

УДК 681.883

М. П. ТРЕМБОВЕЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент;

М. М. СТЕПАНОВ, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник;

Є. В. ІВАНІЧЕНКО, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## Аналіз відомих методик адаптивної цифрової обробки сигналів у системах передавання дискретних повідомлень по радіоканалах зі складними негауссівськими завадами

**Здійснено аналіз широко використовуваних на практиці методик адаптивної цифрової обробки сигналів і обгрунтовано доцільність застосування методів роздільної компенсації завад.**

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа; негауссівські завади; адитивна завада; канал зв'язку; цифрова обробка сигналів.

### Вступ

Одна з найважливіших вимог, що висуваються до сучасних телекомунікаційних мереж, полягає в забезпеченні належної якості надаваних послуг. Це питання набуває дедалі більшої актуальності з огляду на стрімке урізноманітнення засобів зв'язку. І хоча вимоги до електромагнітної сумісності цих засобів невпинно посилюються, більшості систем зв'язку доводиться працювати під впливом усіх типів завад — флуктуаційних, зосереджених та імпульсних.

### Основна частина

Теорію потенційної завадостійкості В. А. Котельникова та теорію оптимального кодування, засновану К. Шенноном, можна вважати першими працями в цьому напрямку. Результати таких учених, як Н. Вінер, А. М. Колмогоров, С. О. Райс, Л. С. Понтрягін, Д. Міддлтон та ін., вважають класичними, здобутими на базі гауссівських моделей сигналів і завад.

Апарат теорії умовних випадкових процесів у вигляді нелінійних стохастичних диференціальних рівнянь (СДР) являє собою ефективний засіб теоретичного розв'язання багатьох задач, що постають у техніці зв'язку та в суміжних галузях, таких як радіонавігація, радіолокація, телемеханіка і т. ін. Опис моделей завад, як надто загальний, призводить до побудови дуже складних алгоритмів і способів обробки сигналів, реалізація яких не забезпечує належних показників якості прийому.

Тому протягом останніх 10-15 років пильну увагу привертають проблеми щодо прийому неперервних і дискретних повідомлень в умовах важких негауссівських завад. Підхід, який забезпечує практично ідеальні результати в цьому напрямку, спирається на використання моделей випадкових процесів, поданих у вигляді нелінійних СДР [5]. Застосування цього підходу та його узагальнені дозволило здобути фундаментальні теоретичні результати в галузі нелінійної фільтрації, які дають змогу оцінювати невідомі характеристики сигналів, здійснювати їх детектування на фоні негауссівських завад [1]. Ці питання вперше в своїх працях висвітлили Р. Л. Стратонович і Т. Кайлата, а згодом розвинули такі вітчизняні вчені, як В. І. Тихонова, Б. Р. Левіна, Ю. Г. Сосуліна, Д. Д. Кловський, а серед зарубіжних — Н. Ахмед, Г. Кушнер, Дж. Мелса.

З огляду на сказане найбільш ефективним підходом при розробці алгоритмів обробки сигналів слід вважати модифікацію загальних методів відповідно до особливостей завад, із адаптацією відомих алгоритмів прийому сигналів до реальних змін параметрів каналу зв'язку та завад, які на нього впливають.

Боротьба із зосередженими завадами (ЗЗ), зокрема негауссівськими, викликає чимало труднощів. Ця проблема стає майже не розв'язуваною, коли в каналі присутні додаткові завади, належні до проміжного типу. Більшість методів, застосовуваних на практиці для компенсації ЗЗ, спирається на оцінювально-компенсаційні прийоми режекторної та медіанної фільтрації [2]. Утім усі зазначені методики мають основний недолік — невисоку ефективність за умов впливу негауссівських завад.

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу за останнє десятиріччя дав поштовх до успішного розв'язання цієї технічної проблеми. Ідеться передусім про нелінійну цифрову обробку сигналів у їх спектральній області.

Варто наголосити, що існує багато причин виникнення в каналах зв'язку **адитивних завад** — як штучного, так і природного характеру. Такі завади, у свою чергу, поділяються за своїми характеристиками на кілька умовних категорій: зосереджені (за частотою), вузькосмугові, імпульсні (зосереджені за часом) та флуктуаційні (розподілені за часом і частотою) [3].

До останньої категорії — **флуктуаційні завади** — можна віднести теплові та дробові шуми самої апаратури, тобто завади штучного характеру, і завади природного походження, такі як сонячне випромінювання тощо. Шуми штучного характеру мають постійну спектральну густину потужності в дуже широкій смузі частот.

**Завади імпульсного походження** виникають унаслідок процесів комутації в електричних колах (починаючи від спрацювання реле та закінчуючи силовою технікою), потужність яких вимірюється в десятках і тисячах кіловат-годин. Імпульсні завади (ІЗ) можуть виступати як поодинокі впливи, а також являти собою потоки з певною інтенсивністю [4]. Кількість імпульсів, що виникають на деякому інтервалі за певний період часу, зазвичай має розподіл за законом Пуассона. При цьому розглядати поодинокі імпульси, тривалість яких менша за тривалість сигналу, сенсу немає, а отже, ними можна знехтувати.

Інтенсивність потоку ІЗ можна описати такою моделлю:

$$u(t) = \sum_i A_i \delta(t - t_i), \quad (1)$$

де  $A_i$  — площа  $i$ -го елементарного імпульсу;  $t_i$  — момент випадкового виявлення;

$$\delta(t - t_i) = \begin{cases} 0, & t \neq t_i; \\ \infty, & t = t_i. \end{cases} \quad (2)$$

Амплітуди ІЗ у теоретичному вигляді (1) прямують до нескінченності. Проте навіть обмеження амплітуди сигналу практично зводить нанівець дію завади.

Конкретні загальні положення щодо статистичних характеристик ЗЗ сформулювати складно через існування великої кількості різноманітних ЗЗ. Зокрема, властивості ЗЗ залежать від місця її створення, діапазону хвиль, стану іоносфери (для багатопроменевих радіоканалів) тощо.

У разі ЗЗ, ідеальна математична модель — це сума монохроматичних коливань із випадковими постійними параметрами:

$$u(t) = \sum_{i=1}^N A_i \exp\{j(\omega_i t + \varphi_i)\}. \quad (3)$$

Згідно з виразом (3) комплексною обвідною ЗЗ слід вважати відхилення частот  $\omega_i$  окремих складових ЗЗ від носійної частоти  $\omega_0$ .

Такого виду ідеалізовану заваду теоретично досить легко компенсувати [5]. Адаже спектр кожного з коливань являє собою дельта-функцію, а сумарна смуга частот цієї завади прямує до нуля. Зазначена властивість є, по суті, дуальною стосовно властивості, що впливає з моделі (1) імпульсної завади:

$$w(t) = T \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \right) \exp \left\{ -\frac{(\tau - u)^2}{2\sigma^2} \right\}. \quad (4)$$

де  $T$  — ступінь відсіченості, який визначається за допомогою ймовірності  $P(\tau < \tau_0)$ .

Варто наголосити, що кожний доданок у сумі (3) є не гармонічним, а квазігармонічним коливанням, котре має обмежену ширину спектра. Тому повне подавлення таких завад неможливе.

Якщо всі доданки моделі (3) мають властивості гауссівських випадкових процесів, тоді і їх сума набуває тих самих властивостей. Проте в межах гауссівської моделі залежно від характеристик каналу та амплітуди окремих складових зосереджені

завади можуть бути розподілені за законами Релея, Райса або за параметричним законом [1]. Розподіл зазначеної суми для негауссівських моделей знайти набагато складніше, причому ця задача розв'язувана тільки за умови, що в смузі каналу зв'язку діє не одна ЗЗ. Тоді на основі центральної граничної теореми теорії ймовірності можна зробити припущення про гауссівський розподіл відповідної суми.

### Висновок

Виконано аналіз моделей і ймовірнісних характеристик адитивних завад у каналах зв'язку. Як показують результати аналізу, апроксимацію реальних завад та синтез алгоритмів демодуляції слід здійснювати на базі квазідетермінованих моделей феноменологічного типу для ІЗ та квазігармонічних моделей для ЗЗ. Показано, що чіткої межі між ЗЗ та ІЗ не існує, причому більшість негауссівських завад можна аналізувати як завади проміжного типу, а ті, у свою чергу, розглядати як радіоімпульси з високочастотним наповненням і апроксимувати за допомогою відповідних моделей.

### Список використаної літератури

1. **Кловский, Д. Д.** Теория передачи сообщений / Д. Кловский. — М.: Радио и связь, 1973. — 376 с.
2. **Сосулин, Ю. Г.** Теория детектирования и оценки стохастических сигналов в радиотехнике. — М.: Сов. радио, 1978. — 320 с.
3. **Тихонов, В. И.** Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. — М.: Радио и связь, 1991. — 608 с.
4. **Антонов, О. Е.** Оптимальное обнаружение сигналов в негауссовых помехах. Обнаружение полностью известного сигнала / О. Е. Антонов // Радиотехника и электроника. — 1967. — ТХП, вып. 5. — С. 579–586.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор **В. Г. Сайко**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

*М. П. Трёмбовецкий, М. Н. Степанов, Е. В. Иванченко*

### АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДИК АДАПТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ ПО РАДИОКАНАЛАМ СО СЛОЖНЫМИ НЕГАУССОВСКИМИ ПОМЕХАМИ

*Осуществлен анализ известных методик адаптивной цифровой обработки сигналов. Обоснована целесообразность методов раздельной компенсации помех.*

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть; негауссовские помехи; аддитивная помеха; канал связи; цифровая обработка сигналов.

*M. P. Trembovetskiy, M. M. Stepanov, E. V. Ivanichenko*

### ANALYSIS OF EXISTING METHODS ADAPTIVE DIGITAL SIGNAL PROCESSING SYSTEMS TRANSFER DISCRETE MESSAGES IN THE RADIO CHANNEL WITH A COMPLEX NON GAUSS NOISE INTERFERENCE

*The analysis of existing methods of adaptive digital signal processing. It demonstrated the feasibility of separate compensation methods of interferences.*

**Keywords:** telecommunications network; non gauss noise interference; additive noise; the communication channel; digital signal processing.