

УДК 621.391:681.5

**Беркман Л. Н.**, д.т.н.; **Комарова Л. О.**, к.ф.-м.н.; **Бойко І. А.**, асп.  
(Державний університет телекомунікацій, +380 (44) 249 25 70. berkman@duikt.edu.ua, lacosta\_k@ukr.net)

## ІНВАРІАНТНІСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КОНВЕРГЕНТНИХ МЕРЕЖ В РЕЖИМІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

**Беркман Л. Н., Комарова Л. О., Бойко І. А. Інваріантність систем управління конвергентних мереж в режимі надзвичайних ситуацій.** Досліджуються питання побудови систем управління телекомунікаційними мережами при невідомій апріорній інформації про характеристики параметрів контрольованих об'єктів. Запропонований алгоритм управління по збуреннях, показана доцільність його використання при введенні передспотворення. Показано, що даний метод можна розглядати як спосіб управління системою з компаундуванням по управляючому впливу. Визначені умови забезпечення інваріантності систем управління, приведені відповідні математичні залежності. Отримання інваріантної системи в надзвичайному режимі зводиться до відомої задачі відтворення сигналу за наявності завад, яка вирішується по критерію мінімум функції помилки. Показано, що при випадкових зовнішніх впливах за допомогою введення передспотворення можна провести корекцію сигналу на величину, яка співпадає з математичним очікуванням помилки.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, система управління, інваріантність, передспотворення, надзвичайний режим, відтворення сигналу, функція помилки

**Беркман Л. Н., Комарова Л. А., Бойко И. А. Инвариантность систем управления конвергентных сетей в режиме чрезвычайных ситуаций.** Исследуются вопросы построения систем управления телекоммуникационными сетями при неизвестной априорной информации о характеристиках параметров контролируемых объектов. Предложен алгоритм управления по возмущениям, показана целесообразность его использования при введении предискажения. Показано, что данный метод можно рассматривать как способ управления системой с компаундированием по управляющему воздействию. Определены условия обеспечения инвариантности систем управления, приведенные соответствующие математические зависимости. Получение инвариантной системы в чрезвычайном режиме сводится к известной задаче восстановления сигнала при наличии помех, которая решается по критерию минимума функции ошибки. Показано, что при случайных внешних воздействиях с помощью введения предискажения можно провести коррекцию сигнала на величину, которая совпадает с математическим ожиданием ошибки.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, система управления, инвариантность, предискажение, чрезвычайный режим, восстановление сигнала, функция ошибки

**Berkman L. N., Komarova L. O., Boiko I. A. Invariance of the converged network management systems in the emergency state.** The matters of implementation of the telecommunications network management systems with an unknown a priori information about the characteristics of the parameters of the controlled objects are considered. The management algorithm by perturbations is proposed and it is shown the expedience of its usage when the predistortions are introduced. . It is shown that this method can be seen as a way of managing the system with compounding by controlling influence . The conditions to ensure invariance of the management systems are defined and the appropriate mathematical dependencies are given. Obtainment of invariant system in the emergency state is reduced to the well-known task of performing signal recovery due to noise which can be solved by a minimum error function criterion. It is shown that in the case of random external effects a signal correction can be performed by an amount that is consistent with a mathematical error expectation via predistortions.

**Keywords:** telecommunication network management system, invariance, predistortions, emergency state, signal recovery, error function

### Вступ. Постановка задачі

Сучасні телекомунікаційні мережі характеризуються значною різноманітністю використовуваних протоколів та обладнання. Їх розвиток пов'язаний зі створенням глобальної інформаційної інфраструктури і відбувається в умовах конвергенції послуг, технологій та різних галузей інфокомунікаційної індустрії [1-3]. В рекомендаціях МСЕ серії Y [4] глобальна інформаційна інфраструктура визначається як «сукупність мереж, кінцевих користувачів, інформації і людських ресурсів, яка може бути використана для доступу до корисної інформації, зв'язки користувачів один з одним, роботи, отримання розваг у будь-який час і з будь-якого місця за доступною ціною». По суті для користувачів глобальна інформаційна інфраструктура представляє собою універсальну мережу, в якій здійснена конвергенція всіх можливих видів інфокомунікаційних послуг. Створення

глобальної інформаційної інфраструктура здійснюватиметься еволюційно шляхом безперервної конвергенції як існуючих, так і нових технологій і рішень.

Для сучасних системах управління (СУ) різномірними телекомунікаційними мережами найбільш важливою задачею є забезпечення властивості інваріантності до випадкових збурюючих факторів [5, 6]. Системи управління сучасними телекомунікаційними мережами слід розглядати з точки зору “нормального” режиму, для якого відомий апріорний розподіл відхилень параметрів від норми, і “надзвичайного” для якого цей розподіл невідомий. В “нормальному” режимі множина управляючих впливів утворює скінченний набір фіксованих значень. Реалізація принципу інваріантності в таких системах зводиться до розбиття просторово-часових векторів зовнішніх впливів на скінченне число областей, в межах кожної з яких вибирається одне і те ж управління [7-10].

В більшості наукових праць теоретичні основи побудови систем управління телекомунікаціями розглядалися для “нормального” режиму роботи мережі [6-13]. Отримані кількісні і якісні показники переносилися на “надзвичайний” режим приблизно і досить суб'єктивно. Починаючи з кінця 90-х років функціонуванню телекомунікаційних мереж в умовах надзвичайних ситуацій приділяється особлива увага, проводяться фундаментальні дослідження в цьому напрямку [14-17].

В [18, 19] отримане розбиття простору векторів зовнішніх впливів на області з умов інваріантності для “надзвичайного” режиму при неповній апріорній інформації про характеристику об'єкту. Інваріантність щодо збурень параметрів об'єкту забезпечується тут не критерієм поточної ідентифікації об'єкту, а шляхом прямого відновлення меж між суміжними ситуаціями управління.

#### Алгоритм управління по збуреннях

Нехай є онтрольований об'єкт з характеристикою

$$y = f\left(\begin{matrix} \vec{x} \\ x, u \end{matrix}\right) + \xi. \quad (1)$$

У виразі (1) прийняті такі позначення та умови:  $\xi$  – обмежений по рівню шум;  $\vec{x} \in X \in R^N$  – вектор контрольованих збурень;  $y \in R'$  – спостережуваний вихід об'єкту;  $u \in U \in R'$  – управляюча дія з набору  $U = \{u_1, \dots, u_m\}$ ;  $f(\cdot)$  – в загальному випадку нелінійна функція, яка задана на  $R^N \times R'$  із значеннями в  $R'$ . Зауважимо, що функція  $f(\cdot)$  представлена стандартним розкладанням  $f(\vec{x}, u) = \vec{C}\vec{\phi}(\vec{x}, u)$ , де  $\vec{\phi}(\cdot)$  – відома функція,  $\vec{c} \in C$  – вектор невідомих коефіцієнтів з обмеженої множини  $C$ , причому  $f(\vec{x}, u_m) < f(\vec{x}, u_m)$  для будь-якого фіксованого  $\vec{x} \in X$ , ( $m = 1, \dots, G-1$ ).

Необхідно по спостереженнях за діями  $u_m \in U$  розпізнавальної системи і реакцією об'єкта на ці дії здійснити розбиття простору векторів зовнішніх впливів  $\vec{Z} = (\vec{x}, y^0)$  на  $G$  областей, виходячи з нижче наведеної умови (2):

$$|y^0 - y|^{-1} < \xi^0, \quad (2)$$

де  $y^0$  – задане значення виходу об'єкту;  $\xi^0$  – помилка в системі з повною і достатньою інформацією про об'єкт, описаний виразом (1);  $0 \leq \rho \leq 1$ .

Запропонований вище алгоритм управління по збуреннях можна розглядати як методику розпізнавання наведених в (3) ситуацій:

$$U[n] = u_m, u_m \in U, \text{ якщо} \\ 0,5\hat{\varepsilon}^T [n-1] (\vec{\phi}(\vec{X}[n], u_{m-1}) + \vec{\phi}(\vec{X}[n], u_m)) < y^0 0,5\hat{C}^T [n-1] (\vec{\phi}(\vec{X}[n], u_m) + \vec{\phi}(\vec{X}[n], u_{m+1})), \quad (3)$$

де  $\hat{C}(\cdot)$  – оцінка невідомого вектора  $\vec{C}$  яка уточнюється на кожному  $n$ -у кроці за допомогою алгоритму навчання [20].

Відзначимо, що ефективне функціонування системи управління по запропонованому вище алгоритму доцільно при попередньому введенні спотворення – введенні передспотворення, яке можна розглядати як спосіб управління системою з компаундуванням по управляючому впливу.

### Інваріантність системи управління

Розглянемо систему управління типу TMN, яка управляє станом параметрів контролюючих об'єктів. Стан параметрів визначається за спостереженнями динамічної змінної  $\xi(x, t)$  ( $x \in X$ ,  $X$  – обмежена множина;  $0 \leq t \leq T$ ,  $T$  – час протікання процесу управління).

Стан параметрів керованої мережі в загальному випадку визначається з однієї сторони впливом від системи управління  $\zeta(u, t)$  ( $u \in U$ ,  $U$  – обмежена множина), і, з іншої сторони, діями зовнішнього середовища  $\xi(z, t)$  ( $z \in Z$  – обмежено).

Дана система управління повинна здійснювати управління станом параметрів об'єкту відповідно до закону  $\xi'(x', t)$  ( $x' \in X'$  – обмежено). При цьому якість управління оцінюється згідно функціоналу

$$\eta = f(\xi', \xi), \quad (4)$$

яке і визначає метрику простору спостережень динамічної змінної.

Вважатимемо, що для даної системи відомі або задані фізичні пари розрізнюваності:

$$P[\rho(\xi_1, \xi_2) < \varepsilon_I] = 1, (\xi_1 = \xi_2); \quad (5) \quad P(\rho(\xi_1, \xi_2) < \varepsilon_I^H) = 1, (\xi_1 \sim \xi_2) \quad (6)$$

$$\text{де } \varepsilon_I^H - \text{споживчий поріг розрізнюваності}; \quad \rho(\xi', \xi) \leq \varepsilon_s, \quad (7)$$

де  $\varepsilon_s$  – верхній рівень необхідної якості управління, за межами якого система стає непридатною для необхідної якості управління.

Два значення змінної вважатимемо за один і той же елемент множини значень змінної, якщо вони не розрізняються по (5).

Тоді, для функціоналу (4) враховуючи умови (5), (6) і (7) маємо наступні результати:

$$1) \text{ Якщо має місце співвідношення } \eta \leq \varepsilon_I, \quad (8)$$

то система управління має абсолютну інваріантність.

$$2) \text{ Якщо } \varepsilon_I < \eta \leq \varepsilon_I^H, \quad (9)$$

маємо інваріантність до  $\varepsilon$ , тому що є можливість виявити малу частку помилки  $\eta - \varepsilon_I$ , яка не є суттєвою для споживача. В покращанні властивостей системи управління в цьому випадку немає практичної необхідності.

$$3) \text{ Якщо } \varepsilon_I < \eta \leq \varepsilon_s^H, \quad (10)$$

система працює задовільно, і покращання якості може бути бажане.

$$4) \text{ Якщо } \varepsilon_s < \eta, \quad (11)$$

система працює незадовільно, і покращання якості необхідне.

Математичні співвідношення (8)-(11) характеризують якість та визначають умови для покращання якості функціонування керованої телекомунікаційної мережі в умовах дії зовнішніх впливів.

### Спосіб забезпечення інваріантності системи управління

Поставимо задачу за умов (10) і (11) знайти спосіб зробити СУ інваріантною, тобто такою, що задовольняє умовам (8) або (9), що можна записати:

$$H(\xi) = H(\xi'). \quad (12)$$

В умові даної задачі введемо важливе обмеження

$$H_{\varepsilon_i}(\xi') \leq C_{CV}, \quad (13)$$

яке відповідає основній теоремі Шенона стосовно систем управління і означає, що існує спосіб управління, який дозволяє досягти умови інваріантності.

Розглянемо процес управління як передачу повідомлення від джерела  $\xi'$ , яке повинне відтворюватися об'єктом управління і знаходити своє в просторі спостережень динамічної змінної  $\xi$ . Якщо система управління інваріантна, то

$$I(\xi', \xi) = H(\xi') = H(\xi). \quad (14)$$

Але за відсутності інваріантності, рівність (14) не виконується і ентропія стану  $H(\xi)$  відмінна від ентропії задавальної дії, тобто враховуючи (12) і (13)

$$H(\xi) = H(\xi') + h(\xi'), \quad (15)$$

де  $h(\xi')$  – зміна ентропії вхідного сигналу  $\xi'$ , обумовлена або впливом фізичних властивостей елементів, з якої складається система управління, або дією збурень, або їх сумісною комбінацією.

При аналізі виразу (15) виникає питання, чи можливо на задавальний сигнал  $\xi'$  накласти сигнал корекції  $\xi'_k$  так, щоб  $H(\xi'_k)$  компенсувало  $h(\xi')$ .

По суті, такий метод управління – це передбачення зміни задавального сигналу передспотворюючим пристроєм. Успіх цього методу залежить від міри достовірності апріорної інформації і від зміни задавального сигналу, що відбувається в системі управління. Прикладом цього може бути процес завадостійкого кодування, застосування якого забезпечує системі властивість відносної інваріантності, якщо узгоджені вид завадостійкого коду і модель помилок в каналі зв'язку.

Нас цікавить режим відтворення з випадковими збуреннями.

Флуктуації елементів можна представити у вигляді еквівалентного зовнішнього збурення. Тоді залежність вихідного сигналу від задавальних дій можна представити у вигляді:

$$\xi(x, t) = f[\xi'(x', t), \xi(z, t)].$$

Але говорити про яку-небудь корекцію стану за допомогою операцій із задавальною дією  $\xi'(x', t)$  можна лише в тому випадку, якщо існуватиме статистична залежність між збуренням  $\xi(z, t)$  і задавальною дією  $\xi'(x', t)$ .

У сучасних системах управління існує, як правило, імовірнісна залежність між станом об'єкту і діючими збуреннями, яку можна представити у вигляді

$$P(\xi) = F[P(\xi'), P(\zeta/\xi')], \quad \text{де } P - \text{відповідна ймовірність.} \quad (16)$$

Умовою залежності збурення від стану системи буде  $P(\xi) \neq P(\zeta/\xi)$ .

Якщо дана система інваріантна умові  $\rho(\xi', \xi) \leq \xi_I$ , то умову (16) можна представити у вигляді

$$P(\xi) = F[P(\xi'), P(\zeta/\xi')].$$

### Висновки

Таким чином, отримання інваріантної системи в “надзвичайному” режимі зводиться до відомої задачі відтворення сигналу за наявності завад, яка вирішується по критерію мінімум функції помилки.

Слід зазначити, що в цьому випадку за допомогою введення передспотворення при випадкових діях можна провести корекцію сигналу на величину, яка співпадає з математичним очікуванням помилки.

### **Література**

1. Яновский Г. Г. Конвергенция в инфокоммуникационных сетях [Электронный ресурс] / Г. Г. Яновский. – СПб.: 2010. – 172 с. // Режим доступа : [http://seti.sut.ru/admin61/editor\\_files/file\\_upload/conv\\_info.pdf](http://seti.sut.ru/admin61/editor_files/file_upload/conv_info.pdf)
2. Олифер В. Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – [3-е изд.]. – СПб.: Питер, 2008. – 958 с.
3. Global Information Infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks // ITU-T Recommendation Y. – 2008.
4. Global Information Infrastructure terminology: Terms and definitions // ITU-T Recommendation Y 101. 2008.
5. Стеклов В. К. Сучасні системи управління в телекомунікаціях / В. К. Стеклов, Б. Я. Костік, Л. Н. Беркман; за заг. ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – 400 с.
6. Підходи до побудови систем управління мережами наступного покоління / [Л.Н. Беркман, Г.Ф. Колченко, О.Г. Варфоломєєва та інші.] // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2007. – № 1. – С.11-19.
7. Гордеев Э.Н. Использование современных технологий в системах управления сетями / Э.Н. Гордеев // Электросвязь.– 2005.– № 5.– С. 12-17.
8. Стеклов В.К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій: підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації» / В.К. Стеклов, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2002. – 438 с.
9. Жураковський Б. Ю. Об'єктно-орієнтована модель системи управління мережею NGN / Б. Ю. Жураковський // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012. – Т.10, № 3. – С. 81- 84.
10. Нетес В. А. Управление сетями: стандарты, проблемы и перспективы / В. А. Нетес, Н. В. Трубникова // Вестник связи. – 2000. – № 2. – С. 83-88.
11. Дымарский Я. С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я. С. Дымарский, Н. П. Крутякова, Г. Г. Яновский. – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
12. Лещенко О. О. Застосування методів оптимізації в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами / О. О. Лещенко, Т. В. Майсак // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №4(28). – С. 37-45.
13. Віноградов М. А. Концепція управління корпоративною комп'ютерною мережею на основі психофізіологічних механізмів професійної діяльності людини / М. А. Віноградов, А. С. Савченко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №3(27). – С. 5-14.
14. Архипова Н. А. Управление в чрезвычайных ситуациях / Н. А. Архипова, В. В. Кульба / – М.: Российский государственный гуманитарный университет, 2008. – 474 с.
15. Гриняев С. Если пришла беда... Как восстановить функционирование информационной системы в чрезвычайных ситуациях? / С. Гриняев // Мир связи и информации Connect . – 2003. – № 6. – С. 120-123.
16. Баховський П. Ф. Особливості процесу управління телекомунікаційними мережами в умовах надзвичайних ситуацій / П. Ф. Баховський // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008. – №4(6). – С.3-7.
17. Жебка В. В. До питання визначення параметрів систем управління на базі методів теорії катастроф / В. В. Жебка // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013. – №2(26). – С. 90-95.
18. Стеклов В. К. Оценка объёма управляющей информации в информационных сетях / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман // Электросвязь. – 2000. – №6. – С.34-37.
19. Постановка задачі оцінки обсягу управляючої інформації у системі управління інтелектуальною мережею / [В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Ю. О. Лев, С. І. Мніщенко] // Информатика и связь. –1996. – №1. – С. 75-87.
20. Стеклов В. К. Особливості вибору методу обробки сигналів управління мережами зв'язку / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, О. І. Чумак // Зв'язок. – 2002. – №2. – С. 27-29.