

УДК 621.391.8"363"

DOI: 10.31673/2412-9070.2024.040309

Л. Н. БЕРКМАН, доктор техн. наук, професор,
ORCID: 0000-0002-6772-1596;

Н. В. РУДЕНКО, канд. техн. наук, доцент,
ORCID: 0000-0001-8582-3126;

В. О. ЗАВАЦЬКИЙ, викладач,
ORCID: 0009-0005-5297-4127;

В. І. СТРЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, доцент,
ORCID: 0000-0003-3439-3220,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНВАРІАНТНОСТІ ПАРАМЕТРІВ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ВИПАДКОВИХ ЗБУРЕНЬ

Нині режим роботи інфокомунікаційних мереж відповідає режиму надзвичайних ситуацій. У цьому режимі необхідно забезпечувати інваріантність (нечутливість) параметрів мережі за випадкових збурень, які фактично діють на сигнал як різноманітні перешкоди.

Таким чином, основним завданням інфокомунікаційної мережі є забезпечення величини відхилення параметрів від норми на більш допустимих значеннях. Ця якість інваріантності інфокомунікаційної мережі має бути забезпечена як для прогнозованих збурень, так і для непрогнозованих випадкових фактів. Забезпечення інваріантності систем передавання інформації характеризується таким параметром як завадостійкість. Кількісною оцінкою завадостійкості є ймовірність помилки.

Завдання забезпечення інваріантності зводиться до збереження кількісної характеристики ймовірності помилки. Необхідно, щоб ймовірність помилки була меншою за задану і залишалася незмінною, незважаючи на наявність завад, що спричиняють нестаціонарність системи передавання інформації в надзвичайних ситуаціях. Таким чином, задана якість функціонування системи досягається завдяки незмінності ймовірності помилки, її незалежності від прогнозованих і випадкових непрогнозованих збурень. Тобто система матиме властивості інваріантності.

У статті представлено методи досягнення інваріантності. Наведено приклади, що ілюструють основні поняття теорії інваріантності та практичні методи побудови інваріантних до різних перешкод систем передавання інформації в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: інваріантність; методи; інфокомунікаційні мережі; завада; постійні параметри.

Вступ

Важливою якістю в сучасних інфокомунікаційних мережах має бути інваріантність параметрів мережі до завад різного типу. Зрозуміло, що ця якість не можлива без внесення певної надмірності.

Проаналізувавши системи передавання різної інформації, необхідно дослідити окремо системи зі стаціонарними характеристиками та мережевими параметрами. У системах зі стаціонарними характеристиками ймовірність помилки є постійною величиною і можна заздалегідь прогнозувати її величину залежно від параметрів сигналу та каналів зв'язку. Якщо система нестаціонарна, тобто зміни її параметрів заздалегідь невідомі, необхідно проектувати систему передавання даних інваріантно до цих змін, то ймовірність помилки інформації, що передається, має бути інваріантною, тобто нечутливою до фазових змін параметрів каналів зв'язку, викликаних перешкодами [1].

Інваріантні системи зв'язку необхідні для забезпечення передавання інформації із заданою якістю. Характеристики каналів зв'язку змінюватимуться різним чином через адитивні та неадитивні завади.

Адитивна завада складається з корисним сигналом і на вхід демодулятора надходить спотворений сигнал. Знаючи величину адитивної перешкоди, можна визначити завадостійкість системи.

Неадитивні завади змінюють окремі параметри сигналу і каналу зв'язку: під впливом неадитивних завад може змінитися частота сигналу або відношення сигнал/шум у каналі зв'язку. Неадитивні перешкоди природно впливають на ймовірність помилки.

Важливим завданням на сьогодні є завдання побудови системи передавання інформації зі швидкістю, близькою до пропускну здатності каналу зв'язку, заданою ймовірністю помилки затримки переданої інформації, інваріантною до перешкод різного типу. У критичних (надзвичайних) ситуаціях, в умовах війни важливим параметром, що впливає на завадостійкість, є величина потужності пере-

шкоди від сторонніх радіостанцій. Ці перешкоди називаються зосереджені за спектром, тому що їхня потужність зосереджена у вузькій смузі частот порівняно із сигналом із багаторазовою амплітудно-фазорізностною модуляцією [2].

На інтервалі тривалості посилки Т зосереджену заваду доцільно представити у вигляді гармонійного коливання з випадковими амплітудою, частотою і фазою. Для сигналів OFDM, коли відбувається ущільнення за частотою ортогональних сигналів, під час використання OFDM сигналів, характерних для мобільних мереж останніх поколінь, найважливішим завданням є не допустити збільшення потужності міжканальних завад більше 3%. Тому необхідно забезпечити сигналами такого типу інваріантності до міжканальних завад.

Основна частина

Існують два методи, які лежать в основі синтезу систем з постійними параметрами, інваріантних до адитивної завади.

Перший метод синтезу, що доцільно назвати *методом знаходження інваріантного оператора*, полягає в наступному. Спочатку безвідносно до корисного сигналу знаходиться лінійне перетворення (оператор), який позначимо через $\Phi_{in\ var\xi}$, що задовольняє умові абсолютної інваріантності, тобто таку, щоб при всіх $\xi \in \Xi$:

$$\Phi_{in\ var\xi}(\xi) \equiv 0. \quad (1)$$

Потім вибирається сигнал S^* такий, що

$$\Phi_{in\ var\xi}(S^*) \neq 0. \quad (2)$$

Очевидно, що отримані $\Phi_{in\ var\xi}$ і S^* є рішеннями задачі синтезу, абсолютно інваріантної до завади Ξ .

Проілюструємо метод знаходження інваріантного оператора наступним прикладом.

Нехай завада ξ належить множині Ξ поліномів $n-1$ -го ступеня з випадковими коефіцієнтами a_0, a_1, \dots, a_{n-1} :

$$\xi(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_{n-1} t^{n-1}. \quad (3)$$

Очевидно, інваріантним до даної множини Ξ є лінійний оператор n -кратного диференціювання, а саме:

$$\Phi_{in\ var\xi}[x(t)] = \frac{d^n [x(t)]}{dt^n}. \quad (4)$$

Дійсно, при будь-яких a_0, a_1, \dots, a_{n-1} , $\Phi_{in\ var\xi}[\xi(t)] \equiv 0$, що відповідає умові (1). Тепер в якості корисного сигналу виберемо наступну функцію часу:

$$S^*(t) = a_n t^n, \quad (5)$$

яка задовольняє умові (2), оскільки

$$\frac{d^n [S^*(t)]}{dt^n} = a_n n! \quad (6)$$

Отримані алгоритм (4) і сигнал (5) цілком визначають абсолютно інваріантну до завади (3) систему. Необхідно ще визначити метод модуляції сигналу (5); оскільки він має лише один параметр a_n , то інформація, очевидно, може бути закладена у величині чи знаку цього параметра.

Хоча система, зумовлена виразами (4) і (5), абсолютно інваріантна, вона не є оптимальною в присутності завади N . Для знаходження оптимальної абсолютно інваріантної до завади Ξ системи з оператором демодуляції $\Phi_{in\ var\xi}$ варто знайти сигнал, максимізуючий корисний ефект на виході демодулятора. Якщо цей ефект не залежить від часу, як у випадку (6), то задача зводиться до максимізації функціоналу

$$\max_{S(t)} \left\{ \frac{d^n [S(t)]}{dt^n} \right\}.$$

Розглянутий метод синтезу, володіючи привабливою простотою, має в той же час значні недоліки.

По-перше, отриманий оператор демодуляції $\Phi_{in\ var\xi}$, абсолютно інваріантний до завади Ξ , може бути дуже далеким від оптимальності стосовно завади N , наприклад, до білого гауссівського шуму. Тому синтезована таким чином система, будучи абсолютно інваріантною до завади Ξ , може володіти порівняно низькою завадостійкістю, тобто може не задовольняти лівої частини визначаючої нерівності. Цей недолік несуттєвий, якщо завада N мала або відсутня.

По-друге, не завжди вдається підібрати сигнал S^* , який задовольняє умові (2), тобто це функціональне рівняння може не мати рішення, якщо врахувати умови фізичної реалізованості системи. Наприклад, сигнал, отриманий у результаті рівняння (2), може містити частотні складові, що знаходяться поза смугою пропускання каналу зв'язку.

Нарешті, по-третє, — і це, мабуть, найбільший недолік методу — може не існувати перетворення в класі лінійних операторів, що задовольняють умові (1). Однак для нелінійних операторів рівняння

не є достатньою умовою абсолютної інваріантності. Тому, якщо оператор $\Phi_{in\ var\ \xi}$ нелінійний, то після знаходження сигналу S^* , який задовольняє (1), необхідно знайти шляхом безпосереднього розрахунку результат спільного впливу сигналу і завади Ξ на нелінійну систему і перевірити виконання загальних умов абсолютної чи відносної інваріантності. Варто також розрахувати завадостійкість отриманої системи при спільній дії сигналу S^* та завад Ξ і N , і переконатися у виконанні визначаючої вимоги (4). На жаль, ці розрахунки дуже складні. Відзначимо, що найбільший інтерес використання нелінійних операторів є в системах з пасивною паузою (системах виявлення сигналу). У цьому випадку, за відсутності завади N та сигналу, відповідна система виявляється абсолютно інваріантною до завади Ξ , а вплив нелінійності проявляється тільки при надходженні сигналу.

Таким чином, синтез інваріантних систем, оснований на методі знаходження інваріантного оператора, володіє рядом істотних недоліків. Однак у деяких випадках він може дати гарні результати.

Другий метод синтезу інваріантної до адитивної завади Ξ системи з постійними параметрами назовемо *методом знаходження оптимального сигналу*.

Відповідно до цього методу оператор демодуляції вибирається безвідносно до завади Ξ як оптимальний за критерієм імовірності помилки алгоритм обробки довільного сигналу S у присутності адитивного шуму N . Позначимо цей оператор через Φ_{optN} , підкресливши цим, що він є оптимальним стосовно завади N . Такий вибір оператора демодуляції виправданий тим, що в цьому випадку абсолютно інваріантна до завади система (якщо її вдасться отримати) буде ідеальною інваріантною системою, а відносно інваріантна система буде наближатися до ідеальної. Тим самим усувається недолік методу знаходження інваріантного алгоритму — погіршення завадостійкості при дії завади N і прийме вигляд:

$$\Phi_{optN}(\xi) = 0, \quad (\xi \in \Xi); \quad (7)$$

$$\max_{\xi \in \Xi} |c| = \min_S, \quad (8)$$

$$\int_{\Omega} [\Phi_{optN}(\xi)]^2 d\omega = \min_S. \quad (9)$$

Оскільки оператор приймача у формулах (7) – (9) заданий, синтез інваріантної системи за цими рівняннями зводиться до синтезу сигналу S , який входить у відомий оператор Φ_{optN} .

Тут доречно відзначити відмінності даного методу відшукування оптимального сигналу від розглянутого вище методу відшукування інваріантного оператора [3]. За першим методом оператор демодуляції Φ знаходиться з умови забезпечення абсолютної інваріантності стосовно завади Ξ , а сигнал S — з умови забезпечення найбільшої завадостійкості при заданому операторі Φ та заваді N . В другому методі оператор Φ знаходиться з умови забезпечення найбільшої завадостійкості стосовно завади N , а сигнал S — з умови забезпечення інваріантності (хоча б відносної!) стосовно завади Ξ .

У другому методі оператор Φ знаходиться звичайними методами статистичної теорії оптимального прийому сигналів, і своєрідність розв'язуваної задачі викликана винятково з пошуками оптимального сигналу S (звідси назва методу). Наприклад, якщо N — гауссівський білий шум, то оптимальним оператором демодуляції є алгоритм когерентного прийому, при якому обчислюється згортка прийнятого сигналу $x(t)$ і варіанту переданого сигналу $\Phi_{optN}(x) = \int_0^T x(t)S(t)dt$. Тоді рівняння (7)–(8) абсолютної і оптимальної відносної інваріантності приймуть вигляд:

$$\int_0^T \xi(t)S(t)dt = 0, \quad (\xi \in \Xi), \quad (10)$$

$$\max_{\xi(t)} \left| \int_0^T \xi(t)S(t)dt \right| = \min_{S(t)}. \quad (11)$$

Зазвичай на сигнал накладаються певні обмеження по смузі займаних частот і енергії. Частотні обмеження дозволяють з більшою чи меншою точністю представити сигнал як вектор кінцево вимірного гільбертового простору $S(t) = \sum_{i=n_1}^{n_2} a_i \varphi_i(t)$, де $\varphi_i(t)$ — система ортонормованих функцій. Обмеження за енергією можна представити як належність коефіцієнтів a_i множині A такому, що

$$\int_0^T S^2(t)dt = \sum_{i=n_1}^{n_2} a_i^2 = Q.$$

Оскільки сигнал і завада належать до одного й того ж простору функцій, обумовленого характеристиками каналу зв'язку, представимо заваду так само, як і сигнал, у виді розкладу за системою ортонормованих функцій $\{\varphi_i\}$:

$$\xi(t) = \sum_{i=n_1}^{n_2} b_i \varphi_i(t).$$

Коефіцієнти b_i є випадковими величинами і належать множині випадкових величин B , яка визначається завадою Ξ . Тоді рівняння (10) і (11) набувають вигляду:

$$\sum_{i=n_1}^{n_2} a_i b_i = 0, \quad (b_i \in B), \quad (12)$$

$$\max_{b_i \in B} \left| \sum_{i=n_1}^{n_2} a_i b_i \right| = \min_{a_i \in A}. \quad (13)$$

Метод знаходження оптимального сигналу не завжди приводить до задовільного, з точки зору інваріантності, результату. За своєю суттю можливість побудови відносно інваріантної системи за цим методом визначається результатом розв'язку екстремальної задачі загального виду (8) чи (9). Якщо існує сигнал, при якому

$$\min_S \max_{\xi \in \Xi} |\Phi_{\text{опт}N}(\xi)| \leq \gamma(\epsilon), \quad (14)$$

де $\gamma(\epsilon)$ — припустима зміна вихідного сигналу демодулятора в інваріантній до ϵ системі, то задача побудови оптимальної відносно інваріантної системи може вважатися вирішеною. Якщо ж нерівність (14) не виконується, то при використанні даного оператора демодуляції $\Phi_{\text{опт}N}$ інваріантну до ϵ завади Ξ систему побудувати не можна.

Основне практичне значення другий метод синтезу має при побудові широкосмугових систем зі складеними сигналами, в яких саме завдяки вибору відповідної форми сигналу вдається подавити зосереджену за спектром заваду та інші види завад [4].

Згадаємо ще про третій спосіб синтезу інваріантних систем з постійними параметрами, який можна назвати *методом знаходження оптимального алгоритму*.

Відповідно до цього методу оператор демодуляції знаходиться за допомогою методів статистичного синтезу як оптимальний за критерієм мінімуму ймовірності помилки стосовно суміші завад N і Ξ при довільному сигналі $S(t)$. Якщо при отриманому фіксованому операторі демодуляції, який позначимо $\Phi_{\text{опт}N}$, ймовірність помилки p залежить від форми сигналу, то надалі варто вирішити варіаційну задачу, яка полягає в мінімізації функціоналу, що пов'язує ймовірність помилки з параметрами сигналу при заданому алгоритмі демодуляції:

$$p[S(t); \Phi_{\text{опт}N\Xi}] = \min_{S(t)}.$$

На перший погляд цей метод, типовий для синтезу оптимальних приймачів, не має відношення до інваріантних систем зв'язку. Однак, хоча при його використанні не ставиться в явному вигляді завдання досягнення інваріантності, в ряді ситуацій отриманий оптимальний алгоритм $\Phi_{\text{опт}N\Xi}$ при визначених сигналах має властивість інваріантності стосовно завади Ξ . При цьому, природно, досягається і найменша ймовірність помилки, оскільки оператор $\Phi_{\text{опт}N\Xi}$ отриманий з умови мінімізації останньої — у цьому полягає привабливість даного методу.

Знайдено, зокрема, алгоритми оптимального прийому сигналів на тлі флуктуаційної завади N і зосередженої за спектром завади Ξ з відомою середньою частотою. Принцип роботи оптимального приймача полягає в компенсації зосередженої завади шляхом вирахування її оцінки з прийнятої суміші сигналу з завадами.

Звернемо увагу на можливість поєднання третього і другого методів синтезу інваріантних систем зв'язку. Якщо оптимальний алгоритм обробки довільного сигналу при наявності завад N і Ξ відомий, то надалі можна відшукувати оптимальний сигнал з умов абсолютної чи відносної інваріантності (7)–(9), замінивши в них оператор $\Phi_{\text{опт}N}$ оператором $\Phi_{\text{опт}N\Xi}$. Така процедура можлива, якщо алгоритм прийому і сигнал можуть бути обрані незалежно.

Слід зазначити, що описаний в загальних рисах метод синтезу, заснований на знаходженні оптимального алгоритму, має ряд недоліків. По-перше, не завжди вдається знайти $\Phi_{\text{опт}N\Xi}$, оскільки для цього необхідні відомості про заваду. Якщо при використанні перших двох методів синтезу, як правило, досить знати форму завади, то при використанні третього необхідні дані про статистичні характеристики параметрів завади. По-друге, алгоритм оптимальної обробки сигналу на тлі обох завад N і Ξ , як правило, складний з точки зору реалізації, а в ряді випадків практично нереалізовуваний. Разом із

тим шлях, що відкривається третім методом, синтезу інваріантних систем ще мало досліджений, і його можливості повністю не розкриті.

При розробці загальних методів синтезу систем, інваріантних до неадитивної завади, важко конструктивно представити дії такої завади в загальному виді. Можна тільки сказати, що неадитивна завада, яка визначена через заперечення властивості адитивності, впливаючи на окремі (або на всі) параметри сигналу, приводить до його спотворення. Типовими неадитивними завадами є інтерференційні завмирання, що приводять до випадкових змін амплітуди і фази сигналу; ефект Доплера, пов'язаний з переміщенням відбиваючого середовища чи випромінюючого об'єкта, що приводить до зміни спектра сигналу, і т.д.

У цій статті розглянута загальна методологія синтезу систем, інваріантних до неадитивної завади Ξ , що приводить до зміни параметрів сигналу.

Отже, представимо переданий сигнал у вигляді функції часу, що залежить від k визначаючих параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$,

$$S = S(t\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k).$$

Нехай під впливом завади $\xi \in \Xi$ перші k_1 параметрів спотворилися і стали рівними:

$$\lambda_{1\xi} = F_1(\xi, \lambda_1), \dots, \lambda_{k_1\xi} = F_{k_1}(\xi, \lambda_{k_1}), \dots$$

В результаті сигнал на вході приймального пристрою при наявності адитивної завади $n \in N$:

$$x = S(t\lambda_{1\xi}, \lambda_2, \dots, \lambda_k) + n(t).$$

Побудова інваріантної стосовно завади Ξ системи в класі систем з постійними параметрами зводиться до знаходження, по-перше, виду модуляції і, по-друге, методу демодуляції, інваріантних до даної завади.

Звернемося спочатку до вибору інваріантного до завади методу модуляції сигналу. Будемо називати даний метод модуляції інваріантним до завади Ξ , якщо інформаційний (той, що модулюється) параметр сигналу $\gamma_{\text{інф}}$, в якості якого може виступити один з визначаючих параметрів λ_i сигналу чи деяке його перетворення $\Delta\lambda_i$, не залежить від завади Ξ , тобто якщо

$$\gamma_{\text{інф}} = \left\{ \begin{array}{l} \lambda_i \\ \Delta\lambda_i \end{array} \right\} = \text{in var } \Xi. \quad (18)$$

Очевидно, що умова (18) буде виконуватися, якщо в якості інформаційного параметру прийняти один із $k - k_1$ визначаючих параметрів сигналу, які не підлягають дії завади Ξ . У цьому випадку досягається абсолютна інваріантність інформаційного параметра. Пряме використання в якості інформаційного параметра одного з визначаючих параметрів сигналу, які підлягають впливу завади визначаючих параметрів сигналу в загальному випадку неможливе, оскільки при цьому явно порушується принцип інваріантності. Однак у більшості випадків можна знайти таке перетворення Δ визначаючого параметра $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, k_1)$, яке буде абсолютно чи хоча б відносно інваріантним до завади Ξ . Вид такого перетворення залежить від характеристик завади.

Для широкого класу неадитивних завад, що змінюються повільно, перетворенням, яке володіє властивістю абсолютної чи відносної інваріантності, є лінійне дискретно-різницеve перетворення. Властивості дискретно-різницевого перетворення і його додаток до синтезу інваріантних до деяких завад методів модуляції також розглядаються нижче.

Наступним етапом синтезу є визначення методу демодуляції, інваріантного до завади Ξ при обраному методі модуляції. Сформулюємо задачу більш конкретно.

Оптимальні методи прийому класифікуються, як відомо, за використовуюваною апріорною інформацією про параметри сигналу. Чим більше число параметрів сигналу апріорно відоме, тим більш високої завадостійкості можна досягти. У даному випадку, принаймні частина параметрів сигналу підлягає спотворенням випадкового характеру а, отже, у класі систем зі стаціонарними алгоритмами ці параметри апріорно невідомі і не можуть бути використані при конструюванні алгоритму демодуляції сигналу. З іншого боку, вони і не повинні бути використані, оскільки тільки в такому випадку алгоритм демодуляції буде інваріантний до дії завади.

Задача знаходження алгоритму демодуляції формулюється наступним чином.

Необхідно знайти алгоритм демодуляції сигналу за обраним інформаційним параметром $\gamma_{\text{інф}}$, оптимальний за критерієм мінімуму ймовірності похибки в умовах дії адитивної завади N при апріорно невідомих параметрах сигналу $\lambda_{1\xi}, \lambda_2, \dots, \lambda_k$.

Ця задача є типовою для синтезу оптимального методу прийому сигналів і розв'язується добре відомими методами теорії статистичних рішень [5].

Після вибору виду модуляції і методу демодуляції варто розрахувати ймовірність помилки при дії адитивної завади N . З усіх методів модуляції, інваріантних до даної неадитивної завади, і відповідних їм методів демодуляції вибираються такі, при яких має місце мінімум ймовірності помилки.

Таким чином, порядок синтезу інваріантної до неадитивної завади системи є наступним.

1. За відомими характеристиками завади Ξ і заданим сигналом $S(t_1, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$ визначаються зміни, яким підлягають параметри сигналу $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ під впливом завади, тобто знаходяться функції

$$\lambda_{1\xi} = F_1(\xi, \lambda_1), \dots, \lambda_{k\xi} = F_k(\xi, \lambda_k).$$

2. Вибираються інформаційні параметри сигналу $\gamma_{1\text{інф}}, \dots, \gamma_{m\text{інф}}$, інваріантні до дії даної завади. В якості інформаційних можуть виступати визначаючі параметри, які не підлягають спотворенням, чи визначені перетворення визначаючих параметрів, інваріантні до дії даної завади.

3. Для кожного виду модуляції за інформаційними параметрами $\gamma_{1\text{інф}}, \dots, \gamma_{m\text{інф}}$ знаходиться оптимальний при заданій адитивній заваді N метод демодуляції і розраховується ймовірність помилки.

4. Із отриманих абсолютно інваріантних систем обирається система, що забезпечує мінімум імовірності помилки. Ця система є оптимальною абсолютно інваріантною до даної неадитивної завади при заданому сигналі в класі систем з постійними параметрами.

На жаль, не завжди вдається знайти перетворення параметрів сигналу, інваріантні до заданих спотворень. Крім того, при спотвореннях енергетичних параметрів сигналу (наприклад, його амплітуди) у присутності адитивного шуму абсолютна інваріантність у класі систем з постійними параметрами взагалі недосяжна.

Ці труднощі є наслідком обмежених можливостей систем з постійними параметрами і можуть бути подолані при переході до адаптивних систем.

Висновки

У статті досліджено проблему побудови інваріантної системи зв'язку в випадках, коли передача інформації здійснюється по каналах зі змінними параметрами чи з нестационарними завадами.

Висвітлені засоби досягнення інваріантності до завад і випадкових змін параметрів каналів:

- застосування спеціальних методів модуляції і демодуляції сигналу (системи з постійними параметрами);
- зміна алгоритму демодуляції сигналу відповідно до зміни характеристик завади (системи з адаптивним приймачем);
- погоджена зміна алгоритмів перетворення сигналу на передавальній і приймальній сторонах відповідно до змін характеристик завади (адаптивні системи).

Представлені методи досягнення абсолютної чи відносної інваріантності та доцільність застосування з цією метою одного з перерахованих методів залежать від багатьох факторів і, у першу чергу, від характеристик завади й ступеня їх апріорної визначеності; допустимості організації зворотного каналу зв'язку як з експлуатаційної точки зору, так і з погляду затримки в передачі інформації; тривалості сеансу зв'язку і вимог до часу входження в зв'язок і т.д.

Доведено, що якщо адитивна завада є квазідетермінованою, або якщо неадитивна завада приводить до спотворення неенергетичних параметрів сигналу, то інваріантність характеристик завадостійкості може бути досягнута в класі систем з постійними параметрами шляхом застосування відповідних методів модуляції і демодуляції сигналу та вибору оптимальної форми сигналу.

Розроблені методи побудови інваріантних систем з постійними параметрами розглянуті найбільш детально. Ці системи реалізують властивість інваріантності найбільш простими засобами. У ряді випадків, однак, необхідний для забезпечення відносної інваріантності систем з постійними параметрами сигнал виявляється дуже складним і практично неприйнятним. Крім того, завадостійкість таких систем не завжди задовольняє запропонованим вимогам.

Список використаної літератури

1. **Степков В. К., Беркман Л. Н.** Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для вузів. Київ: Техніка, 2002. 848 с.
2. **Толубко В. Б., Беркман Л. Н., Козелков С. В.** Формування багатопозиційного сигналу технологій 5G на базі фазорізницевої модуляції високих порядків // Зв'язок. 2016. №4. С. 5–7.
3. **The intelligent control system for infocommunication networks / L. Berkman, O. Barabash, O. Tkachenko [et al.] // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020.**
4. **Development of methods to improve noise immunity in the fifth generation mobile networks based on multiposition signals / V. Tolubko, L. Berkman, E. Gavrilko [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018.**
5. **Increasing the Multi-position Signals Noise Immunity of Mobile Communication Systems based on High-order Phase Modulation / M. Klymash, L. Berkman, S. Otrokh [et al.] // International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 2021.**

L. Berkman, N. Rudenko, V. Zavatskyj, V. Strelnikov

METHODS OF ENSURING THE INVARIANCE OF PARAMETERS IN INFOCOMMUNICATION NETWORKS IN EMERGENCY SITUATIONS TO FORECASTING AND RANDOM DISTURBANCES

Currently, the mode of operation of information and communication networks corresponds to the emergency mode. In this mode, it is necessary to ensure the invariance (insensitivity) of network parameters under random disturbances that actually act on the signal as various interferences.

Thus, the main task of the information and communication network is to ensure that the deviation of the parameters from the norm is within acceptable limits. This quality of invariance of the information and communication network must be ensured both for predictable disturbances and unpredictable random facts. Ensuring the invariance of information transmission systems is characterized by such a parameter as noise immunity. The quantitative assessment of noise immunity is the probability of error.

The task of ensuring invariance is to preserve the quantitative characterization of the error probability. It is necessary that the error probability be less than the specified one and remain unchanged despite the presence of interference that causes the information transmission system to be unstable in emergency situations. Thus, a given quality of the system's functioning is achieved due to the invariance of the error probability, its independence from predictable and random unpredictable disturbances. That is, the system will have the properties of invariance.

The article presents methods for achieving invariance. Examples are given to illustrate the basic concepts of the theory of invariance and practical methods for building information transmission systems invariant to various interferences in emergency situations.

Keywords: invariance; methods; infocommunication networks; interference; constant parameters.

