосигналу при енергетичному підході, як і в класичному випадку, покладена мінімізація умовного середнього ризику для кожної реалізації випадкового процесу шляхом пошуку оцінки параметрів виявлених радіосигналів при складанні (перемноженні) їх із множиною еталонних радіосигналів (кореляційна обробка радіосигналів) при заданих функціях вартості й пошуку максимального значення апостеріорного енергетичного відношення правдоподібності. Значення еталонного радіосигналу, якому відповідає максимальне значення апостеріорного енергетичного

відношення правдоподібності, і є оцінкою параметра радіосигналу. На відміну від класичної теорії оцінювання, використання енергетичного відношення правдоподібності дає змогу оптимально оцінити значення параметрів радіосигналів, за енергетикою менших від рівня внутрішніх шумів.

Дослідження детермінованої моделі визначення максимуму сумарної енергії виявленого короткого радіосигналу, сумірного із сукупністю еталонних, показали таку закономірність: значення помилки оцінки доплерівської частоти залежить від тривалості радіосигналу (як і в класичному випадку) і при тривалих радіосигналах виникає неоднозначність оцінки; помилка оцінки початкової фази визначається кроком дискретизації еталонних радіосигналів. З метою оптимізації обчислювальних витрат слід використовувати різнокрокове квантування еталонних радіосигналів, поступово наближаючись до оптимального значення оцінюваного параметра.

Сутність фазового методу оцінювання початкової фази й доплерівської частоти тривалих радіосигналів полягає у формуванні з тривалого радіосигналу радіосигналів різної меншої тривалості для досягнення однозначності оцінювання початкової фази та доплерівської частоти для різних класів об'єктів.

Для енергетичного оцінювання параметрів радіосигналів фазовим методом потрібно з тривалого виявленого радіосигналу сформувати різнотривалі вибірки в діапазоні однозначних фазових зрушень, оцінити початкову фазу прийнятого радіосигналу в широкосмуговому радіоканалі, сформувати квадратурні еталонні радіосигнали й дешифрувати розподіл максимумів енергетичного відношення правдоподібності на парному виході різносмугових каналів залежно від фазових затримок виявлених радіосигналів.

Розглянуті основи енергетичного оцінювання параметрів радіосигналів дають змогу оцінювати параметри радіосигналів за енергетикою, сумірною (або меншою) з внутрішніми шумами радіоприймача без впливу і при впливі активних маскуючих перешкод, що уможливить поліпшення якісних показників озброєння і скорочення енергетичних витрат для вирішення тих самих завдань.

Перелік літератури

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я. Д. Ширман, Ю. И. Лосев, Н. Н. Минервин, С. В. Москвитин, С. А. Горшков, Д. И. Леховицкий, Л. С. Левченко ; под ред. Я. Д. Ширмана. – М. : МАКВИС, 1998. – 828 с.
2. Певцов Г. В., Яцуценко А. Я., Карлов Д. В., Трофименко Ю. В. Метод енергетичного виявлення радіосигналів / Г. В. Певцов, А. Я. Яцуценко, Д. В. Карлов, Ю. В. Трофименко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К., 2010. – № 4 (16). – С. 72–76.
3. Патент на корисну модель 57216. Україна, МПК G01S 7/02. / Процес енергетичного виявлення радіосигналів / Г. В. Певцов, А. Я. Яцуценко та ін. – № 201012202; заявл. 15.10.2010; опубл. 10.02.2011. Бюл. № 3.
4. Певцов Г. В., Яцуценко А. Я., Карлов Д. В., Трофименко Ю. В., Клімішен О. О. Патент на корисну модель 64707. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб багатоканального за часом енергетичного виявлення радіосигналів. – № 201106721; заявл. 30.05.2011; опубл. 10.11.2011. Бюл. № 21.
5. Певцов Г. В., Яцуценко А. Я., Карлов Д. В., Трофименко Ю. В., Челпанов А. В., Шевченко В. І. Патент на корисну модель 64706. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб енергетичного виявлення радіосигналів при впливі активних маскуючих перешкод. – № 201106697; заявл. 30.05.2011; опубл. 10.11.2011. Бюл. № 21.
6. Певцов Г. В., Яцуценко А. Я., Карлов Д. В., Трофименко Ю. В., Остапова А. М., Клімішен О. О. Патент на корисну модель 75125. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб енергетичного виявлення коротких немодульованих радіосигналів і послідовного оцінювання їх початкових фаз і доплерівських частот. – № 2012004731; заявл. 17.04.2012; опубл. 26.11.2012. Бюл. № 22.
7. Певцов Г. В., Яцуценко А. Я., Карлов Д. В., Трофименко Ю. В., Остапова А. М., Клімішен О. О. Патент на корисну модель 75126. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб енергетичного виявлення тривалого немодульованого радіосигналу і послідовного оцінювання його початкової фази і доплерівської частоти. – № 2012004737; заявл. 17.04.2012; опубл. 26.11.2012. Бюл. № 22.

Надійшла до редакції 26 березня 2014 р.