

Захаржевський А.Г.

Національний університет оборони України

ІНВАРІАНТНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА УМОВИ НЕПОВНОЇ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація: Поява нових, науково обґрунтованих передових підходів до побудови та функціонування інфокомунікаційної мережі спеціального призначення, розвиток на їх основі сучасних технологій захищеного зв'язку дозволили створити достатньо ефективну та, одночасно достатньо розгалужену структуру складових елементів такої мережі. При цьому, з'являються інфокомунікаційні мережі спеціального призначення, окремі елементи яких можуть бути побудовані на базі різних передових технологій. В таких умовах, виникає нова наукова проблема забезпечення інваріантності СУ захищених ІКМСП в умовах неповної апріорної інформації.

В статті подано функціональну залежність інваріантності системи управління інфокомунікаційної мережі спеціального призначення за умови неповної апріорної інформації.

Розроблено та запропоновано алгоритм управління по збуренням та обґрунтована доцільність його використання при введенні навмисних збурень. Показано, що даний метод можна розглядати як спосіб управління системою при сумуванні функцій по управляючому впливу. Подано умови забезпечення інваріантності систем управління та подані необхідні математичні вирази. Забезпечення інваріантності системи управління в режимі впливу неповної апріорної інформації в статті приведено до відомої задачі відтворення сигналу за наявності завад. Яку запропоновано вирішувати по критерію мінімум функції помилки. Показано, що при випадкових зовнішніх впливах за допомогою введення попередніх спотворюючих функцій можна здійснити корекцію сигналу на величину, яка співпадає з математичним очікуванням помилки.

Отримання інваріантності системи в "надзвичайному" режимі зводиться до відомої задачі відтворення сигналу за наявності завад, яка вирішується за критерієм мінімум функції помилки. Слід зазначити, що в цьому випадку за допомогою попереднього викривлення, за випадкових впливів можна зробити корекцію сигналу на величину, що збігається з математичним очікуванням помилки.

Ключові слова: інфокомунікаційні мережі спеціального призначення, система управління, інваріантність, надзвичайний режим, апріорна невизначеність

Zakharzhevskiy A.

The National Defence University of Ukraine named

INVARIANCE OF THE MANAGEMENT SYSTEM OF A SPECIAL PURPOSE INFORMATION COMMUNICATION NETWORK UNDER THE CONDITIONS OF INCOMPLETE PRIOR INFORMATION

Abstract: The emergence of new, scientifically based advanced approaches to the construction and operation of a special-purpose information communication network, the development of modern secure communication technologies based on them made it possible to create a sufficiently effective and, at the same time, sufficiently extensive structure of the constituent elements of such a network. At the same time, special purpose information communication networks are emerging, individual elements of which can be built on the basis of various advanced

© Захаржевський А. Г.

2023

technologies. In such conditions, a new scientific problem arises to ensure the invariance of the system of protected ICMSP in conditions of incomplete a priori information.

The article presents the functional dependence of the invariance of the special purpose information communication network control system under the condition of incomplete a priori information.

A disturbance management algorithm has been developed and proposed, and the reasonable feasibility of its use when introducing intentional disturbances has been substantiated. It is shown that this method can be considered as a way of controlling the system when summing the functions according to the control influence. The conditions for ensuring the invariance of control systems are given and the necessary mathematical expressions are given. Provision of an invariant control system under the influence of incomplete a priori information in the article is reduced to the well-known problem of signal reproduction in the presence of interference. Which is proposed to be solved by the criterion of the minimum of the error function. It is shown that in the case of random external influences, with the help of the introduction of previous distorting functions, it is possible to correct the signal by a value that coincides with the mathematical expectation of the error.

Obtaining an invariant system in the "emergency" mode is reduced to the well-known problem of signal reproduction in the presence of disturbances, which is solved according to the minimum error function criterion. It should be noted that in this case, with the help of preliminary distortion, under random influences, it is possible to correct the signal by a value that coincides with the mathematical expectation of the error.

Keywords: *special purpose information communication networks, control system, invariance, emergency mode, a priori uncertainty*

1. Вступ

Поява нових, науково обґрунтованих передових підходів до побудови та функціонування інфокомунікаційної мережі спеціального призначення, розвиток на їх основі сучасних технологій захищеного зв'язку дозволили створити достатньо ефективну та, одночасно достатньо розгалужену структуру складових елементів такої мережі. При цьому, з'являються інфокомунікаційні мережі спеціального призначення (ІКМСП), окремі елементи яких можуть бути побудовані на базі різних передових технологій. Зростаюче різноманіття типів інфокомунікаційних мереж спеціального призначення, збільшення різноманітності їх складових елементів та кількості параметрів, що характеризують стан цих елементів викликає розширення спектру підходів до управління вказаними мережами. В свою чергу, розширення підходів до управління ІКМСП, удосконалення процесів і процедур функціонування її системи управління (СУ) потребує врахування різних умов та факторів, які можуть впливати на стійкість та надійність функціонування СУ. Частина таких факторів та умов може мати випадковий характер, а їх ситуаційний вплив на СУ можна характеризувати терміном «надзвичайна ситуація». Тобто СУ повинна функціонувати в умовах неповної апріорної інформації.

Відомо, що для СУ різномірними ІКМСП найважливішим завданням є забезпечення властивості інваріантності при всіх умовах функціонування, в тому числі до випадкових факторів та збурень, що можуть виникнути в процесі розвитку певних надзвичайних ситуацій передачі інформації через мережу. Необхідно відмітити те, що ІКМСП повинні вирішувати основні завдання передачі інформації при умові її захисту від несанкціонованого доступу. Тобто в своїй структурі мають мережеві елементи, системи та спеціалізовані алгоритми функціонування, призначені для захисту каналів передачі інформації від несанкціонованих доступів, знищень і спотворень. Це значно ускладнює схему побудови таким мереж та потребує додаткового врахування таких ускладнень при проектуванні СУ мережі при умові забезпечення інваріантності.

Тобто, в таких умовах, виникає нова наукова проблема забезпечення інваріантності СУ захищених ІКМСП в умовах неповної апріорної інформації.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Роботи, присвячені дослідженню питань забезпечення інваріантності телекомунікаційних мереж, як правило, обмежені дослідженням питань інваріантності в умовах апіорності. Тобто всі можливі збурення відомі та враховані при розбудові СУ мережі. [4 –9]. Розбудова схеми СУ таких мереж в напрямку забезпечення інваріантності здійснена в умовах апіорної визначеності та, як правило, обмежена поняттями збуреннями, викликаними впливом мережевих кібератак. Питання їх запобігання та стійкості СУ в таких умовах достатньо добре досліджені. Аналіз невідповідності та недоліків досліджень, що були виявлені в вказаних роботах дозволив сформулювати нове актуальне наукове завдання щодо визначення функції інваріантності системи управління інфокомунікаційною мережею спеціального призначення за умови неповної апіорної інформації.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розробка функції інваріантності системи управління інфокомунікаційною мережею спеціального призначення за умови неповної апіорної інформації.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- проаналізовані можливості системи управління по забезпечення інваріантності в умовах апіорної невизначеності, розробити алгоритм управління по збуренням та обґрунтована доцільність його використання при введенні навмисних збурень;
- розробити функціональну залежність інваріантності системи управління інфокомунікаційною мережею спеціального призначення за умови неповної апіорної інформації.

4 Дослідження інваріантності системи управління інфокомунікаційною мережею спеціального призначення за умови неповної апіорної інформації

Визначимо умову функціонування СУ в двох основних режимах: "сталому" і "надзвичайному". Основна відмінність їх полягає в тому, що в "сталому" режимі відомий апіорний розподіл відхилень параметрів від норми, а в "надзвичайному" - невідомий. Можна стверджувати, що в "нормальному" режимі безліч керівних впливів утворює кінцевий набір фіксованих і заздалегідь відомих значень. Реалізація принципу інваріантності в таких системах зводиться до розбивки простору векторів зовнішніх впливів на скінченну кількість областей, у межах кожної з яких обирають одне й те саме управління. При цьому сама дія системи формування керівних впливів у таких системах виступає як розпізнавання ситуацій управління та вчасне реагування на її зміни в напрямку мінімізації збурення.

Тобто інваріантність СУ щодо збурень параметрів об'єкта забезпечується тут не критерієм поточної ідентифікації об'єкта, а шляхом прямого відновлення меж між суміжними ситуаціями управління.

подаємо ІКМСП як контрольований об'єкт із характеристикою:

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

тут $y \in R'$ вихідна функція об'єкта, $\vec{x} \in X \in R^N$ - вектор контрольованих збурень, $u \in U \in R'$ управляючий вплив із набору, $U = \{u_1, \dots, u_m\}$, ξ - обмеження за рівнем шуму, $f(\cdot)$ - у загальному випадку нелінійна функція, задана на $R^N \times R'$ зі значеннями R' .

Передбачається, що $f(\cdot)$ представлена стандартним розкладанням $f(\vec{x}, u) = \vec{c} \vec{\varphi}(\vec{x}, u)$, де $\vec{\varphi}(\cdot)$ - 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-якої фіксованої $\vec{x} \in X$, $(m=1, \dots, G-1)$ [3,10].

Необхідно по фіксації дій $u_m \in U$ системи встановлення збурень та реакцією об'єкта на ці дії здійснити розбиття простору векторів зовнішніх впливів $\vec{Z} = (\vec{x}, y^0)$ на G областей з умови [3,10].

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

де y^0 – задане значення виходу об'єкта, ξ^0 – помилка в системі з повною інформацією про об'єкт (1); $0 \leq \rho \leq 1$.

Запропонований вище алгоритм контролю збурень можна розглядати як методику розпізнавання негативної ситуації:

$$U[n] = u_m, u_m \in U, \text{ якщо}$$

$$0,5\hat{\epsilon}^T [n-1] (\bar{\varphi}(\vec{X}[n], u_{m-1}) + \bar{\varphi}(\vec{X}[n], u_m)) < y^0 0,5\hat{C}^T [n-1] (\bar{\varphi}(\vec{X}[n], u_m) + \bar{\varphi}(\vec{X}[n], u_{m+1})), \quad (3)$$

де $\hat{C}(\cdot)$ – оцінка невідомого вектора \vec{C} , яка уточняється на кожному n -ому кроці за допомогою алгоритму навчання [10,11].

Зазначимо, що ефективне функціонування СУ за запропонованим вище алгоритмом є доцільним у разі введення випереджального впливу, яке можна розглядати як спосіб управління системою з компаундуванням по керуючим впливам [4,13].

Розглянемо СУ, яка управляє станом параметрів контролюючих об'єктів. Стан вказаних об'єктів визначається за спостережуваною динамічною змінною (СДЗ) $\xi(x, t)$ ($x \in X$; X – обмежена множина; $0 \leq t \leq T$; T – час протікання процесу управління).

Стан параметрів керованої мережі в загальному випадку визначається, з одного боку, управляючим впливом з боку СУ – $\zeta(u, t)$ ($u \in U$, U – обмежена множина) і, з іншого боку, впливами зовнішнього середовища $\xi(z, t)$, ($z \in Z$ – обмежено).

Дана СУ повинна здійснювати управління станом параметрів об'єкта відповідно до закону $\xi'(x', t)$ ($x' \in X'$ – обмежено). При цьому якість управління оцінюється за функціоналом:

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

яке й визначає метрику простору НДП.

Будемо вважати, що для даної СУ відомі або задані: фізичні пари помітності ϵ_I , тобто якщо:

$$P[\rho(\xi_1, \xi_2) < \epsilon_I] = 1, \text{ то } \xi_1 = \xi_2, \quad (5)$$

споживчий поріг розрізнення ϵ_I'' , тобто, якщо

$$P(\rho(\xi_1, \xi_2) < \epsilon_I'') = 1, \text{ то } \xi_1 \sim \xi_2 \quad (6)$$

верхній рівень необхідної якості управління ϵ_S . Тобто

$$\rho(\xi', \xi) \leq \epsilon_S \quad (7)$$

за межами якого система стає непридатною для необхідної якості управління. Два значення змінної вважатимемо одним і тим самим елементом множини значень змінної, якщо вони не помітні за (5). Тоді, якщо має місце співвідношення:

$$\eta \leq \varepsilon_I, \quad (8)$$

то СУ має абсолютну інваріантність [6, 8].

Якщо

$$\varepsilon_I < \eta \leq \varepsilon_I'', \quad (9)$$

є інваріантність до ε , бо можливо виявити малу частку помилки $\eta - \varepsilon_I$, не суттєву для споживача.

Поліпшення властивостей СУ в цьому випадку позбавлене практичної необхідності.

Якщо:

$$\varepsilon_I < \eta \leq \varepsilon_S'', \quad (10)$$

система працює задовільно, і поліпшення якості може бути бажаним.

Якщо:

$$\varepsilon_S < \eta, \quad (11)$$

система працює незадовільно, і поліпшення якості необхідне. Поставимо завдання 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 цієї задачі введемо важливе обмеження:

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

що відповідає основній теоремі Шеннона стосовно систем управління, і означає, що існує спосіб управління, який дає змогу досягти умови інваріантності (12).

Розглянемо процес управління як передавання повідомлення від джерела ξ' , яке має відтворюватися об'єктом управління і знаходити своє відображення в НДП ξ [13-15].

Якщо СУ інваріантна, то

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

Але за відсутності інваріантності, ця рівність не має місця й ентропія стану H відмінна від ентропії задавального впливу:

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

де $h(\xi')$ - зміна ентропії вхідного сигналу ξ' , зумовлена або впливом фізичних властивостей елементів, що складають СУ, або дією збурень, або їхньою спільною комбінацією.

Під час аналізу виразу (15) виникає питання, чи можливо на задавальний сигнал ξ' накласти сигнал корекції ξ'_k так, щоб $H(\xi'_k)$ компенсувало $h(\xi')$ [4,7].

По суті, такий метод управління - є передбачення зміни задавального сигналу пристроєм, що попереджає. Успіх цього методу залежить від ступеня достовірності апріорної інформації та від зміни задавального сигналу, що відбувається в СУ. Прикладом цього може

бути процес завадостійкого кодування, застосування якого забезпечує системі властивість відносної інваріантності, якщо узгоджено вид завадостійкого коду і модель помилок у каналі зв'язку.

Нас цікавить режим відтворення з випадковими збуреннями.

Розглянемо в загальному вигляді систему відтворення за випадкових збурень, джерелом яких можуть бути як флуктуації параметрів елементів самої системи, так і впливи зовнішнього середовища.

Флуктуації елементів можна представити у вигляді еквівалентного зовнішнього збурення, тому надалі розглядатимемо тільки дію зовнішнього середовища.

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

$$\xi(x, t) = f[\xi'(x', t), \xi(z, t)]. \quad (16)$$

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

У сучасних СУ існує, як правило, імовірнісна залежність між станом об'єкта і діючими збуреннями, яку можна представити у вигляді:

$$P(\xi) = F[P(\xi'), P(\xi/\xi')], \quad (17)$$

де P - відповідні ймовірності.

Умовою залежності збурення від стану системи буде:

$$P(\xi) \neq P(\xi/\xi'). \quad (18)$$

Якщо дана система інваріантна умові:

$$\rho(\xi', \xi) \leq \xi_I, \quad (19)$$

то умову (17) можна подати у вигляді

$$P(\xi) = F[P(\xi'), P(\xi/\xi')] \quad (20)$$

Таким чином, отримання інваріантної системи в "надзвичайному" режимі зводиться до відомої задачі відтворення сигналу за наявності завад, яка вирішується за критерієм мінімум функції помилки. Слід зазначити, що в цьому випадку за допомогою попереднього викривлення, за випадкових впливів можна зробити корекцію сигналу на величину, що збігається з математичним очікуванням помилки.

5. Висновки

В статті подано функціональну залежність інваріантності системи управління інфокомунікаційної мережі спеціального призначення за умови неповної апріорної інформації.

Розроблено та запропоновано алгоритм управління по збуренням та обґрунтована доцільність його використання при введенні навмисних збурень. Показано, що даний метод можна розглядати як спосіб управління системою при сумуванні функцій по управляючому впливу.

Подано умови забезпечення інваріантності систем управління та подані необхідні математичні вирази. Забезпечення інваріантної системи управління в режимі впливу неповної апіорної інформації в статті приведено до відомої задачі відтворення сигналу за наявності завад. Яку запропоновано вирішувати по критерію мінімум функції помилки.

Показано, що при випадкових зовнішніх впливах за допомогою введення попередніх спотворювачих функцій можна здійснити корекцію сигналу на величину, яка співпадає з математичним очікуванням помилки.

Список використаної літератури

1. Попівський В.В., Лемешко О.В., Ковальчук В.К., Плотніков М.Д., Картушин Ю. П. (2012) Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1. URL: <http://www.znanius.com/3534.html>.
2. 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
3. Бурячок В. Л., Аносов А. О., Семко В. В. (2012) Технології забезпечення безпеки мережевої інфраструктури. Підручник. Київ: «КУБГ», 218. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/27191/1/VL_Buriachok_TZBMI.pdf
4. Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, І. А. Бойко Л. Н. (2014) Інваріантність систем управління конвергентних мереж в режимі надзвичайних ситуацій. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. № 1. С. 11-15. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2014_1_4
5. Л.Н. Беркман, Г.Ф. Колченко, О.Г. Варфоломєєва Підходи до побудови систем управління мережами наступного покоління. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. 2007. № 1. С.11-19. 7.
6. Э.Н. Гордеев Использование современных технологий в системах управления сетями. Электросвязь. 2005.– № 5.– С. 12-17.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Shefer O., V. Topikha, V. Shefer, S. Myhal. Synthesis of inventories to the interference of information and telecommunication systems. Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal. – Poltava: PNTU, 2019. – VOL. 6 (58). – PP. 115-122. – doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6.115>.
11. Поповський В.В., Олійник В.Ф. (2011) Математичні основи управління і адаптації в телекомунікаційних системах: підручник. Харків: ТОВ “Компанія СМІТ”, 362. URL: <https://ice.nure.ua/ua/books-and-tutorials/pidruchnyk-matematychni-osnovy-upravlinnia-ta-adaptatsii-v-telekomunikatsijnykh-systemakh>.
12. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. (2018) Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. Сучасні інформаційні системи. Т.2, № 2. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
13. В. А. Бейнарович В. А. Инвариантные системы автоматического управления с релейным усилителем. Доклады ТУСУР. – 2010. – № 1(21). – Ч. 1. – С. 70–73.
14. Erokhin V. F., Pelyshok E. V. (2012) Information Technology and Security. No. 1(1), pp. 42-53.

15. В.В. Жебка, П.В. Анахов Моніторинг сталості інформаційно-телекомунікаційної системи і опрацювання заходів її захисту від небезпек. Метрологія та прилади. №1(87). С. 23-29. DOI: 10.33955/2307-2180(1)2021.23-29.

References:

1. Popivskiy V.V., Lemeshko O.V., Kovalchuk V.K., Plotnikov M.D., Kartushyn Yu.P. (2012) Telecommunication systems and networks. Structure and main functions. Volume 1. URL: <http://www.znanius.com/3534.html>.
2. Steklov V. K. Modern management systems in telecommunications / V. K. Steklov, B. Ya. Kostik, L. N. Berkman; in general ed. V.K. Steklova. - K.: Technika, 2005. - 400 p
3. Buryachok V. L., Anosov A. O., Semko V. V. (2012) Technologies for ensuring network infrastructure security. Textbook. Kyiv: "KUBG", 218. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/27191/1/VL_Buriachok_TZBMI.pdf
4. L. N. Berkman, L. O. Komarova, L. N. I. A. Boyko (2014) Invariance of convergent network control systems in emergency situations. Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communications. No. 1. P. 11-15. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2014_1_4
5. L.N. Berkman, G.F. Kolchenko, O.G. Varfolomeeva Approaches to building next-generation network management systems. Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communications. 2007. No. 1. P.11-19. 7.
6. E.N. Gordeev Use of modern technologies in network management systems. Telecommunications. 2005.– No. 5.– P. 12-17.
7. Steklov V.K. Basics of management of telecommunications networks and services: tutorial. for students higher education closing in the direction of "Telecommunications" / V.K. Steklov, E.V. Kilchytskyi. - K.: Technika, 2002. - 438 p.
8. Zhurakovskiy B. Yu. Object-oriented model of the NGN network management system / B. Yu. Zhurakovskiy // Bulletin of the State University of Information and Communication Technologies. – 2012. – Vol. 10, No. 3. – P. 81-84.
9. O. O. Leshchenko Application of optimization methods in management systems of modern telecommunication networks / O. O. Leshchenko, T. V. Maisak // Scientific Notes of the Ukrainian Research Institute of Communications. – 2013. – No. 4(28). - P. 37-45.
10. Shefer O., B. Topikha, V. Shefer, S. Myhal. Synthesis of inventories to the interference of information and telecommunication systems. Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal. – Poltava: PNTU, 2019. – VOL. 6 (58). - PP. 115-122. - doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6.115>.
11. Popovsky V.V., Oliynyk V.F. (2011) Mathematical foundations of control and adaptation in telecommunication systems: a textbook. Kharkiv: SMIT Company LLC, 362. URL: <https://ice.nure.ua/ua/books-and-tutorials/pidruchnyk-matematychni-osnovy-upravlinnia-ta-adaptatsii-v-telekomunikatsijnykh-systemakh>.
12. Svyridov A. C., Kovalenko A. A., Kuchuk G. A. (2018) A method of redistributing the bandwidth of a critical section of the network based on the improvement of the ON/OFF traffic model. Modern information systems. Vol. 2, No. 2. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
13. V. A. Beinarovych V. A. Invariant systems of automatic control with relay amplifier. TUSUR reports. – 2010. – No. 1(21). – Part 1. – P. 70–73.
14. Erokhin V.F., Pelyshok E.V. (2012) Information Technology and Security. No. 1(1), pp. 42-53.
15. V.V. Zhebka, P.V. Anakhov Monitoring the stability of the information and telecommunications system and developing measures to protect it from hazards. Metrology and devices. #1(87). P. 23-29. DOI: 10.33955/2307-2180(1)2021.23-29.