

УДК 621.396.677.49

МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПІД ЧАС ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ



Ю.Ю. Коляденко, М.О. Чурсанов, О.В. Коляденко

Харківський національний університет радіоелектроніки

Abstract – To ensure the electromagnetic compatibility of mobile networks, it is necessary to monitor and control: radio frequency resource, frequency and power of signals in the allocated frequency resource, group delay time, resistance parameters to linear attenuation and attenuation associated with multi-beam signal transmission, polarization signal parameters, location (coordinates) of moving sources. The evaluation of parameters based on the results of measurements is currently carried out based on observations, and decision-making is carried out based on sample statistics. The use of methods for measuring the parameters of network elements and communication signals against the background of thermal noise is proposed. The measurement methods are based on the recursive Robbins-Monro algorithm for estimating such parameters as random variables and the recursive Kalman-Bussey algorithm for estimating random processes. The efficiency analysis of recursive algorithms of optimal estimation of random variables and random processes is carried out. The advantage of recursive estimation methods is that, in practice, they are more effective than statistical processing methods, as they provide real-time estimation and do not require a waste of time for accumulation and processing. In addition to noise, extraneous signals are concentrated in the spectrum with the measured signal in radio communication channels. This fact determines the problem relevance of extracting from the additive mixture of signals and interference of useful signals that come from measurements. Methods for measuring the parameters of network elements and communication signals in the conditions of external signals have been developed. The possibility of using in the meters of parameters of mobile communication networks adaptive noise compensators with adaptive reference reception channel is considered, reducing the power of extraneous signals by 20 ... 30 decibels and more.

Анотація – Для забезпечення електромагнітної сумісності мереж мобільного зв'язку необхідна організація моніторингу та контролю: радіочастотного ресурсу – частоти та потужності сигналів у виділеному частотному ресурсі, групового часу затримки, параметрів стійкості до лінійного загасання і загасання, пов'язаного з багатопроменевим проходженням сигналу, поляризаційних параметрів сигналів, розташування (координати) рухомих джерел. У даний час оцінка параметрів за результатами вимірювань проводиться на підставі спостережень, а прийняття рішення здійснюється на підставі вибіркової статистики. Запропоновано використання методів вимірювання параметрів мережних елементів і сигналів зв'язку на фоні шумів. В основу методів вимірювання покладено рекурсивний алгоритм Роббінса-Монро для оцінювання випадкових величин та рекурсивний алгоритм Калмана-Бьюсі для оцінювання стану випадкових процесів. Проведено аналіз ефективності рекурсивних алгоритмів оптимальної оцінки випадкових величин і випадкових процесів. Перевагою рекурсивних методів оцінювання є те, що на практиці вони виявляються більш ефективними, ніж методи обробки статистики, оскільки дають оцінку в реальному масштабі часу і не вимагають втрат часу на накопичення й обробку. У радіоканалах зв'язку крім шумів присутні сторонні сигнали, зосереджені по спектру з вимірюваним сигналом. Це обумовлює актуальність задачі виділення з адитивної суміші сигналів і завад корисних сигналів, які надходять у результаті вимірів. Розроблено методи вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів зв'язку в умовах сторонніх сигналів. Розглянуто можливість використання у вимірювачах параметрів мереж мобільного зв'язку адаптивних компенсаторів завад з адаптивним опорним каналом прийому, що знижують потужності сторонніх сигналів на 20 ... 30 дБ і більше.

Вступ

Сучасні мережі мобільного зв'язку (ММЗ) будь-якого рівня LAN, WAN, MAN можуть розглядатися як складні організаційно-технічні, ієрархічні структури, додатки яких розподілені між клієнтом, мережею і сервером. Для успішної та ефективної роботи ММЗ застосовують відповідні методи мережного і системного управління [1-4], які вимагають постійного та надійного метрологічного забезпечення та отриман-

ня відповідних ефективних оцінок параметрів вимірюваних випадкових величин, процесів або полів. Система управління від метрологічної підсистеми отримує необхідну інформацію для своєчасного прийняття рішення про резервування, перемикавання режимів або виконання інших процедур на основі отримуваної статистики.

Провівши аналіз існуючих технологій вимірювань, процедур оцінки вимірної інформації та прийняття рішення, виділено три проблеми метрологічної підсистеми. Першою проблемою є великі часові витрати на шляху вимірювання-обробка-управління. Вимірною інформацією про стан $\bar{y}(t)$ y_k надходить до блоку оцінки (рис. 1), де здійснюється її статистична обробка $\bar{y}(t) \rightarrow \hat{x}(t)$. Далі оброблена інформація надходить на диспетчерський пульти оператора. Інформація зберігається в базі даних і реєструється в черговому журналі. Прийняття рішення про резервування, перемикавання режимів тощо здійснюється особою, яка приймає рішення (ОПР). За такої умови найбільші витрати часу для прийняття рішень припадають на обробку вибіркової статистики і на реакцію ОПР.

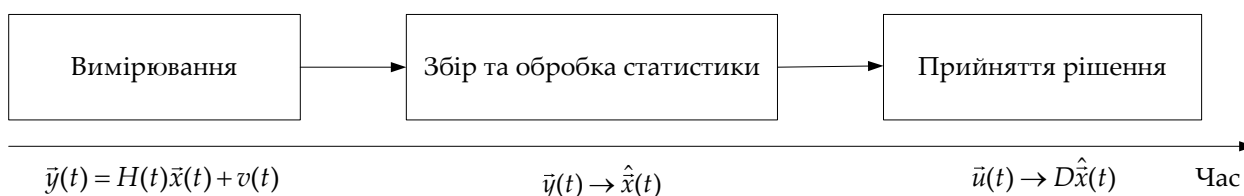


Рис. 1. Час, який витрачено на вимірювання, набір статистики та прийняття рішення

Сучасні системи управління в ММЗ є автоматичними і працюють в режимі реального часу, $\bar{u}(t) \rightarrow D\hat{x}(t)$.

Другою проблемою є завади $\bar{v}(t)$ під час вимірювань і передачі сигналів каналами зв'язку. Ці завади можуть мати різну фізичну природу і різну ймовірнісно-часову структуру. Типовою, яка завжди має місце, завадою $\bar{v}(t)$ є білий гаусівський шум. Його джерелом є теплові шуми елементів і лінії зв'язку, неточності відліків та ін. Білий гаусівський шум погіршує якість оцінки та її точність. Крім білого гаусівського шуму $\bar{v}(t)$, часто діють так звані «забарвлені шуми» $\bar{n}(t)$ – зосереджені по спектру корисного сигналу. Такими завадами можуть бути завади від сторонніх джерел або сусідніх каналів зв'язку. Наявність таких завад може повністю спотворити статистику. Тому боротьбі з даним класом завад необхідно приділяти особливу увагу.

Третьою проблемою є великий перелік об'єктів вимірювань і набір параметрів вимірювання. Зокрема, потрібно більше часу на доставку результатів вимірювань до засобів обробки, їх обробку і використання. Маніпулювання множиною статистик одночасно ґрунтується на необхідності застосування багатокритеріальних процедур, стійкість та якість яких може виявитися невисокими.

У зв'язку з цим, розробка методики моніторингу та контролю параметрів сигналів та елементів зв'язку в ММЗ є актуальним науковим завданням. Об'єктом дослідження є процес вимірювання й оцінки параметрів у мережі мобільного зв'язку. Предметом дослідження є методика моніторингу та контролю параметрів сигналів і

мережних елементів ММЗ. Метою даної роботи є розробка методики моніторингу та контролю параметрів сигналів і мережних елементів ММЗ.

I. Система управління параметрами сигналів і мережних елементів мережі мобільного зв'язку

Узагальнена структурна схема системи управління представлена на рис. 2. Під об'єктом управління може розглядатися як мережа загалом, так і окремі мережні елементи на різних рівнях ієрархії.



Рис. 2. Узагальнена структурна схема системи управління

З об'єкта управління на засіб вимірювання надходить сигнал $s(t)$, який перетворюється на сигнал $x(t)$ для передачі каналом зв'язку. В даний час оцінка параметрів за результатами вимірювань $\hat{x}(t)$ для безперервних спостережень або $\hat{x}(k)$ для дискретних проводиться на підставі цих спостережень $y(t)$, а прийняття рішення $f(\hat{x}(t))$ здійснюється на підставі вибіркової статистики. Такий цикл має досить велику протяжність. З огляду на те, що вимоги щодо надійності дуже високі, стає очевидним, що часові затримки стають неприпустимими [5, 6].

Крім того, об'єкт управління, блок обробки статистики і блок прийняття рішення зазвичай територіально рознесені та з'єднані за допомогою каналів зв'язку. Вимірювана інформація, що проходить каналом зв'язку, спотворюється як адитивними, так і мультиплікативними завадами та шумами. Даний факт знижує достовірність результатів вимірювання та точність керуючих впливів. Тому для підвищення достовірності передача результатів вимірювання може здійснюватися повторно. Оскільки на кожному з етапів виконання процедур, представлених на рис. 2, втрачається відповідний час, то на практиці намагаються ці часові втрати мінімізувати.

II. Основні параметри моніторингу та контролю

Рішення задачі забезпечення ЕМС ММЗ неможливо без організації моніторингу і контролю:

- радіочастотного ресурсу;
- частоти та потужності сигналів у виділеному частотному ресурсі;
- групового часу затримки;

- параметрів стійкості до лінійного загасання і загасання, пов'язаного з багатопроменевим проходженням сигналу;
- поляризаційних параметрів сигналів;
- місця розташування (координати) абонентських станцій (АС).

Відмінною рисою ММЗ є те, що параметри вимірювань є випадковими процесами або випадковими полями. Тому їх оцінку необхідно проводити з використанням статистичних методів на основі адекватних математичних моделей вимірювальних систем ММЗ.

III. Методи вимірювання параметрів мережних елементів і сигналів зв'язку на фоні теплових шумів

Рекурсивні методи оптимальної оцінки випадкових величин

Основні параметри ММЗ, що підлягають вимірюванню, представляють собою випадкові процеси. Однак, багато з цих процесів можна вважати ергодичними, що спрощує аналіз і дозволяє застосовувати математичний апарат теорії ймовірностей для випадкових величин.

Для рекурсивної оцінки параметрів таких випадкових об'єктів, як випадкові величини, розроблено процедури стохастичної апроксимації [7, 8]:

- Роббінса-Монро;
- Кіфера-Вольфовиця;
- Ньютона-Рафсона;
- Качмажа тощо.

Так, рекурсивна процедура Роббінса-Монро на $k+1$ кроці представляється у вигляді

$$\hat{x}(k+1) = \hat{x}(k) + K(k)[y(k) - H(k)\hat{x}(k)], \quad (1)$$

де $y(k)$ – рівняння спостереження $y(t) = H(t)x(t) + \xi(t)$,

$H(t)$ – коефіцієнт (матриця) спостереження,

$\xi(t)$ – помилки вимірювання або завади в каналі спостереження, які часто апроксимують білим гаусовим шумом,

$K(k)$ – коефіцієнт, що забезпечує збіжність процедури (1).

На рис. 3 представлено структурну схему процедури (1).

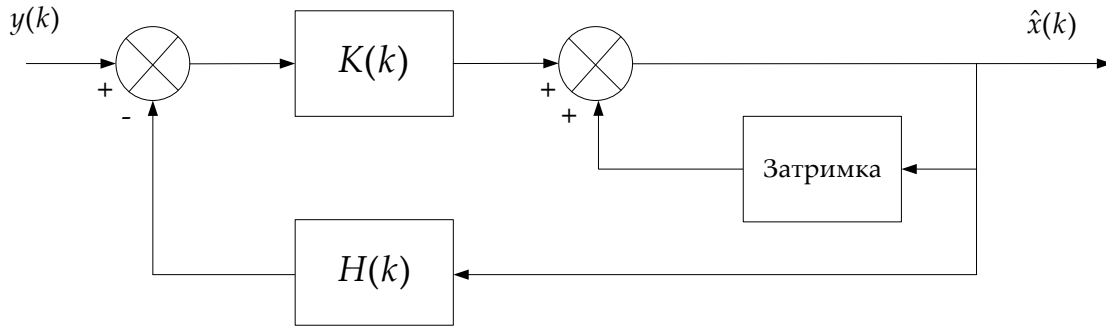


Рис. 3. Структурна схема дискретного алгоритму Роббінса-Монро

До коефіцієнту збіжності процедури (1) пред'являються особливі вимоги, що забезпечують виконання умов стійкості. Цей коефіцієнт повинен відповідати умовам Дворецького [8]:

$$\sum_{k=0}^{\infty} K(k) \rightarrow \infty, \quad \sum_{k=0}^{\infty} K^2(k) < \infty. \quad (2)$$

Коефіцієнт, що забезпечує збіжність, повинен бути меншим за одиницю, наприклад, може мати вигляд

$$K(k) = \frac{1}{k}, \quad k = \overline{1, \infty}. \quad (3)$$

Слід зауважити, що всі процедури градієнтного типу відрізняються вибором характеру залежностей $K(k)$. Так, у відомій процедурі Уїдроу-Хоффа $K(k) = const$.

Рекурсивна процедура Ньютона-Рафсона на $k + 1$ кроці представляється у вигляді [8]:

$$\hat{x}(k+1) = \hat{x}(k) + \gamma G_x^{-1} [y(k) - H(k)\hat{x}(k)], \quad (4)$$

де $\gamma = \pm 1$ визначається таким чином, щоб другий доданок в правій частині виявився з негативним знаком;

$G_x = [\partial g_i(k) / \partial x_i(k)]$ – градієнт функції $g(k) = [y(k) - H(k)\hat{x}(k)]$.

За допомогою імітаційного моделювання (рис. 4) отримано:

- випадкову величину, яку представлено у часі;
- випадкову величину, що спостерігається;
- оцінку спостереження, яку отримано за допомогою процедури (1);
- помилку оцінки.

Як видно з даного рис. 4, оцінка спостереження за перехідний період часу встановлюється до істинного значення, про що свідчить помилка оцінки.

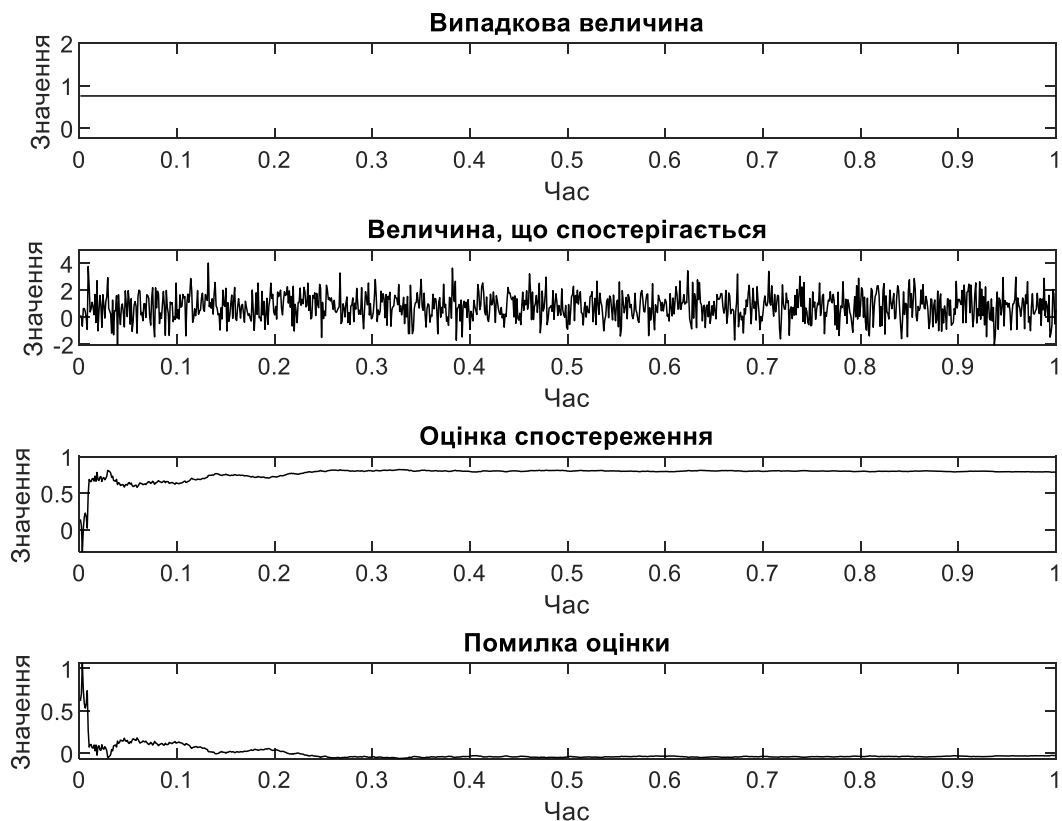


Рис. 4. Результати імітаційного моделювання

Рекурсивні процедури оцінки (1) і (4), так само як і оцінки, отримані методами обробки вибірки, мають однакову ефективність і в асимптотиці дають одне і те ж значення \hat{x} .

Перевагою розглянутих рекурсивних методів оцінювання є те, що на практиці вони виявляються більш ефективними, оскільки дають оцінку в реальному масштабі часу, а не вимагають втрат часу на накопичення й обробку. Таким чином, процедуру рекурсивної оцінки можна перервати на будь-якому етапі її отримання та тут же використовувати для вирішення завдань управління. Крім того, рекурсивні процедури оцінки випадкових величин узгоджуються з процедурами оцінки випадкових процесів, які розглянуті нижче. Інакше кажучи, якщо є процедура оцінки випадкових процесів, то вона також може використовуватися і для випадкових величин. Однак протилежне не виконується.

Рекурсивні методи оцінки випадкових процесів і полів

Для оцінки випадкових процесів і полів розроблена досить ефективна оптимальна в гаусівському та лінійному наближеннях процедура, що отримала назву фільтра Калмана-Бьюсі. В основі цієї процедури є математична модель у вигляді рівняння стану та рівняння спостереження. Сама ж процедура оцінки $\hat{x}(k)$ має такий вигляд [8]:

$$\hat{x}(k+1) = \Phi(k+1, k)\hat{x}(k) + K(k)[y(k) - H(k)\hat{x}(k)], \quad (5)$$

де $\Phi(k+1, k)$ – коефіцієнт (матриця) стану системи;

$K(k)$ – коефіцієнт, що забезпечує стійкість і оптимальну швидкість збіжності алгоритму до сталого стану, який підлягає рекурсивному обчисленню на кожному кроці згідно з алгоритмом

$$K(k+1) = P(k+1, k)H^T(k)V^{-1}(k+1), \quad (6)$$

де

$$P(k+1, k) = \Phi(k+1, k)P(k, k)\Phi^T(k+1, k) + N_n(k), \quad (7)$$

$$V(k+1) = H(k)P(k+1, k)H^T(k) + N_\xi(k), \quad (8)$$

$$P(k, k) = P(k, k-1) - K(k)H(k)P(k, k), \quad (9)$$

якщо $N_n(k), N_\xi(k)$ – значення спектральних густин потужності шуму, що породжує $n(k)$, і шуму спостереження $\xi(k)$ відповідно;

$[\cdot]^T$ – операція транспонування матриці. Значення $P(k+1, k)$ відповідає апостеріорній дисперсії помилки оцінки.

На рис. 5 представлена структурна схема алгоритму оцінки (5).

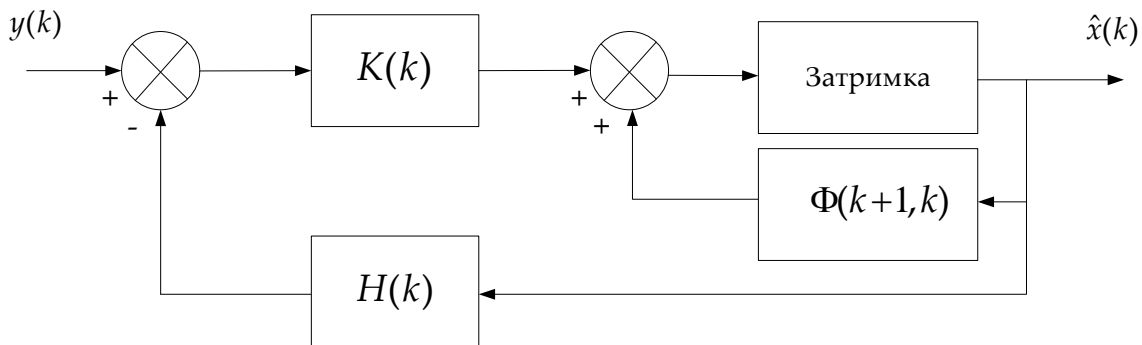


Рис. 5. Структурна схема дискретного фільтра Калмана-Бьюсі

Шляхом імітаційного моделювання отримано реалізацію самого процесу, процесу, що спостерігається, оцінки спостереження (рис. 6), а також апостеріорну дисперсію помилки оцінки (рис. 7).

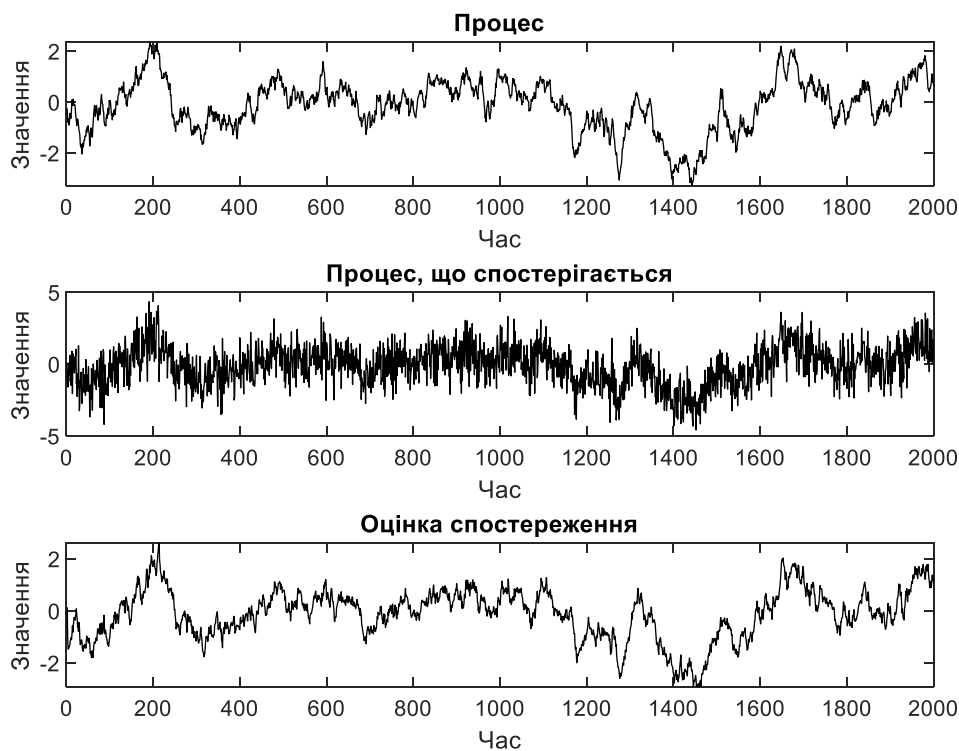


Рис. 6. Результати моделювання

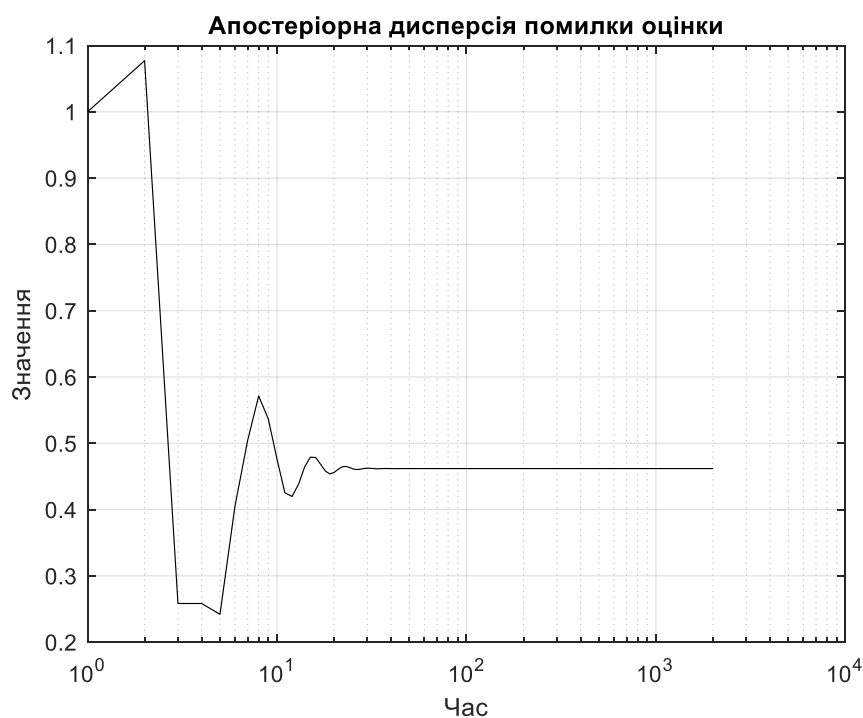


Рис. 7. Апостеріорна дисперсія помилки оцінки

Слід зазначити ще одну важливу відмінність фільтра Калмана-Бьюсі від процедур (1), (4). Це наявність множника $\Phi(k+1,k)$ – матриці стану з елементами

$\Phi_{ij} = \exp\{-\Delta t_k / \tau_{kop}\}$, які визначають величину кореляційного зв'язку між сусідніми відліковими значеннями спостережуваного процесу та величину зв'язку між компонентами i та j при $i \neq j$. Тут доречно зазначити, що зі збільшенням кореляції відліків процесу $x(k), x(k-1), \dots$, який спостерігається, підвищується якість оцінки [7].

IV. Метод вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів в умовах зосереджених по спектру завад

У радіоканалах зв'язку, крім шумів, присутні сторонні сигнали, зосереджені по спектру з вимірюваним сигналом. Це обумовлює актуальність завдання виділення з адитивної суміші сигналів і завад корисних сигналів, які надходять у результаті вимірів. Для вирішення даного завдання можливе використання різних методів, наприклад, вибір завадостійких сигналів, кодування, передача з підтвердженням, використання вирішального зворотнього зв'язку тощо. В радіоканалах особливу роль відіграє просторово-часова обробка сигналів (ПЧОС), зокрема, алгоритми адаптивних антенних решіток (ААР) і адаптивних компенсаторів завад (АКЗ) [9-11].

Для ААР як опорний сигнал може бути використана інформація щодо напрямку приходу корисного сигналу. Однак, за наявності досить потужної завади в приймальному пристрої, визначення напрямку приходу корисного сигналу виявляється складним завданням. В АКЗ опорний сигнал формують в опорному каналі прийому (ОКП), в якому відсутній корисний сигнал.

Проблема виділення корисного сигналу в опорному каналі носить самостійний характер. Для цього, наприклад, може бути використана інформація про направлення приходу корисного сигналу $s(t)$ або про його поляризацію. Тоді, орієнтуючи антену ОКП нулем діаграми спрямованості або нулем поляризаційної діаграми на сигнал $s(t)$, отримаємо шукане значення

$$y_o(t) = n_o(t) + v_o(t), \quad (10)$$

де $n_o(t)$ – завада в ОКП, а $v_o(t)$ – шум в ОКП.

В реальній обстановці в ММЗ навряд чи стане відомо напрямком на джерело завад, та й встановити антену опорного каналу потрібним чином, навряд чи вдасться. Крім того, напрямок приходу корисного сигналу може постійно змінюватися, що вимагає підстроювання нуля діаграми спрямованості антени ОКП у напрямку його приходу в реальному масштабі часу. Для вирішення задачі адаптивної компенсації завад необхідно знаходити такі технічні рішення, щоб всі зазначені дії щодо організації опорного каналу були максимально спрощені, автоматизовані або формалізовані.

У даній роботі розглядається можливість застосування в ОКП двоелементної ААР. Для формування необхідного амплітудно-фазового розподілу поля по апертурі ААР за допомогою вектору вагових коефіцієнтів (ВВК) пропонується використовувати пристрій оцінки просторового спектра сигналів.

Аналітичне представлення алгоритму формування оптимального амплітудно-фазового розподілу (АФР) поля по апертурі антенної решітки ОКП описується таким чином:

$$\hat{w}(t)_{opt on} = R_{yy}^{-1} R_n, \quad (11)$$

де R_{yy} – кореляційна матриця прийнятих антенною решіткою суміші сигналів, завад і шумів;

R_n – вектор завади, яким управляють.

Структурну схему формування ОКП представлено на рис. 8. У блоці просторового спектра здійснюється визначення напрямку приходу досить потужної завади. Потім ця інформація використовується для формування R_{yy} і R_n у блоці управління АФР. Оцінка ВВК $\hat{w}(t)$ для АКЗ знаходиться в результаті будь-якої градієнтної процедури, наприклад, рекурсивної процедури з постійним кроковим коефіцієнтом μ :

$$\frac{d\hat{w}(t)}{dt} = \mu y_o(t) \Delta y(t). \quad (12)$$

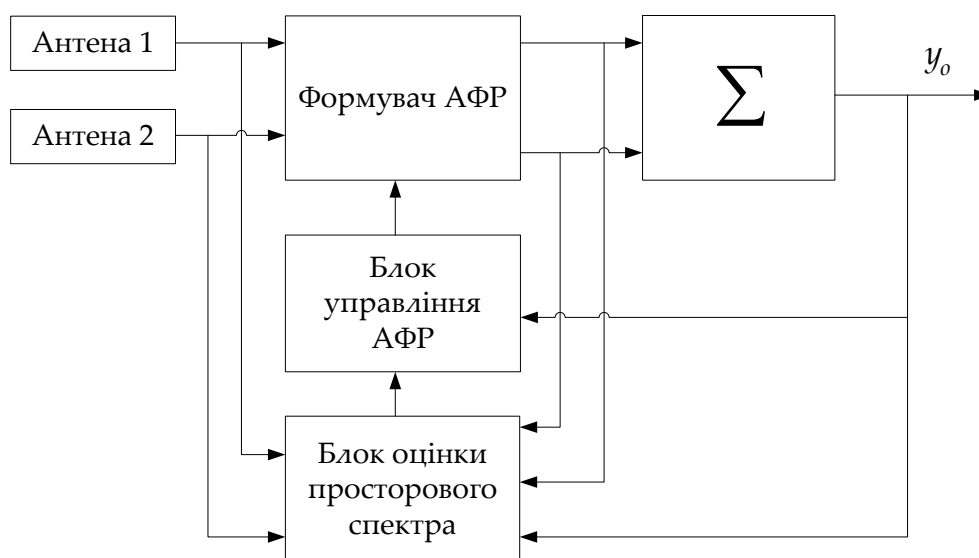


Рис. 8. Структурна схема формування ОКП

На рис. 9 представлено структурну схему АКЗ, синтезованого відповідно до рівняння (12). Очевидно, процедура оцінки ВВК (3) може бути модернізована і приведена, наприклад, до вигляду Робінса-Монро, Ньютон-Рафсона або до вигляду Калмана-Бьюсі [8].

Проведено порівняльний аналіз ефективності АКЗ (3) з адаптивним ОКП і без нього. Як антени були використані вібратори з довжиною одного плеча рівному чверті довжини хвилі. Антена ОКП орієнтована нулем діаграми спрямованості на 0° . Критерієм ефективності АКЗ обрано традиційний для задач посторово-часової об-

робки показник ВСЗШ – відношення рівнів корисного сигналу P_c до суми рівнів завади P_3 та шуму $P_{ш}$ у смузі частот прийому цього корисного сигналу.

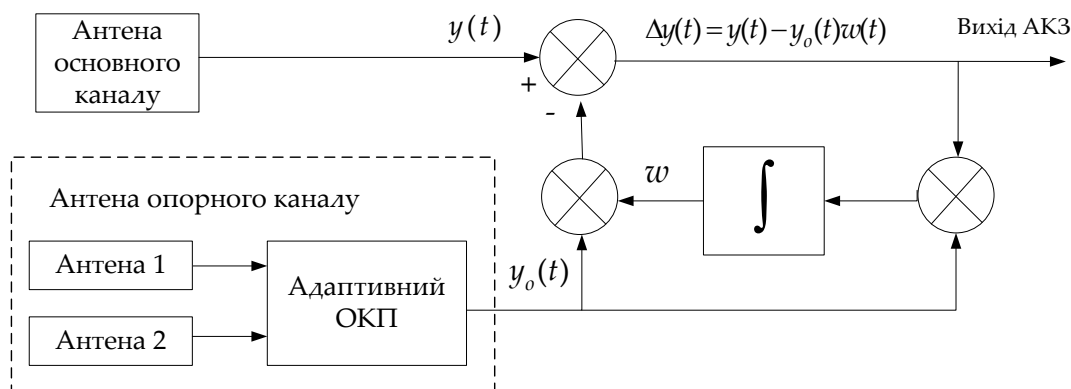


Рис. 9. Структурна схема АКЗ, синтезованого відповідно до рівняння (12)

Для отримання числових значень як вихідні дані використано такі співвідношення між рівнем прийнятих в основному каналі реалізацій: $P_c / P_{ш} = 20$ дБ, $P_3 / P_{ш} = 30$ дБ. Напрямок приходу завади $Q_n = 90^\circ$. Машинний експеримент полягав у тому, щоб, змінюючи кут приходу корисного сигналу, змінювалася і його потужність в ОКП за рахунок коефіцієнта передачі антени. Просочування корисного сигналу в опорний канал вносить деструктивний вплив на ефективність АКЗ. На рис. 10 а) і б) показано відповідно залежності ВСЗШ на виході АКЗ з адаптивним ОКП і зі звичайним (не підлаштовуваним) ОКП.

З отриманих залежностей видно, що ефективність АКЗ з адаптивним ОКП знижується несуттєво (на 3 ... 3,5 дБ) при збігу кутів приходу сигналу і завади. В даному випадку проявляється ефект засліплення ААР в ОКП. Водночас даний ефект проявляється тим менше, чим більше рівень завади. Так, для порівняння (верхня крива на рис. 10 а) наведено залежність ВСЗШ при $P_3 / P_{ш} = 50$ дБ.

На рис. 10 б) представлено залежність ВСЗШ від кута приходу сигналу без адаптивного ОКП. З отриманого графіка видно, що в міру переміщення джерела корисного сигналу, спочатку ефективність плавно знижується. В даному випадку проявляється ефект просочування корисного сигналу в ОКП. При досягненні його рівня більше $0,7P_{oc}$, що відповідає $60^\circ \dots 120^\circ$, спостерігається різке зниження ефективності, тому що разом з завадою компенсується і корисний сигнал.

Висновки

1. Для забезпечення ЕМС ММЗ необхідна організація моніторингу та контролю: радіочастотного ресурсу, частоти і потужності сигналів у виділеному частотному ресурсі, групового часу затримки, параметрів стійкості до лінійного загасання і зага-

сання, пов'язаного з багатопроменевим проходженням сигналу, поляризаційних параметрів сигналів, розташування (координати) рухомих джерел систем.

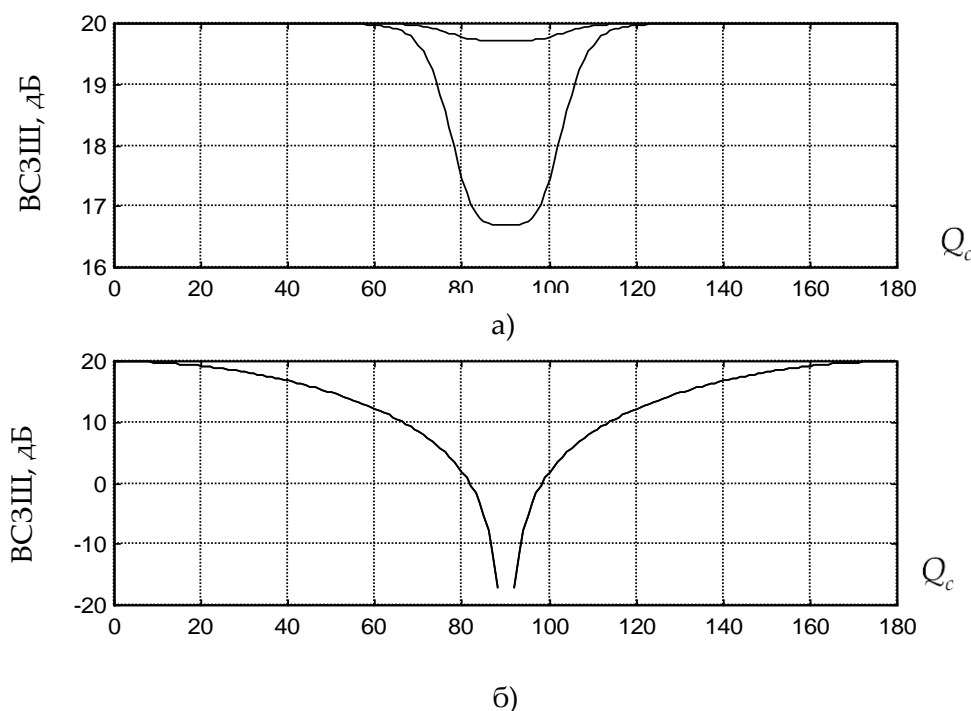


Рис. 10. Залежності ВСЗШ на виході АКЗ

2. Система управління від метрологічної підсистеми отримує необхідну інформацію для своєчасного прийняття рішення щодо резервування, перемикання режимів або виконання інших процедур на основі одержуваної статистики. В даний час оцінка параметрів за результатами вимірювань проводиться на підставі спостережень, а прийняття рішення здійснюється на підставі вибіркової статистики. Такий цикл має досить велику протяжність. З огляду на те, що вимоги щодо надійності дуже високі, то затримки в часі стають неприпустимими.

3. Оскільки об'єкт управління, блок обробки статистики і блок прийняття рішення зазвичай територіально рознесені та з'єднані за допомогою каналу зв'язку, то виміряна інформація, проходячи по каналу зв'язку, спотворюється як адитивними, так і мультиплікативними завадами і шумами. Це знижує вірогідність результатів вимірювання та точність інформації, за допомогою якої здійснюється управління. За таких умов доводиться передавати результати вимірювання повторно, що так само збільшує час затримки. Оскільки ММЗ представляють собою складні просторово-розподілені структури, це накладає певні обмеження на процедури вимірювання, контролю та управління. Через наявність завад різної природи, що надходять від датчиків статистичні дані мають певну часову затримку. Це вимагає залучення відповідних алгоритмів обробки результатів вимірювання та узгодження одержуваних оцінок зі змістом тих завдань, для яких ці оцінки формуються.

4. Серед рекурсивних процедур виділено два основні методи, орієнтовані відповідно на отримання оцінки випадкової величини (наприклад, методи стохастичної апроксимації) і випадкового процесу (наприклад, процедури Калмана-Бьюсі, марківської нелінійної фільтрації та ін.). У першому випадку оцінка сходиться до одного значення, що визначається як середнє на інтервалі часу спостереження, а в другому – при оцінці випадкового процесу формується послідовність оцінюваних значень, що характеризують отримання поточної оцінки на кожному кроці ітерації.

5. Розроблено методи вимірювань параметрів мережних елементів і сигналів зв'язку в умовах сторонніх сигналів. Розглянуто можливість використання у вимірювачах параметрів ММЗ адаптивних компенсаторів завад з адаптивним опорним каналом приймання, що знижують потужності сторонніх сигналів на 20 ... 30 дБ і більше.

Список літератури

1. Кадацкая, О. И., Сабурова, С. А. (2016), "Методы метрологического обеспечения параметров качества NGN-сетей", Системы обработки информации, №. 6, С. 52-54. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2016_6_14
2. Кадацкая, О. И., Сабурова, С. А. (2015), "Мониторинг параметров качества услуг в технологии LTE в заданной электромагнитной обстановке", Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015): сб. науч. тр. первой междунар. науч.-техн. конф., 27 мая, г. Харьков, ХНУРЭ, С. 64–67.
3. Kadatskaya, O., Saburova, S. (2016), "Methods of measurement of quality parameters of services in mobile Intranet", Proceedings of the Third International IEEE Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology", PICS&T'2016, Ukraine, October 4-6, P. 195-198.
4. Романюк, В. А., Лисенко, О. І., Алексеева, І. В., Романюк, А. В., Новіков, В. І. (2017), "Підходи до розробки нової архітектури системи управління неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами", Математичні машини і системи, No. 2, С. 15-23.
5. Коляденко, Ю. Ю., Холод, Л. Н. (2004), "Проблемы внедрения современных систем управления в телекоммуникациях и методы их решения", Східно-Європейський журнал передових технологій, No. 3(9), С. 37-41.
6. Костин, А. А., Ребров, В. В. (2009), "Управление производительностью сети и качеством предоставляемых услуг", Электросвязь, No. 2, С. 42-45.
7. Сенин, А. И. (2010), Статистическая радиотехника. Примеры и задачи: учебное пособие, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 72 с.
8. Тихонов, В. И. (2012), Статистическая радиотехника, М.: ЁЁ Медиа, 623 с.
9. Марчук, Л. А. (1991), Пространственно-временная обработка сигналов в линиях радиосвязи, Л.: ВАС, 136 с.
10. Горбунов, Ю. Н., Акоюн, Г. Л. (2019), "Пространственно-временная обработка сигналов в радиолокации и радиоэлектронном подавлении: ограничение возможностей", Журнал радиоэлектроники, No. 6, URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun19/15/text.pdf> DOI 10.30898/1684-1719.2019.6.15
11. Коляденко, Ю. Ю. (2002), "Адаптивный компенсатор помех для систем абонентского радиодоступа", Прикладная радиоэлектроника. Всеукр. Межвед. Научн.-техн. сб., Том 1. No. 1, С. 94-98.