

## **СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ВИДУ МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛІВ ЗІ ЗМІННОЮ АМПЛІТУДОЮ В УМОВАХ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

*У статті запропоновано спосіб автоматизованого розпізнавання виду модуляції сигналів, що належать до класу сигналів зі змінною амплітудою, в умовах відсутності інформації про апріорні значення параметрів. Застосовані модуляційні ознаки та підходи до оцінювання невідомих параметрів дозволили розширити кількість видів модуляції, що розпізнаються, та покращити ймовірність правильного розпізнавання за низьких відношень сигнал/шум.*

**Постановка проблеми.** Силкові конфлікти сучасності відрізняються інтенсивним застосуванням високотехнологічних систем озброєння та військової техніки: систем радіоконтролю, телекомунікаційних і комп'ютерно-мережних засобів, систем управління військами та зброєю, роботизованих комплексів, засобів радіоелектронного впливу тощо. Усе частіше використовуються радіотехнічні системи з архітектурою, що визначається програмно, адаптивною модуляцією та адаптивним розподілом частот [1]. У таких системах вид та параметри модуляції радіосигналу змінюються відповідно до якості каналу зв'язку, забезпечуючи найкращу спектральну і енергетичну ефективність передачі інформації [2]. Як наслідок, створюється складна радіоелектронна обстановка в цільових районах ведення силових конфліктів. У свою чергу, використовувані в зразках озброєння і військової техніки радіосигнали є високоінформативним джерелом інформації про протиборчу сторону, її наміри, склад сил і засобів. Завдання визначення складу сил та засобів і викриття намірів перед виникненням і в ході силового конфлікту покладається на систему радіомоніторингу. Особливістю її функціонування є відсутність апріорної інформації про вид, структуру та параметри перехопленого радіосигналу, а також характеристики комунікаційного каналу [1]. Тому актуальним є завдання автоматизованого оцінювання параметрів та розпізнавання виду модуляції радіосигналу в умовах параметричної невизначеності, вирішення якого дозволить покращити ефективність ідентифікації джерел радіовипромінювання.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Проблеми розпізнавання цифрових видів модуляції присвячено велику кількість робіт, опублікованих в останні роки переважно за кордоном [3 – 8]. Основна увага в них приділяється окремим аспектам даного завдання та вузькоспеціалізованим рішенням, орієнтованим на застосування в цифрових приймачах з обмеженою кількістю типів сигналів. Існуючі підходи до розпізнавання цифрових видів модуляції можна розділити на два основні класи: методи, що базуються на відношенні правдоподібності, та методи, що ґрунтуються на теорії розпізнавання образів [3 – 4]. Основними недоліками першої групи методів є складність реалізації, вимогливість до обчислювальних ресурсів, необхідність наявності апріорної параметричної інформації та чутливість до відповідності сигналу еталонній моделі [3]. Методи на основі теорії

розпізнавання образів не є оптимальними, але вони простіші в застосуванні, забезпечують близьке до оптимального рішення та можливість здійснення процесу розпізнавання в реальному часі, що зумовлює їх широке практичне застосування [3]. Загальними недоліками існуючих методів є обмежена кількість видів модуляції, що розпізнаються, необхідність апріорної інформації про параметри сигналу та каналу розповсюдження, а також їх орієнтованість на конкретні телекомунікаційні системи.

**Метою** досліджень є розробка способу автоматизованого розпізнавання виду модуляції та оцінювання параметрів сигналів зі змінною амплітудою в умовах відсутності апріорної параметричної інформації.

**Формулювання завдання досліджень.** Усі сигнали з однією несучою частотою можна розділити на два узагальнені класи [9]: сигнали з постійною та зі змінною амплітудами.

У сигналах зі змінною амплітудою присутня інформація в обвідній сигналу, вони мають такі види модуляцій:

- амплітудна модуляція з наявною несучою (АМ-Н);
- амплітудна модуляція з подавленою несучою (АМ-ПН);
- амплітудна модуляція з нижньою боковою смугою (АМ-НБС);
- амплітудна модуляція з верхньою боковою смугою (АМ-ВБС);
- амплітудна модуляція з частково подавленою боковою смугою (АМ-ЧПС);
- амплітудна телеграфія (АМ-АТ);
- амплітудна маніпуляція (АМн);
- квадратурна амплітудна маніпуляція (КАМн);
- фазова маніпуляція (ФМн);
- $\pi/4$  чотирипозиційна фазова маніпуляція ( $\pi/4$ -ФМн-4).

При розробці способу вважається, що радіосигнал має одну несучу частоту, параметри модуляції протягом часового відрізка, що аналізується, постійні, сигнал при розповсюдженні зазнає впливу каналу, що описується гауссівською моделлю. У такому разі прийнята сигнальна суміш описується як функція від часу  $t$  [9]:

$$r(t, U) = s(t, U) + n(t), \quad (1)$$

де  $s(t, U)$  – корисна складова;

$n(t)$  – гауссівський шум;

$U = [a, f_c, \theta, T, \varepsilon, g(t)]$  – вектор параметрів сигналу;

$a$  – амплітуда сигналу;

$f_c$  – несуча частота;

$\theta$  – інваріантна в часі фаза несучої частоти;

$T$  – символний період для сигналів з цифровою модуляцією;

$\varepsilon$  – похибка символної синхронізації;

$g(t)$  – сумісна імпульсна характеристика формуючого фільтра та каналу.

Після дискретизації в часі з частотою  $F_s$  та квантування за рівнем сигнальної суміші  $r(t, U)$  отримується масив відліків  $r(k)$ ,  $k = 0 \dots K-1$ , що і є *вхідними даними* для способу. Значення частоти дискретизації та кількості рівнів квантування має відповідати вимогам для подальшого правильного відтворення сигналу [10]. Відліки сигналу повинні мати аналітичну форму подання. Для цього застосовують квадратурні перетворювачі частоти або перетворення Гільберта [10].

*Результатом* застосування способу має бути рішення  $D$  про вид модуляції, що застосована в сигналі зі змінною амплітудою:  $D \in (\text{AM-Н}, \text{AM-ПН}, \text{AM-НБС}, \text{AM-ВБС}, \text{AM-ЧПС}, \text{AM-АТ}, \pi/4\text{-ФМн-4}, \text{ФМн-2}, \text{ФМн-4}, \text{ФМн-8}, \text{АМн-М}, \text{КАМн-М})$  – або належність сигналу до класу з постійною амплітудою  $D \in (\text{ПА})$ .

**Виклад основного матеріалу.** Спосіб розпізнавання виду модуляції базується на теорії розпізнавання образів та полягає в розрахунку модуляційних ознак і, відповідно до обраного критерію, прийнятті рішення про вид модуляції сигналу [11]. Модуляційні ознаки становлять собою параметри і характеристики сигналу в часовій та частотній областях, а також інші величини, отримані в процесі обробки відліків сигналу, порівняння яких з теоретичними або апостеріорно отриманими значеннями дозволяє прийняти рішення про вид застосованої в сигналі модуляції. Набір модуляційних ознак, що характеризують задані види модуляції, визначає ефективність способу розпізнавання та умови його застосування.

При виборі модуляційних ознак для реалізації процесу розпізнавання в умовах параметричної апріорної невизначеності слід враховувати той факт, що їх значення не повинно залежати від невідомих параметрів сигналу, а інакше визначення виду модуляції буде неможливим або ймовірність правильного розпізнавання буде низькою. Однак більшість запропонованих в літературі модуляційних ознак припускають наявність апріорних відомостей про один або декілька параметрів сигналу. У такому разі при використанні даних модуляційних ознак потрібно спочатку оцінити значення параметра (параметрів) сигналу. Але при цьому виникає інша складність – відсутність методів та способів оцінювання параметрів сигналу для великого набору видів модуляції, що подані вище. Для вирішення даного завдання був запропонований такий підхід. Спочатку при розпізнаванні виду модуляції було застосовано параметронезалежні модуляційні ознаки для розділення сигналів на окремі класи, потім для кожного класу оцінювалися необхідні параметри та розраховувалися інші модуляційні ознаки, за якими знову здійснювався поділ видів модуляції за схожими рисами та уточнювалися параметри сигналів.

Рішення про вид модуляції приймається за методом дерева рішень, що становить собою процес прийняття послідовних бінарних рішень, які утворюють деревовидну структуру [6]. При цьому для кожного етапу цього процесу визначається своя модуляційна ознака та встановлюється певний поріг, корекція якого може проводитись відповідно до умов прийому та обробки. Адаптація порогів прийняття рішень до умов прийому дозволяє покращити ймовірність правильного розпізнавання, а послідовне визначення модуляційних ознак виключає із розрахунків ті з них, що не відповідають прийнятому раніше рішення. Це суттєво зменшує розрахункові та часові затрати.

Порівняльний аналіз та дослідження шляхом комп'ютерного моделювання інформативності модуляційних ознак при низьких значеннях відношення сигнал/шум (ВСШ), а також неточностях оцінювання параметрів сигналу дозволив обрати найбільш ефективні з них. Також запропоновано нові модуляційні ознаки з урахуванням особливостей видів модуляції, що розпізнаються. Нижче розглядаються використані модуляційні ознаки.

Для розпізнавання класу сигналів зі змінною амплітудою використовується максимальне значення щільності потужності в частотному спектрі нормованого центрованого модуля миттєвої амплітуди сигналу  $\gamma$  [6]:

$$\gamma = \max \left( \frac{|FFT(a_{nu}(k))|^2}{N_s} \right), \quad (2)$$

де  $FFT(\ )$  – швидке перетворення Фур'є;

$N_s$  – кількість відліків у спектрі;

$a_{nu}(k)$  – вектор нормованих центрованих модулів миттєвих амплітуд сигналу.

При розпізнаванні класу сигналів з цифровою лінійною модуляцією використано факт наявності гармоніки з максимальною енергією в частотному спектрі модуля сигналу  $S_a(f)$ :

$$S_a(f) = FFT(|r(k)|). \quad (3)$$

Частота даної гармоніки відповідає символній частоті  $f_{sym}$ . Для зменшення впливу сторонніх спектральних складових на процес визначення символної частоти враховано факт залежності ширини спектра цифрових сигналів з лінійною модуляцією  $\Delta f$  від значення символної частоти  $f_{sym}$  та обмежено смугу пошуку гармоніки з максимальною амплітудою  $\Pi_s$  нерівністю

$$\Delta f - \frac{\Delta f}{2} < \Pi_s < \Delta f + \frac{\Delta f}{2}. \quad (4)$$

З метою підвищення ймовірності правильного визначення гармоніки символної частоти  $f_{sym}$  спектр навколо неї перевіряється на крутість шляхом розрахунку ексцесу модуля спектральної щільності  $\mu_{42}^s$ :

$$\mu_{42}^s = \frac{E\left(\left(|S_a(n)| - \bar{m}_s\right)^4\right)}{\left(E\left(|S_a(n)| - \bar{m}_s\right)^2\right)^2} - 3, \quad (5)$$

де  $E(\ )$  – операція усереднення;

$S_a(n)$ ,  $n = nf_{sym} - N_f \dots nf_{sym} + N_f$  – масив дискретних значень спектральної щільності;  
 $nf_{sym}$  – номер масиву, що відповідає значенню спектральної щільності на частоті  $f_{sym}$  ;  
 $N_f$  – кількість відліків, що визначають смугу частот, у якій розраховується ексцес  $\mu_{42}^s$  ;  
 $\bar{m}_s$  – середнє статистичне значення модуля спектральної щільності в смузі розрахунку.

Якщо  $\mu_{42}^s$  більше встановленого порога, то частота гармоніки з максимальною амплітудою приймається як символна частота  $f_{sym}$ , в іншому разі вважається, що процес визначення символної частоти пройшов невдало, а її значення дорівнює частоті дискретизації  $f_{sym} = F_s$ .

Для розпізнавання  $\pi/4$ -ФМн-4 модуляції використано факт наявності двох гармонік з максимальною енергією в частотному спектрі сигналу, піднесеному до четвертого степеня  $S_4(f)$ :

$$S_4(f) = FFT(r(k)^4). \quad (6)$$

Арифметичне середнє значення частот даних гармонік дорівнює несучій частоті сигналу  $f_c$ .

Для розпізнавання сигналів з амплітудною маніпуляцією використано середнє квадратичне відхилення (СКВ) абсолютної фази сигналу  $\sigma_{\phi_a}$  [5]:

$$\sigma_{\phi_a} = \sqrt{E\left(\left(\phi_a(k) - E(\phi_a(k))\right)^2\right)}, \quad (7)$$

де  $\phi_a(k)$ ,  $k = 1 \dots K$  – масив відліків абсолютної фази сигналу  $r(k)$  [5]:

$$\phi_a(k) = \arg\left(\left|Re(r(k))\right| + j\left|Im(r(k))\right|\right), \quad (8)$$

де  $Re$  – реальна частина комплексного числа;

$Im$  – уявна частина комплексного числа;

$\arg$  – аргумент комплексного числа;

$j$  – уявне число.

Для розпізнавання КАМн сигналів використано СКВ обвідної сигналу  $\sigma_a$  [6]:

$$\sigma_a = \sqrt{E\left(\left(|r(k)| - E(|r(k)|)\right)^2\right)}. \quad (9)$$

Для розпізнавання ФМн сигналів застосовано кумулянт шостого порядку  $C_{61}$ :

$$C_{61} = M_{61} - 5M_{40}M_{21} - 10M_{41}M_{20} + 30M_{21}M_{20}^2, \quad (10)$$

де  $M_{pq}$  – значення змішаного початкового моменту порядку  $p$  з кількістю спряжених відліків  $q$ , що визначається за виразом [12]

$$M_{pq} = E \left[ \underbrace{r(k), \dots, r(k)}_{p-q}, \underbrace{r(k)^*, \dots, r(k)^*}_{q} \right]. \quad (11)$$

Для розпізнавання сигналів з аналоговою амплітудною модуляцією використано дві модуляційні ознаки: коефіцієнт кореляції спектра відносно несучої частоти  $K_{SA}$  та коефіцієнт симетричності спектра  $K_{SS}$ .

Коефіцієнт кореляції  $K_{SA}$  визначається за формулою

$$K_{SA} = \frac{E(S_U(n)S_L(n))}{E(S_U(n)^2)E(S_L(n)^2)}, \quad (12)$$

де  $S_U(n)$ ,  $n = f_{dn} + 1 \dots N$ ,  $S_L(n)$ ,  $n = f_{dn} - 1 \dots 1$  – масиви спектральних амплітуд, що відповідають частотам, значення яких більше та менше центральної частоти в спектрі сигналу;

$f_{dn}$  – номер масиву, що відповідає значенню центральної частоти  $f_d$ .

Коефіцієнт симетричності  $K_{SS}$  визначається за формулою [6]

$$K_{SA} = \frac{P_L - P_U}{P_L + P_U}, \quad (13)$$

де  $P_L$ ,  $P_U$  – спектральні потужності частини спектра сигналу, що знаходиться нижче та вище центральної частоти [6]:

$$P_L = \sum_{n=1}^{f_{dn}} |S(n)|^2; \quad (14)$$

$$P_U = \sum_{n=1}^{f_{dn}} |S(n + f_{dn} + 1)|^2, \quad (15)$$

де  $S(n)$  – спектральна щільність.

Враховуючи подані вище модуляційні ознаки, спосіб автоматизованого розпізнавання виду модуляції сигналів зі змінною амплітудою в умовах параметричної невизначеності пропонується в такій послідовності операцій (рис. 1, 2).

1. Розраховується параметр  $\gamma$  та порівнюється з порогом  $T\gamma$ . Якщо  $\gamma$  перевищує заданий поріг, то приймається рішення про сигнал зі змінною амплітудою, а інакше – з постійною (ПА).

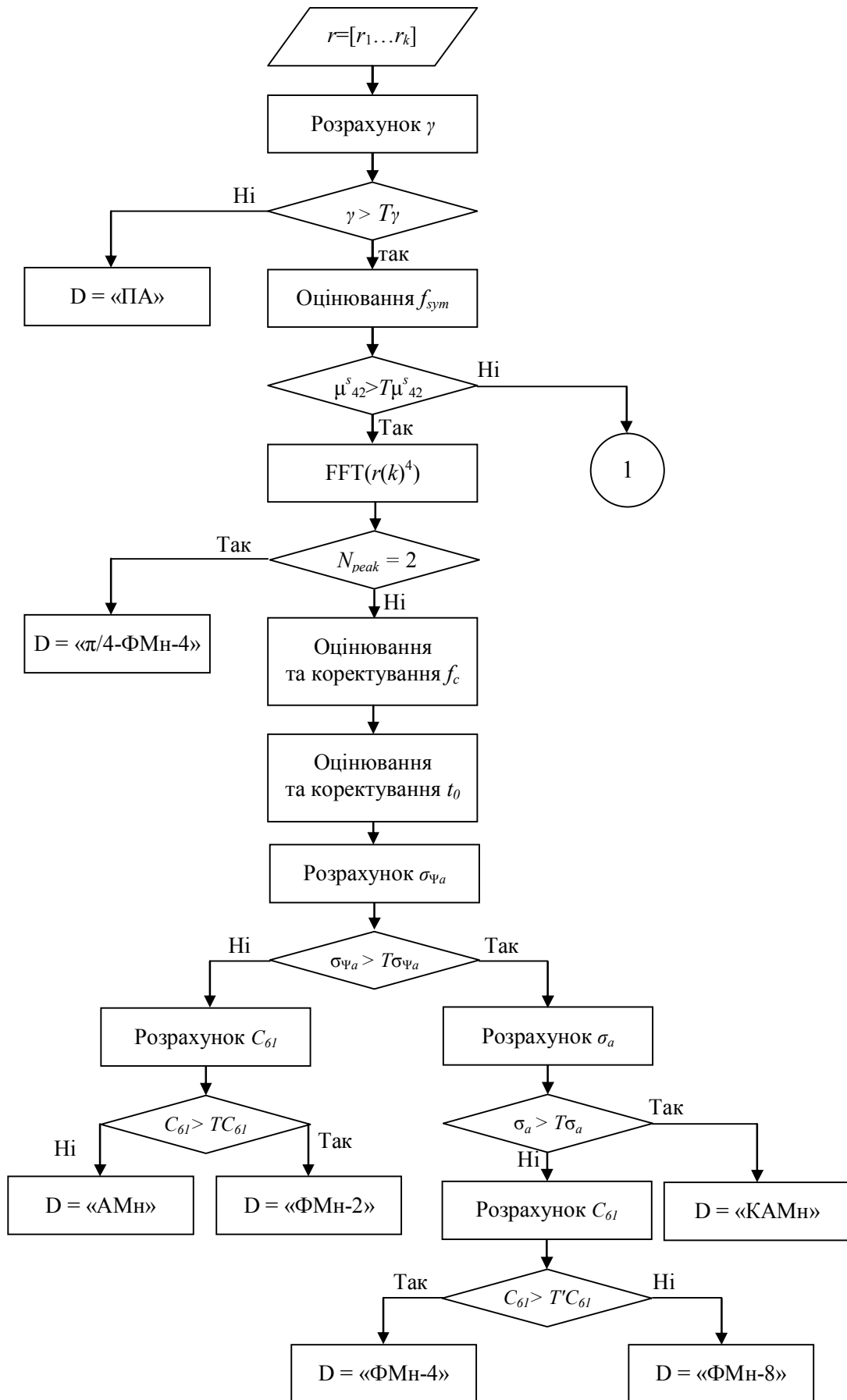


Рис. 1. Схема способу автоматизованого розпізнавання виду модуляції сигналів зі змінною амплітудою в умовах параметричної невизначеності (частина 1)

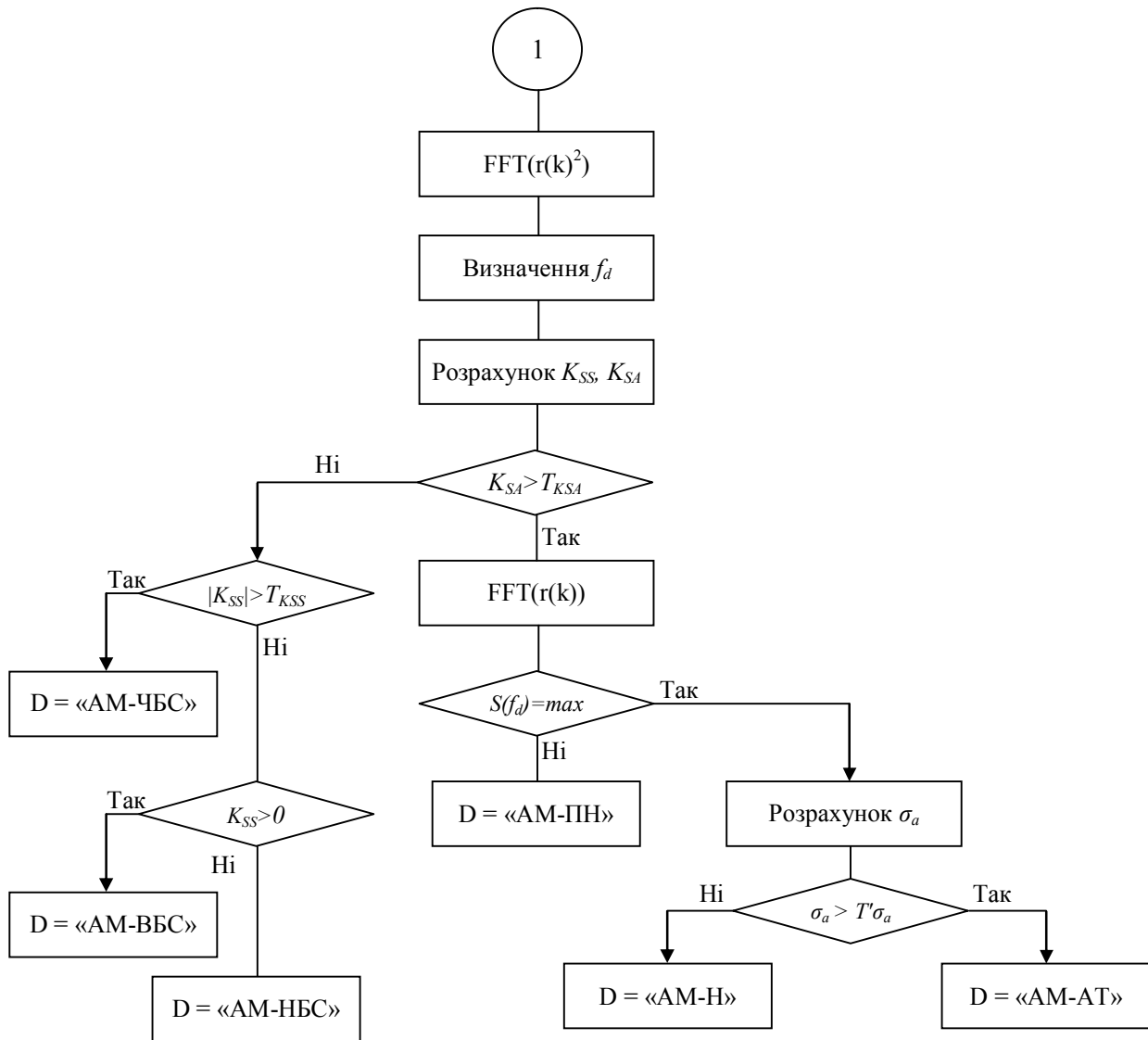


Рис. 2. Схема способу автоматизованого розпізнавання виду модуляції сигналів зі змінною амплітудою в умовах параметричної невизначеності (частина 2)

2. Оцінюється значення символної частоти сигналу  $f_{sym}$ . Якщо гармоніка з максимальною енергією на символній частоті присутня та ексцес  $\mu_{42}^s$  більше встановленого порога  $T\mu_{42}^s$ , то приймається рішення про належність сигналу до класу з цифровою лінійною модуляцією, а інакше – до класу сигналів з аналоговою амплітудною модуляцією.

3. У разі прийняття рішення про належність сигналу до класу з цифровою лінійною модуляцією, відліки сигналу підносяться до четвертого степеня, здійснюється швидке перетворення Фур'є та перевіряється наявність двох піків з максимальною амплітудою. Якщо такі піки існують, приймається рішення про вид модуляції  $\pi/4$ -ФМн-4. В іншому випадку здійснюється оцінювання та корекція несучої частоти й похибки символної синхронізації  $t_0$  відповідно до алгоритму, поданого в [13].

4. Розраховується значення СКВ абсолютної фази сигналу  $\sigma_{\phi_a}$  та порівнюється з порогом  $T\sigma_{\phi_a}$ . При перевищенні заданого порога приймається рішення про наявність фазової модуляції в сигналі (класи ФМн та КАМн). Двократна фазова маніпуляція (ФМн -



2), зміна фази на величину  $\pi$  в якій призводить до зміни знака амплітуди, на даному етапі відноситься до класу АМн.

5. Для розпізнавання класу КАМн розраховується СКВ модуля амплітуди  $\sigma_a$  та порівнюється з порогом  $T\sigma_a$ . Оскільки КАМн, на відміну від ФМн, змінює амплітуду несучого коливання, то параметр  $\sigma_a$  для неї більший.

6. Для розпізнавання ФМн-2 та АМн, а також ФМн-4 та ФМн-8 розраховується змішаний кумулянт шостого порядку  $C_{61}$ . Дана статистична величина залежить від форми фазового сузір'я, тому, порівнявши її з пороговими значеннями  $TC_{61}$ ,  $T'C_{61}$ , приймається рішення про застосований у сигналі вид модуляції.

7. У разі прийняття рішення про належність сигналу до класу з аналоговою амплітудною модуляцією здійснюється швидке перетворення Фур'є (FFT) сигналу піднесеного до другого степеня, та розраховується центральна частота спектра  $f_d$  [13]. Для АМ сигналів з двома боковими смугами  $f_d$  дорівнює значенню несучої частоти сигналу  $f_c$ . Розраховується коефіцієнт кореляції спектра відносно несучої частоти  $K_{SA}$ . Оскільки спектр двосмугового АМ сигналу є симетричним, то коефіцієнт  $K_{SA}$  для нього буде близьким до 1, і навпаки, для односмугових сигналів та сигналів з частково подавленою боковою смугою  $K_{SA}$  не перевищуватиме 0,5. Звідси, порівнявши коефіцієнт  $K_{SA}$  з порогом  $TK_{SA}$ , приймається рішення про односмуговість чи двосмуговість АМ сигналу.

8. Для АМ сигналів з двома боковими смугами визначається амплітуда гармоніки на несучій частоті  $f_c$  та в разі перевищення встановленого порога приймається рішення про вид модуляції АМ-Н, а інакше – про АМ-ПН.

9. Для розпізнавання амплітудної телеграфії розраховується значення СКВ обвідної сигналу  $\sigma_a$ , що порівнюється з порогом  $T'\sigma_a$ . При АМ-АТ амплітуда сигналу змінюється від нуля до 1 відповідно до двійкових символів, що передаються, тому  $\sigma_a$  буде більшим, ніж для інших АМ сигналів.

10. Для розпізнавання односмугових АМ сигналів та сигналів з частково подавленою боковою смугою розраховується коефіцієнт симетричності спектра  $K_{SS}$ . Якщо модуль  $K_{SS}$  більше встановленого порога, то приймається рішення про вид модуляції АМ-ЧПС. Розпізнавання АМ-НБС та АМ-ВБС здійснюється шляхом перевірки знака коефіцієнта  $K_{SS}$ , якщо він від'ємний, то приймається рішення про АМ-НБС, в іншому разі – про АМ-ВБС.

Розрахунок порогів прийняття рішень та перевірку ефективності розробленого способу автоматизованого розпізнавання виду модуляції сигналів зі змінною амплітудою здійснено шляхом комп'ютерного моделювання в програмному середовищі MATLAB 2012a відповідно до методу статистичних випробувань Монте-Карло. Реалізації сигналів формувалися за допомогою стандартних процедур пакета Communication System Toolbox та власних процедур генерування сигналів, що використовують математичні моделі сигналів, подані в [6, 10]. Параметри сигналу для кожної реалізації змінювалися за випадковим законом. Параметри каналу описувалися гауссівською моделлю та змінювались для забезпечення дискретних значень ВСШ 5, 10 та 15 дБ. Статистичне усереднення результатів здійснювалось за 1000 реалізаціями для кожного виду модуляції.

Отримані значення порогів прийняття рішень та ймовірностей правильного розпізнавання виду модуляції подано в табл. 1, 2.

*Таблиця 1*

Значення порогів прийняття рішень

Поріг	$T_\gamma$	$T\mu_{42}^s$	$T\sigma_{\phi_a}$	$T'\sigma_a$	$TC_{61}$	$T'C_{61}$	$TK_{SA}$	$TK_{SS}$	$T_1\sigma_a$
Значення	14	20	0,36	0,16	11,5	2,2	0,8	0,26	0,32

Як видно із табл. 2, при ВСШ більше 10 дБ практично всі задані види модуляції розпізнаються з імовірністю, не нижчою 0,9, а ймовірність хибного розпізнавання не перевищує 0,06. Однак при ВСШ 5 дБ імовірність правильного розпізнавання видів цифрової лінійної модуляції суттєво зменшується, так для КАМн сигналів вона дорівнює 0,62. Даний факт обумовлений шумовим розмиттям фазових сузір'їв сигналів, а також похибками визначення та корекції несучої та символної частот, що збільшуються при зменшенні ВСШ.

*Таблиця 2*

Імовірність розпізнавання виду модуляції

ВСШ, дБ	Вид модуляції	АМ-Н	АМ-ПН	АМ-НБС	АМ-ВБС	АМ-ЧПС	АМ-АТ	КАМн	АМн	ФМн-2	ФМн-4	ФМн-8	$\pi/4$ -ФМн-4
5	АМ-Н	0,99	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	АМ-ПН	0,01	0,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-НБС	0	0	0,98	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ВБС	0	0	0,01	0,98	0,01	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ЧПС	0	0		0,03	0,97	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-АТ	0,01	0	0	0	0	0,99	0	0	0	0	0	0
	КАМн	0	0	0	0	0	0	0,62	0,21	0	0	0,17	0
	АМн	0	0	0	0	0	0	0,15	0,81	0,04	0	0	0
	ФМн-2	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,86	0	0	0
	ФМн-4	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0,78	0,13	
	ФМн-8	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	0,72	0,02
	$\pi/4$ -ФМн-4	0	0	0	0	0	0	0,03	0,02	0	0	0	0,95
10	АМ-Н	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ПН	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-НБС	0	0	0,99	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ВБС	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ЧПС	0	0	0	0,01	0,99	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-АТ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	КАМн	0	0	0	0	0	0	0,90	0,06	0	0	0,03	0,01
	АМн	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	ФМн-2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	ФМн-4	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0,93	0	0
	ФМн-8	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0,92	0,01
	$\pi/4$ -ФМн-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ВСШ, дБ	Вид модуляції	АМ-Н	АМ-ПН	АМ-НБС	АМ-ВБС	АМ-ЧПС	АМ-АТ	КАМн	АМн	ФМн-2	ФМн-4	ФМн-8	$\pi/4$ -ФМн-4
15	АМ-Н	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ПН	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-НБС	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ВБС	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-ЧПС	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	АМ-АТ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	КАМн	0	0	0	0	0	0	0,97	0,02	0	0	0	0,01
	АМн	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	ФМн-2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	ФМн-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	ФМн-8	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,99	
	$\pi/4$ -ФМн-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

**Висновки.** Спосіб розпізнавання виду модуляції сигналів зі змінною амплітудою розроблено відповідно до підходів теорії розпізнавання образів та методу дерева рішень, що дозволило зменшити складність розрахунків та реалізувати спосіб у реальному часі. Запропоновані модуляційні ознаки та підходи до оцінювання невідомих параметрів забезпечили реалізацію процесу розпізнавання десяти видів модуляції, а також визначення кратності маніпуляції ФМн сигналів в умовах апріорної параметричної невизначеності, що вдвічі більше, ніж у відомих способах та алгоритмах. При цьому імовірність правильного розпізнавання виду модуляції при ВСШ, більшому 10 дБ, не менше 0,9.

Подальші дослідження в даному напрямку доцільно спрямувати на розроблення способів визначення кратності маніпуляції АМн та КАМн сигналів в умовах наявності похибок синхронізації за несучою та символною частотою, а також на удосконалення алгоритмів синхронізації з метою зменшення величин даних похибок.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский. – М. : Горячая линия –Телеком, 2006. – 492 с.
2. Doyle L. The Essentials of Cognitive Radio / L. Doyle. – Cambridge University Press, 2009. – 240 p.
3. Dobre A. Survey of Automatic Modulation Classification Techniques: Classical Approaches and New Trends / A. Dobre, A. Abdi, Y. Bar-Ness, W. Su. – USA, 2005. – 63 p.
4. Su W. Comparison and Simulation of Digital Modulation Recognition Algorithms / W. Su, J. Kosinski // Annual Joint Electronic Warfare Conference, 2003. – P. 7.
5. United States Patent № 7428270. Method and system for detecting and classifying the modulation / Christian Dubuc.
6. Azzouz E. E. Automatic Modulation Recognition of Communication Signals / E. E. Azzouz, A. K. Nandi. – Kluwer Academic Publishers, 1996. – 231 p.

7. Ebrahimzadeh A. Digital signal types identification using a hierarchical SVM – based classifier and efficient features / A. Ebrahimzadeh, S. Seyedin. – Computing : Theory and Applications, 2007. – P. 521–525.
8. Shermeh A. An intelligent system for classification and communication formats using PSO / A. Shermeh, R. Ghaderi // Informatica. – 2008. – Vol. 32, Issue 3. – P. 213–218.
9. Нагорнюк О. А. Алгоритм автоматизованого розпізнавання виду модуляції сигналів з постійною амплітудою при невідомих апіорних значеннях параметрів / О. А. Нагорнюк, І. Г. Грабар // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – Спецвип. 2. – С. 46–56.
10. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
11. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин – М. : Высшая школа, 1989. – 232 с.
12. Abdi H. Mathematique pour les sciences cognitive / H. Abdi, D. Valentin. – Grenoble: PUG, 2006. – 248 p.
13. Алгоритм оцінювання несучої частоти та параметрів імпульсів тактової синхронізації демодуляторів сигналів з фазовою маніпуляцією / О. А. Нагорнюк, Р. В. Дзюбчук, В. В. Павлюк, М. С. Поляков // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 131–139.
14. Mikhalov G. A. Parametric estimates by the Monte Carlo method / G. A. Mikhalov. – Utrecht, Netherlands: VSP, 1999. – 376 p.

Подано 19.08.13

**А. А. Нагорнюк**

**СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С ПЕРЕМЕННОЙ АМПЛИТУДОЙ В УСЛОВИЯХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

*В статье предложен способ автоматизированного распознавания вида модуляции сигналов, принадлежащих к классу сигналов с переменной амплитудой, в условиях отсутствия информации об априорных значениях параметров. Применённые модуляционные признаки и подходы к оценке неизвестных параметров позволили увеличить количество видов модуляций, которые распознаются, и улучшить вероятность правильного распознавания при малых отношениях сигнал/шум.*

**O. A. Nahorniuk**

**AUTOMATED MODULATION RECOGNITION METHOD FOR IRREGULAR AMPLITUDE SIGNALS UNDER PARAMETRIC UNCERTAINTY**

*Automated modulation recognition method for irregular amplitude signals under lack of the a priori parameters values is proposed in the article. The used modulation features and approaches to unknown parameters estimation allowed to increase the numbers of recognized modulations and improve the probability of correct recognition under low signal to noise ratio.*