УДК 621.791.

С.В. Толюпа, Ю.Я. Самохвалов, В.А. Дружинін

Державний університет телекомунікацій, Київ

МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

У статті запропоновано метод контролю стану радіоканалу в системах інформаційної безпеки сутність якого полягає в тому, що оцінка передаточної характеристики каналу радіосистеми здійснюється методом поелементного ділення з використанням алгоритму виявлення подавлених шумовими завадами в частині смуги пілот-несучих із подальшим виключенням їх впливу на одержання остаточної оцінки передаточної характеристики.

Ключові слова: *завадостійкість, канал зв'язку, пілот-сигнал, інформаційна система.*

Вступ

Бурхлива інформатизація суспільства призвела до того, що в останнє десятиліття відбувся різкий стрибок обсягу інформації, що передається системами радіозв'язку. Істотно збільшилася кількість одночасно працюючих радіозасобів і систем зв'язку різного призначення. У кожній окремій системі значно зросла кількість абонентів. Помітно піднялася швидкість обробки і передачі інформації. Все це вимагало підвищення пропускної здатності, забезпечення якісних каналів звязку, показників швидкодії та електромагнітної сумісності систем радіозв'язку.

В останні десятиліття в області інфокомунікаційних систем для рішення таких науково-практичних задач було розроблено безліч ефективних технологій. Однією з них є розширення спектру сигналу псевдовипадковою послідовністю. Смуга такого сигналу значно більше смуги інформаційної частини сигналу, що дозволяє збільшити завадостійкість прийому і реалізувати принцип кодового розподілу каналів (*CDMA*), а також підвищити інформаційну безпеку системи.

Основна частина

Для досягнення високої завадостійкості та ємності мобільних стільникових інформаційних систем зв'язку передбачається використовувати багаторівневу модуляцію в поєднанні із застосуванням турбокодів при передачі інформації. Потенційні переваги подібних видів модуляції в умовах використання багаточастотних систем зв'язку можуть бути реалізовані тільки при високій точності оцінки комплексної огінаючої прийнятого сигналу. Для цього застосовуються дискретні за часом та розподілені по частотах пілот-сигнали. Потік символів, який передається, зазвичай групується по слотами, які представляють собою упорядковану час-частотну сукупність певної кількості інформаційних і пілот-сигналів.

Однією з важливих відмінних особливостей безпеки інфокомунікаційних систем буде здатність ефективної адаптації до завадо-сигнальних і канальних умов функціонування. В даний час відомі методи адаптації до умов прийому зводяться до вибору швидкості передачі даних (типу модуляції і швидкості кодування) і до регулювання потужності переданого сигналу. У ряді випадків наявних методів адаптації виявляється недостатньо для адекватної зміни роботи системи.

Сьогодні розроблені методики, що дозволяють оцінити ослаблення сигналів в цих системах. У основі методик лежать емпіричні моделі взаємодії переданого сигналу із забудовою траси поширення. Вони дозволяють визначити усереднене значення медіанної потужності сигналу, що приймається, використовуючи асимптотичні формули, отримані за результатами експериментальних вимірів, і забезпечують адекватність для певних умов поширення. У вказаних моделях статистичні характеристики замирань і природа їх виникнення не враховуються, входять в набір емпіричних усереднених показників. В той же час, не знаючи міри негативного впливу замирань, не можна оцінити ефективність вживаних способів боротьби з ними і забезпечити необхідну безпеку передачі інформації.

У реальних умовах використання *OFDMA* стандарту передбачає наявність декількох сусідніх базових станцій, що працюють в одному частотному діапазоні з повним або частковим завантаженням каналу. Унаслідок частотної селективності каналу зв'язку і часткового (випадкового) його завантаження перешкоди, що створюються сусідніми базовими станціями для даного абонента (приймача), будуть істотно частотно залежними. Наприклад, може

спостерігатися часткове або повне перекриття піднесучих сусідніх базових станцій, потужність перешкоди від сусідньої базової станції може залежати від частоти унаслідок частотної селективності широкосмугового каналу зв'язку або індивідуального контролю потужності станцій, що інтерферують. Таким чином, процедури часткового використання підканалів і контролю потужності базовими станціями приводять до додаткової частотної селективності завадових сигналів - що істотно ускладнює завадову обстановку.

Таким чином, проблема оцінки стану каналу та вірогідності помилок з метою адаптивного управління параметрами мобільної радіомережі в системах радіозв'язку з ортогональними піднесучими, що функціонують в складній завадовій обстановці, є надзвичайно актуальною. Окрім цього, розробка математичних моделей для прогнозування вірогідності помилки в системах з ортогональними несучими, які функціонують в частото-селективному каналі за наявності перешкод від сусідніх базових станцій, є одним з ключових моментів при розробці програмних комплексів для моделювання роботи *OFDMA* систем радіозв'язку на системному підрівні, що дозволяють отримати кількісні оцінки характеристик для різних сценаріїв розгортання мережі мобільного Інтернет міського рівня.

Стратегічним напрямом при вирішенні задачі підвищення ефективності системи передачі інформації і забезпечення її безпеки в сучасних радіосистемах є перехід від систем з жорсткою структурою до адаптивних систем. В адаптивних системах алгоритми передачі і прийому сигналів можуть узгоджено змінюватися залежно від зміни зовнішніх умов. Алгоритми адаптації повинні дозволяти в умовах мінімальної апріорної інформації досягти оптимальних параметрів системи [1].

В основу технології *OFDM* закладений принцип демультиплексування високошвидкісного потоку даних на кілька низькошвидкісних потоків. Ці потоки паралельно передаються декількома піднесучими, які зсунуті одна відносно одної на величину ортогонального зсуву. Щоб забезпечити встановлені стандартами швидкості передачі інформації, використовуються різні ступені кодування згорточними кодами і різні види модуляції піднесучих сигналу. Кожна із піднесучих модулюється своїм потоком даних, причому ступінь кодування і метод модуляції залежать від швидкості передачі даних [2-3].

Вдосконалення методів формування та обробки сигналів з ортогональними гармонійними несучими, що проводиться на основі існуючих стандартів широкосмугового доступу, дозволяє підвищити енергетичну ефективність засобів радіозв'язку. Це, в свою чергу, дозволяє зменшити потужність передавача, що сприяє підвищенню прихованості передачі інформації, що є важливим при забезпеченні безпеки та покращенню електромагнітної сумісності й зниженню енергоспоживання засобів зв'язку.

Завадостійкість приймання *OFDM*-сигналів суттєво залежить від точності оцінювання передаточної характеристики каналу зв'язку. Розповсюдженим методом оцінки каналу в *OFDM*-системах, що функціонують в даний час, є передавання пілот-сигналів на частині піднесучих, рівномірно розташованих в спектрі сигналу.

При проектуванні адаптивних систем радіозв'язку залежно від їх призначення вирішується завдання оптимізації одного з показників ефективності при встановлених обмеженнях на інші. У свою чергу, розробка і впровадження адаптивних методів інформаційного обміну вимагають створення ефективних процедур контролю та прогнозування стану дискретних каналів і якості передачі інформації. Для вирішення даного завдання необхідне залучення методів сучасної математичної статистики, зокрема перевірки статистичних гіпотез щодо параметра (групи параметрів), який характеризує стан каналу зв'язку.

Для реалізації адаптивного принципу управління параметрами і ресурсами СРЗ необхідний динамічний контроль якості каналів радіозв'язку [4]. Оперативний контроль організується для підвищення достовірності оцінки поточного стану і завадової обстановки в каналах і трактах передачі, а також для оцінки показників якості передачі за час, порівняний із тривалістю циклу обміну інформацією.

У цей час застосовують два основних способи контролю за станом каналу радіозв'язку. Перший передбачає оцінку стану каналу на основі контролю за первинними параметрами сигналу і завади: амплітудою, згладженим значенням амплітуди (рівнем), тривалістю, відношенням амплітуд або рівнів сигналу і завади тощо. Другий спосіб заснований на одержанні оцінки шляхом аналізу вторинних параметрів: частоти помилок при прийманні символів повідомлення, кількості запитів у системах з вирішальним зворотним зв'язком, різних кодових ознак тощо.

Для сучасних систем радіозв'язку спеціального призначення безумовно більш ефективним є перший спосіб контролю за станом радіоканалів. Основними вимогами до такого контролю є висока точність і оперативність аналізу, а також досить проста реалізація обчислювальних процесів на ЕОМ. При цьому обчислення відповідних оцінюваних значень

може відбуватися або за допомогою спеціальних вимірювальних сигналів, або безпосередньо в процесі передачі оперативної інформації [4].

Оцінювання каналу – одна з найбільш важливих задач, що необхідно вирішувати при компенсації спотворень внаслідок неідеальності каналу та для точного виконання перетворень на передачі та прийомі в системах ортогонального частотного мультиплексування. Дослідження в цій області відображені в ряді робіт, наприклад [5, 6]. Розповсюдженим методом оцінки є використання частини піднесучих із заздалегідь відомими параметрами у якості пілот-сигналів, рівномірно розташованих в частотно-часовій структурі *OFDM*-сигналу (пілот-несучими). Особливо це важливо для радіоканалів зі змінними параметрами [7]. Одна частина пілотних сигналів – неперервні – передається на фіксованих несучих в кожному *OFDM*-символі, інша – розподілені – випадковим чином (але рівномірно) в довільні моменти часу розподіляється по спектральному діапазону передачі.

Якщо шумова завада в частині смуги (ШЗЧС) потрапляє у смугу пілот-несучої виникає помилка оцінювання характеристики каналу на інтервалі інтерполяції, що використовує інформацію даної піднесучої [8]. Після оцінки стану каналу методом найменших квадратів (НК) на символі *OFDM*, отримані значення передаточної характеристики (ПХ) каналу на пілот-несучих будуть відрізнятись одне від одного, в залежності від наявності завади в їх смугах. Це дозволяє виявити і виключити подавлені завадами пілот-несучі. Таким чином, при подальшому застосуванні лінійної інтерполяції можна зменшити вплив завад на оцінювання каналу.

Отже, виникає необхідність розробки вдосконаленого методу оцінки передаточної характеристики каналу зв’язку з метою виключення впливу зосереджених за спектром завад на процес оцінювання і мінімізації середньоквадратичного відхилення (СКВ) оцінки частотної характеристики від дійсного значення:

$$\overline{\varepsilon}=\left\langle \sum_{k=1}^{n}\left|H(k)-\hat{H}(k)\right|^{2}\right\rangle \to \min,$$

де $H(k)$ – відліки значень передаточної характеристики каналу, $\hat{H}(k)$ – оцінки цих відліків.

Припустимо, що міжсимвольна та міжканальна інтерференція відсутні, тоді сигнал на *k*-й піднесучій після дискретного перетворення Фур’є може бути представлений так:

$$Z(k)=X(k)H(k)+J(k)+B(k),\ k=0,1...$$

де $X(k)$ – відліки сигналу, що передається; $J(k)$ – ШЗЧС, модель якої може бути подана обмеженим у смузі частот адитивним білим гаусівським шумом (АБГШ) з нульовим середнім, дисперсією σ_{ς}^{2} та рівномірним розподілом спектральної щільності потужності; B(k) – АБГШ в каналі з дисперсією σ_0^2; K – кількість піднесучих.

Для розв’язання задачі оцінювання каналу в *OFDM*-системах під впливом ШЗЧС P пілот-несучих рівномірно розташовуються в сигналі *X*(*k*), як показано на рис. 1. Сигнал на передачі для *k*-ї піднесучої запишемо:

$$X(k)=\begin{cases} X_{pL}:\text{ï³ëîòí³ íåñó÷³, äå } l=0;\\ X_{pL+l}:\text{³íôîðìàö³éí³ íåñó÷³, äå } l=1,...,L-1,\end{cases}$$

де L – інтервал інтерполяції (відстань між сусідніми пілот-несучими).

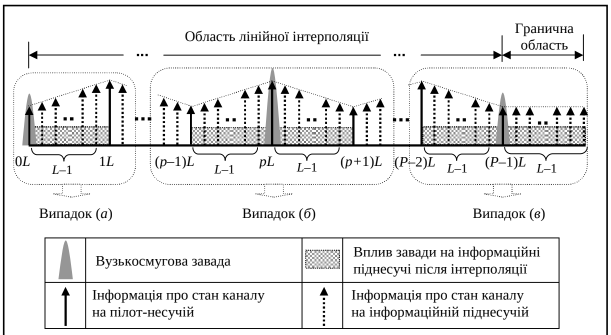

Рис. 1. Оцінка каналу при лінійній інтерполяції для *OFDM*-систем під впливом ШЗЧС

Для оцінки каналу на pL-й пілот-несучій використовується метод найменших квадратів:

$$\hat{H}_{pL}=\frac{Z_{pL}}{X_{pL}},\ p=0,1,...,P-1$$

де Z_{pL} і X_{pL} – прийняті і передані символи на pL-й пілот-несучій, відповідно.

Нехай для зручності аналізу $X_{pL}=1$, тоді $\hat{H}_{pL}$, в залежності від наявності ШЗЧС в спектрі пілот-несучої, можна представити nfrim чином:

$$\begin{gathered}\hat{H}_{pL}^{j}=H_{pL}+J_{pL}+B_{pL},\ \text{ï³ëîò-íåñó÷³, ðàæåí³ çàâàäîþ}\\ \hat{H}_{pL}=H_{pL}+B_{pL},\ \text{ï³ëîò-íåñó÷³ áåç çàâàä,}\end{gathered}\qquad(1)$$

де J_{pL} і B_{pL} – значення потужності завади та шуму у смузі pL-ї пілот-несучої, відповідно.

Операція інтерполяції необхідна, щоб оцінити передаточну характеристику каналу для інформаційних піднесучих за результатами оцінок на

пілот-несучих. Оцінка каналу для $(pL+l)$ ї піднесучої за допомогою лінійної інтерполяції розглядається в [6]:

$$\hat{H}_{pL+l}=\frac{L-l}{L}\hat{H}_{pL}+\frac{l}{L}\hat{H}_{(p+1)L},\ l=1,2,...,L-1 \qquad (2)$$

Відмітимо, що інформація про стан каналу для інформаційних піднесучих, розташованих справа від $(P-1)L$-ї пілот-несучої (рис. 1), визначається наступним виразом: $\hat{H}_{(P-1)L+l}=\hat{H}_{(P-1)L}$; тобто, відповідає оцінці, отриманій останньою справа пілот-несучою. Алгоритм виявлення пілот-несучих, подавлених завадою. Припустимо, що стан каналу протягом двох OFDM-символів не змінюється. Тоді різницю між двома послідовними OFDM-символами на пілот-несучих в (1), яку позначимо D_{pL}^{j} (при дії завад) та D_{pL} (при відсутності завад), можна розрахувати так:

$$D_{pL}^{j}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left\{\hat{H}_{pL}^{j}(m+1)-\hat{H}_{pL}^{j}(m)\right\}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left\{\begin{matrix}\left[J_{pL}(m+1)-J_{pL}(m)\right]+\\+\left[B_{pL}(m+1)-B_{pL}(m)\right]\end{matrix}\right\} \qquad (3)$$

$$D_{pL}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left\{\hat{H}_{pL}(m+1)-\hat{H}_{pL}(m)\right\}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left\{\left[B_{pL}(m+1)-B_{pL}(m)\right]\right\}, \qquad (4)$$

де *m* – індекс символу *OFDM*. Далі, шляхом усереднення цих оцінок за певною кількості прийнятих *OFDM*-символів, ми можемо отримати різниці між ШЗЧС та шумом. Повторюючи цей процес, різницю для кожної пілот-несучої $\Phi_{\hat{H}_{pL}}$, можна виразити:

$$\Phi_{\hat{H}_{pL}}=\begin{cases}\mathrm{var}\left[D_{pL}^{j}\right]=\sigma_{з}^{2}+\sigma_{0}^{2},\text{подавленій пілот-несучій;}\\ \mathrm{var}\left[D_{pL}\right]=\sigma_{0}^{2},\text{неподавленій пілот-несучій.}\end{cases} \qquad (5)$$

Припустимо $\sigma_{з}^{2}>>\sigma_{0}^{2}$. Рішення про різницю Λ можна прийняти наступним чином:

$$\Lambda_{p}=\Phi_{\hat{H}_{pL}}-\min_{p}\Phi_{\hat{H}_{pL}}\approx\begin{cases}\sigma_{з}^{2},\text{де ШЗЧС присутня;}\\ 0,\text{де ШЗЧС відсутня.}\end{cases} \qquad (6)$$

Цю різницю потрібно порівняти з порогом η щоб визначити наявність завади у прийнятих *OFDM*-символах. Значення порогу можна задати в діапазоні від 0 до $\sigma_{з}^{2}$; для зручності прийняття рішення встановимо його на рівні усередненої різниці по всіх пілот-несучих:

$$\eta=\frac{1}{P}\sum_{p=0}^{P-1}\Phi_{\hat{H}_{pL}} \qquad (7)$$

Відповідно, якщо $\Lambda>>\eta$, приймається рішення про наявність завади в прийнятому *OFDM*-символі. В даному випадку пілот-несучі з максимальними різницями виключаються. Якщо $\Lambda\le\eta$, приймається рішення про відсутність ШЗЧС. Як видно з рис. 1, можливими є три випадки розташування ШЗЧС в смугах пілот-несучих на *OFDM*-символі (випадки (а), (б), (в) – подавлення початкової, середньої та останньої пілот-несучої, відповідно). Припустимо, що при оцінюванні каналу впливом ШЗЧС на інформаційні піднесучі можна знехтувати, тому що для оцінки стану каналу використовуються тільки пілот-несучі [9]. Тоді, усереднене середньоквадратичне відхилення (СКВ) оцінки на символ для випадку (а) – $\bar{\varepsilon}_{поч}$, розраховується як

$$\bar{\varepsilon}_{поч}=\frac{1}{K}\left[\underbrace{\varepsilon_{P}^{j}+(L-1)\varepsilon_{L}^{j}}_{\text{Вплив ШЗЧС}}+\underbrace{(P-1)\varepsilon_{P}+\left\{K-P-2(L-1)\right\}\varepsilon_{L}+(L-1)\varepsilon_{E}}_{\text{Власна похибка}}\right], \qquad (8)$$

де ε_P, ε_L, ε_E, ε_{p}^{j} та ε_{L}^{j} означають СКВ оцінок для пілот-несучих без завад, інформаційних піднесучих при лінійній інтерполяції, інформаційних піднесучих при інтерполяції в граничній області, пілот-несучої під впливом завади та інформаційних піднесучих при лінійній інтерполяції та дії завади на сусідню пілот-несучу, відповідно.

Усереднені СКВ оцінок для випадків (*б*) і (*в*) – $\bar{\varepsilon}_{сер}$ і $\bar{\varepsilon}_{ост}$, відповідно, запишемо:

$$\bar{\varepsilon}_{сер}=\frac{1}{K}\left[\underbrace{\varepsilon_{P}^{j}+(L-1)\varepsilon_{L}^{j}}_{\text{Вплив ШЗЧС}}+\underbrace{(P-1)\varepsilon_{P}+\left\{K-P-3(L-1)\right\}\varepsilon_{L}+(L-1)\varepsilon_{E}}_{\text{Власна похибка}}\right]; \qquad (9)$$

$$\bar{\varepsilon}_{ост}=\frac{1}{K}\left[\underbrace{\varepsilon_{P}^{j}+(L-1)\varepsilon_{L}^{j}+(L-1)\varepsilon_{E}^{j}}_{Вплив\ ШЗЧС}+\underbrace{(P-1)\varepsilon_{P}+\{K-P-2(L-1)\}\varepsilon_{L}}_{Власні\ похибки}\right]; \qquad (10)$$

де ε_{E}^{j} вказує СКВ оцінки для інформаційних піднесучих при інтерполяції в граничній області та дії завади на сусідню пілот-несучу. Похибки ε_P, ε_L, та ε_E назвемо власними, тому що вони існують незалежно від присутності завад. Значення власних похибок розраховано в [9]. Похибки оцінок при впливі завад розраховуються наступним чином:

$$\varepsilon_{P}^{j}=M\left\{\left\|\hat{H}_{pL}^{j}-H_{pL}\right\|^{2}\right\}=\sigma_{з}^{2}+\varepsilon_{P};$$

$$\varepsilon_{L}^{j}=\frac{1}{L-1}\sum_{l=1}^{L-1}M\left\{\left\|\hat{H}_{pL}^{j}-H_{pL}\right\|^{2}\right\}=\frac{2L-1}{6L}\sigma_{з}^{2}+\varepsilon_{L}; \qquad (11)$$

$$\varepsilon_{E}^{j}=\frac{1}{L-1}\sum_{l=1}^{L-1}M\left\{\left\|\hat{H}_{(P-1)L+l}^{j}-H_{(P-1)L+l}\right\|^{2}\right\}=\sigma_{з}^{2}+\varepsilon_{E},$$

де $\hat{H}_{pL}^{j}$ – оцінка каналу для подавленої завадою пілот-несучої, що визначається формулою (1); $M\{X\}$ – математичне очікування; $\hat{H}_{(P-1)L+l}^{j}$ є оцінкою каналу на $(pL+l)$-й піднесучій під впливом помилки інтерполяції внаслідок дії завади (2).

Якщо підставити (11) в (8), (9) та (10), усереднене СКВ для кожного випадків – (*а*), (*б*), (*в*), можна виразити:

$$\bar{\varepsilon}_{поч}=\alpha+\beta+\left\{\frac{1}{K}+\frac{(L-1)(2L-1)}{6KL}\right\}\sigma_{з}^{2};$$

$$\bar{\varepsilon}_{сер}=\alpha+\beta+\left\{\frac{1}{K}+2\frac{(L-1)(2L-1)}{6KL}\right\}\sigma_{з}^{2}; \qquad (12)$$

$$\bar{\varepsilon}_{ост}=\alpha+\beta+\left\{\frac{1}{K}+\frac{(L-1)(2L-1)}{6KL}+\frac{L-1}{K}\right\};$$

де α – помилка при інтерполяції, β – помилка внаслідок дії власного шуму в каналі. Третім членом у кожному з виразів є помилка, що викликана подавленням завадою пілот-несучої.

Отже, усереднє СКВ оцінки каналу на одному *OFDM*-символі під дією ШЗЧС можна записати:

$$\bar{\varepsilon}=\frac{1}{P}\bar{\varepsilon}_{поч}+\frac{P-2}{P}\bar{\varepsilon}_{сер}+\frac{1}{P}\bar{\varepsilon}_{ост}. \qquad (13)$$

Якщо подавлена пілот-несуча точно визначена, відповідну складову формули (12) можна виключити. Однак, помилка інтерполяції α буде відрізнятися, в залежності від розташування виключеної пілот-несучої на *OFDM*-символі. У випадку (*а*) перша зліва пілот-несуча буде визначена як подавлена і виключена. В результаті, гранична зліва область сигналу буде використовувати інформацію наступної (сусідньої) пілот-несучої. У випадках (*б*) і (*в*), при усуненні середньої і останньої справа пілот-несучих, відповідно, ширина інтервалу інтерполяції для кожного випадку подвоюється.

Висновки

Завадостійкість приймання *OFDM*-сигналу суттєво залежить від точності оцінювання передаточної характеристики каналу зв'язку. Вплив навмисних завад, окрім безпосереднього погіршення завадостійкості приймання сигналу, суттєво спотворює оцінку каналу зв'язку й погіршує його захищенність. Існуючі методи оцінки передаточної характеристики каналу зв'язку не дозволяють забезпечити прийнятну точність в умовах впливу навмисних завад, тому виникає необхідність удосконалення цих методів. Запропонований метод полягає в тому, що оцінка передаточної характеристики каналу зв'язку здійснюється методом поелементного ділення з використанням алгоритму виявлення подавлених шумовими завадами в частині смуги пілот-несучих з подальшим виключенням їх впливу на одержання остаточної оцінки передаточної характеристики. Таким чином, запропонований метод контролю стану каналу зв'язку для OFDM-радіолінії при впливі шумових завад у частині смуги володіє більш високою ефективністю порівняно з відомим методом поелементного ділення при зменшенні відношення сигнал/завада порівняно з усередненим відношенням сигнал/шум в каналі.

Список літератури

1. *Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов и др.; под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.*

2. *Кукк К.И. Использование модуляции COFDM в радиорелейных линиях связи / К.И. Кукк, М.А. Загнетко, В.П. Цыбенко // Электросвязь. – 2004. – № 12. – С. 6–8.*

3. *Багатоканальні модеми: монографія / Л.Н. Беркман, І.С. Щербина, О.І. Чумак, Л.В. Рудик; під наук. ред. С.Є. Захаренка. – К.: Зв'язок, 2006. – 149 с.*

4. *Коричнев Л.П. Статистический контроль каналов связи / Л.П. Коричнев, В.Д. Королев.* – *М.: Радио и связь, 1989.* – *240 с.*

5. *Li Y. Robust channel estimation for OFDM systems with rapid dispersive fading channels / Y. Li, L. J. Cimini Jr., N. R. Sollenberger // IEEE Trans. Commun. – 1998. – Vol. 46. – P. 902–915.*

6. Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM systems / S. Coleri, M. Ergen, A. Puri, A. Bahai // IEEE Trans. Broadcast. – 2002. – Vol. 48. – № 3. – P. 223–229.

7. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. J *М.: Техносфера, 2005.* J *592 с.*

8. Patel C.S. Analysis of OFDM/MC-CDMA under imperfect channel estimation and jamming / C. S. Patel, G. L. Stuber, T.G. Pratt // Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. – Mar. 2004. – Vol. 2. – P. 954–958.

Надійшла в редакцію 21.11.2013

Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н.Беркман, Державний університет телекомунікацій, Київ.

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С.В. Толюпа, Ю.Я. Самохвалов, В.А. Дружинін

В статье предложен метод контроля состояния радиоканала в системах информационной безопасности сущность которого заключается в том, что оценка передаточной характеристики канала радиосистемы осуществляется методом поэлементного деления с использованием алгоритма выявления подавленных шумовыми помехами в части полосы пилонесущих с последующим исключением их влияния на получение окончательной оценки передаточной характеристики.

Ключевые слова: *помехоустойчивость, канал связи, пилот-сигнал, информационная система.*

METHODS OF CONTROL OF INFORMATION CHANNELS IN THE INFORMATION SECURITY SYSTEM

S.V. Tolyupa, J.Y. Samokhvalov, V.A. Druzhynin

The paper proposed a method of monitoring the state of the air in the information security system which the essence is that the evaluation of the transfer characteristics of the radio channel is carried by -element division using an algorithm detecting suppressed noise interferences in the band of the pilot bearing followed except their influence to obtain a final evaluation of transfer features.

Keywords: *robustness, channel, pilot information system.*