

УДК 621.3

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОГО ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

А. Я. Кулик

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна. E-mail: kulyk@inaeksu.vstu.vinnica.ua

Розглянуто особливості передавання інформації у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах. Обґрунтовано проблеми, що виникають при обміні інформацією у неоднорідних розподілених комп'ютерних системах через наявність каналів зв'язку різної природи та використання обладнання несерійного виробництва з оригінальним програмним забезпеченням. Запропоновано структуру завадостійкого коду, що забезпечує гарантовану вірогідність передавання, та визначено набір варійованих параметрів, використовуваних для забезпечення передавання інформації каналами різного рівня якості. Отримано цільову функцію для ефективного кодування даних і запропоновано шляхи забезпечення завадостійкого обміну ними.

Ключові слова: передавання інформації, завади, цільова функція.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

А. Я. Кулик

Винницкий национальный технический университет

Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина. E-mail: kulyk@inaeksu.vstu.vinnica.ua

Рассмотрены особенности передачи информации в проблемно-ориентированных распределенных компьютерных системах. Обоснованы проблемы, возникающие при обмене информацией в неоднородных распределенных компьютерных системах вследствие наличия каналов связи различной природы и использования оборудования несерийного производства с оригинальным программным обеспечением. Предложена структура помехоустойчивого кода, который обеспечивает гарантированную достоверность передачи, и определен набор варьируемых параметров, используемых для обеспечения передачи информации по каналам разного уровня качества. Получена целевая функция для эффективного кодирования данных и предложены пути обеспечения помехоустойчивого обмена ними.

Ключевые слова: передача информации, помехи, целевая функция.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Метою адаптивного передавання є забезпечення стійкого обміну інформацією з невідомими до початку роботи параметрами якості каналу зв'язку із передаванням максимальною швидкістю при гарантованій для будь-якого каналу вірогідності приймання. Остання оцінюється імовірністю безпомилкового передавання інформації або імовірністю помилки приймання і не повинна перевищувати заданого порогового значення $p_{пор}$. Особливо актуальним це завдання виявляється у зв'язку із розвитком мереж, побудованих на базі технологій АТМ.

Метод створення ширококугових цифрових мереж інтегрального обслуговування виник як принципово новий для побудови мереж зв'язку. Стандартизовані, розгалужені і численні мережі телефонного, телеграфного, факсимільного зв'язку, а також мережі передавання даних розраховані лише на забезпечення одного виду зв'язку з тим чи іншим способом перенесення інформації. Альтернативою цьому передбачається побудова цифрової мережі з єдиним методом транспортування даних каналами зв'язку всіх видів інформації за допомогою технології асинхронного режиму перенесення пакетів фіксованої структури і довжини [1–5].

Мета роботи – аналіз особливостей здійснення процедур завадозахищеного кодування/декодування для забезпечення ефективного використання каналу зв'язку.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Терміни „комп'ютерні системи” та „комп'ютерні мережі” сформувались останнім часом і стандартами не регламентовані. Вони підкреслюють спорідненість (за певними ознаками) структур процесорних засобів, призначених для збирання та оброблювання інформації. Так, всі сучасні системи будуються з використанням мікропроцесорних засобів, а це, у свою чергу, передбачає використання типових модулів, що призначаються для виконання певних чітко окреслених функцій. Вони можуть входити до складу комп'ютера або розроблятися для використання у мікропроцесорних контролерах. Їх перелік, в основному, є незмінним і передбачає оброблювання уніфікованих сигналів за допомогою стандартних модулів (АЦП або таймер залежно від інформативного параметра), зберігання даних у модулі пам'яті тощо, не кажучи вже про стандартний набір модулів, які забезпечують працездатність системного блоку персонального комп'ютера.

Відмінність структур комп'ютерних систем визначається їх функціональним призначенням. Інформаційно-вимірювальні системи будуються для збирання та оброблювання інформації, тому їх структура обмежується модулем визначення параметрів сигналів і процесорним блоком з пам'яттю для зберігання та оброблювання даних. Інформаційно-консультативні системи будуються на базі процесорного блоку з розвиненими периферійними пристроями для введення запиту, його оброблювання та

виведення необхідної інформації. Автоматизовані системи управління, крім модулів, необхідних для побудови ІВС, вимагають введення блоків формування сигналів управління (підсилювачі потужності, ЦАП, таймер тощо) залежно від виконавчих пристроїв. Під час детального розроблювання конкретної системи можуть здійснюватися певні варіювання структур (наприклад, вводиться один чи декілька зворотних зв'язків), але перелік уніфікованих апаратних модулів лишається практично незмінним. Основне навантаження під час побудови системи припадає на розроблення алгоритмічного і програмного забезпечення.

Для розподілених систем прийнятне все висловлене вище, але особливого значення набуває процес передавання інформації. Суто інформаційні системи призначаються для циркулярного виведення інформації і передбачають використання симплексного режиму (передавання інформації лише в один бік, як у системах телебачення чи радіомовлення). Адресне опитування давачів або каналів у розподілених інформаційно-вимірювальних системах та автоматизованих системах управління вимагає використання напівдуплексного режиму (передавання інформації в обидва боки, але по черзі). Комп'ютерні мережі потребують задіяння повнодуплексного режиму (одночасне передавання інформації в обидва боки). Таким чином, в узагальненому вигляді з урахуванням певних припущень з точки зору передавання інформації різниця між розподіленими системами і комп'ютерними мережами не така вже й суттєва.

Спільним для будь-якої автоматизованої системи управління є те, що її функціонування базується на інформаційному процесі. В усіх випадках реалізується адресний вибір об'єкта (передавача чи приймача), в усіх випадках використовується уніфікований набір апаратних модулів, в усіх випадках метою обміну інформацією є її вірогідне передавання з максимально ефективним використанням каналу зв'язку. Оскільки передавання даних каналом зв'язку найбільш ефективно здійснюється у послідовному форматі, то необхідні перетворювачі паралельного коду на послідовний та навпаки, а також пристрої узгодження передавача та приймача з каналом зв'язку.

Високий рівень формалізації інформаційних процесів у комп'ютерних системах призводить до суттєвого зростання обсягів інформації, яку необхідно оброблювати за допомогою процесора.

При цьому, якщо сучасні процесорні засоби дозволяють ефективно оброблювати потоки інформації, то засоби передавання даних є вузьким місцем порівняно з обчислювальними засобами. Особливо це проявляється для комп'ютерних систем, розподілених на великих територіях. Відповідно, вартість систем при зростанні довжини ліній зв'язку різко збільшується і може значно перевищувати вартість засобів оброблювання. Між тим, саме комп'ютерні системи з розподіленими процесами є особливо ефективними і перспективними. Тому ускладнення алгоритмів передавання інформації є виправданим,

якщо це призводить до підвищення ефективності використання каналу зв'язку. Проблема підвищення швидкості передавання інформації є однією з найважливіших для комп'ютерних систем, які вміщують лінії зв'язку.

Другою суттєвою проблемою для розподілених комп'ютерних систем є підвищення вірогідності інформації. Вимоги, які пред'являються до засобів передавання інформації в комп'ютерних системах передбачають імовірність спотворення блока повідомлення в межах $10^{-6} - 10^{-8}$. Хоча теорема Шеннона і передбачає можливість досягнення високих швидкостей при як завгодно малому значенні ймовірності помилки, технічна реалізація таких систем пов'язана з великими складнощами. Потрібно також відзначити, що у комп'ютерних системах наявний ряд обмежень, пов'язаний з часом надходження та старіння повідомлень.

Серед вищевказаних розподілених комп'ютерних систем і мереж можна виділити:

- мережі загального призначення, які формуються для вирішення задач інформаційного характеру;
- проблемно-орієнтовані системи, які використовуються для вирішення обмеженого кола прикладних задач певного виду (системи автоматизованого управління та контролю, інформаційно-вимірювальні та довідкові, системи охоронної сигналізації, відеоспостереження тощо);
- спеціалізовані системи, призначені для вирішення конкретних задач з фіксованими алгоритмами функціонування (зв'язкові процесори, технологічні контролери тощо).

При розгляді розподілених інформаційних систем (рис. 1) необхідно мати на увазі, що з точки зору користувача режим передавання є симплексним (як у прикладі телевізійної системи), але з точки зору розробника необхідно забезпечувати зворотний зв'язок і отримувати певну інформацію про якість зв'язку, умови передавання, і, як мінімум, – чи доходять взагалі дані, що передаються до пункту призначення. Для цього необхідно реалізовувати напівдуплексний або дуплексний режим залежно від функціонального призначення створюваної системи, її швидкодії та особливостей побудови. Структура також піддається варіюванню залежно від перерахованих умов. Якщо вони дозволяють, то можна суттєво скоротити апаратні витрати, подаючи сигнали із вхідних перетворювачів безпосередньо на ключ і поставивши після нього один перетворювач паралельного коду на послідовний. Аналогічно змінюється і блок формування сигналів управління.

Особливі складнощі при обміні інформацією викликають неоднорідні розподілені комп'ютерні системи, оскільки для їх реалізації часто використовують канали зв'язку різної природи, їх апаратна частина вміщує обладнання різного функціонального призначення, часто несерійного виробництва, яке хоча і сертифіковане, але вимагає оригінального програмного забезпечення.

Для досягнення вказаної мети є необхідним використання завадостійкого коду, якому повинні бути притаманні певні властивості:

– забезпечення гарантованої вірогідності передавання, тобто неперевищення імовірності помилки декодування для будь-якого каналу зв'язку;

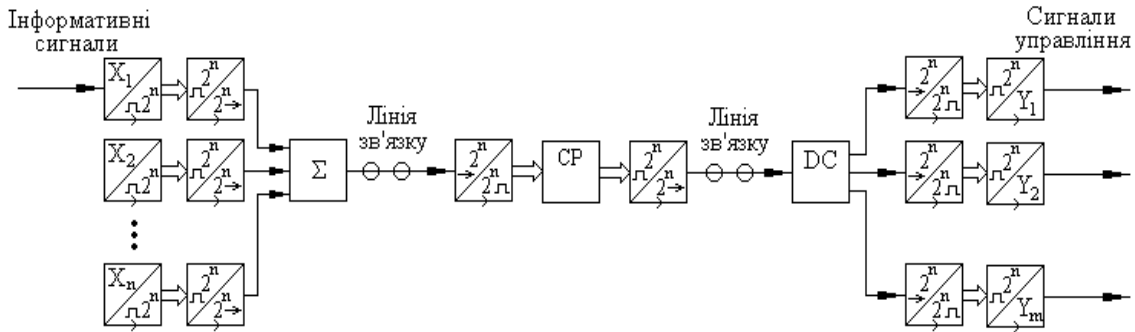


Рисунок 1 – Узагальнена структура проблемно-орієнтованої розподіленої комп'ютерної системи

Для адаптивного передавання інформації каналом з ненульовою пропускною здатністю використовується набір (n, k) -кодів із виправленням помилок, де n – загальна кількість розрядів кодової комбінації, k – кількість інформаційних розрядів, мінімальна кодова відстань яких

$$d_{min} \geq s + t + 1, t \geq s, \quad (1)$$

де s – кількість помилок, що виявляються; t – кількість помилок, що виправляються, характеризує спроможність блокового коду (n, k) до виправлення помилок і залежить від властивостей конкретного коду. У свою чергу, кількість помилок t , що виправляються, пов'язана з мінімальною відстанню між n -мірними кодовими словами у матриці Хеммінга:

$$t = \frac{d_{min} - 1}{2}. \quad (2)$$

Повідомлення, що має передаватися до каналу зв'язку \bar{x}_k , складається з інформаційної \bar{x}_i та службової \bar{x}_u частин

$$\bar{x}_k : \bar{x}_i \oplus \bar{x}_u. \quad (3)$$

Після виконання завадозахищеного кодування, до кодової комбінації \bar{x}_k додається ще й m контрольних розрядів

$$\bar{x}_n : \bar{x}_k \oplus \bar{x}_m = \bar{x}_i \oplus \bar{x}_u \oplus \bar{x}_m. \quad (4)$$

Такий формат представлення даних дозволяє вносити необхідні корективи до вхідних параметрів розробленої моделі каналу.

Оскільки більша частина інформації передається з використанням засобів комп'ютерної техніки, то процес передавання має певні особливості [6, 7]. З одного боку, послідовні інтерфейси, що використовуються для передавання інформації до каналу зв'язку, здебільшого працюють з байтами. Навіть, якщо кількість розрядів, що передаються, можна за-

– наявність набору параметрів, які можна було б варіювати для забезпечення передавання інформації каналами різного рівня якості.

давати програмним шляхом, то порт все рівно доповнює слово нулями, і до каналу зв'язку передається повний байт. З другого боку, каналні коди типу Манчестер II, АМІ, MLT-3, BNZS, HDB3 тощо можна використовувати лише для перетворення сигналів, оскільки вони тільки фіксують помилки, не виправляючи їх, але вимагають суттєвих апаратних затрат і відрізняються складністю програмної реалізації.

Інформацію до каналу зв'язку можна передавати не лише окремими байтами, але й блоками довжиною N_b байт [6, 8]. Тоді показник якості передавання інформації каналом зв'язку E_k залежить від складу вектора сигналу \bar{x}_n , що передається, імовірності спотворення елементарного сигналу p_0 , довжини блоку N_b , що передається, та кількості помилок t , що виправляються. Таким чином, задачу побудови коду можна сформулювати у вигляді

$$\begin{cases} E_k = \max_{\bar{x}_n, p_0, N_b, t} E_k(\bar{x}_n, p_0, N_b, t) \\ v_k \rightarrow v_{nop} \\ p_k \rightarrow p_{nop} \end{cases} \quad (5)$$

де $v_k = N_b / T = (8k_v \cdot N_b) / \tau$ – швидкість передавання інформації; p_k – імовірність правильного приймання блоку з N_b байт даних; p_{nop} – порогова імовірність правильного приймання блоку з N_b байт даних; v_k – швидкість передавання даних каналом зв'язку; v_{nop} – порогова швидкість передавання даних каналом зв'язку; T – час передавання блоку з N_b байт даних, з урахуванням граничного значення об'єму сигналу

$$V_k \leq V_{nop}. \quad (6)$$

Для другого випадку показник якості передавання інформації каналом зв'язку E_k залежить від складу вектора сигналу \bar{x}_n , що передається, імовірності спотворення елементарного сигналу p_0 , розміру блока N_b , що передається, та кількості повторів r .

Таким чином, задачу побудови коду можна сформулювати у вигляді

$$\begin{cases} E_k = \max_{\bar{x}_n, p_0, N_b, r} E_k(\bar{x}_n, p_0, N_b, r); \\ \nu_k \rightarrow \nu_{nop}; \\ p_k \rightarrow p_{nop}; \end{cases} \quad (7)$$

причому в обох випадках порогова швидкість передавання інформації визначається за методикою Шеннона. Потенційно можливу мінімальну кодову відстань d_{min} для блокових кодів (n, k) можна приблизно визначити, використовуючи різні оцінки [9]:

– з використанням межі Плоткіна

$$d_{min} \leq n \frac{2^{k-1}}{2^k - 1}, \quad (8)$$

– з використанням межі сферичної упаковки Хеммінга

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^t C_n^i. \quad (9)$$

Використання кодів такого типу вимагає оцінювання кількості інформаційних розрядів і кількості помилок, що виправляються. Графік, який ілюструє частку інформативних розрядів k у кодових комбінаціях для $d_{min}=3$ та $d_{min}=5$ (відповідно виправлення однієї та двох помилок), наведений на рис. 2. Так, для виправлення двох помилок необхідна мінімальна кількість розрядів $n2_{min}|_{d_{min}=5} = 7$, а для однієї – $n1_{min}|_{d_{min}=3} = 3$.

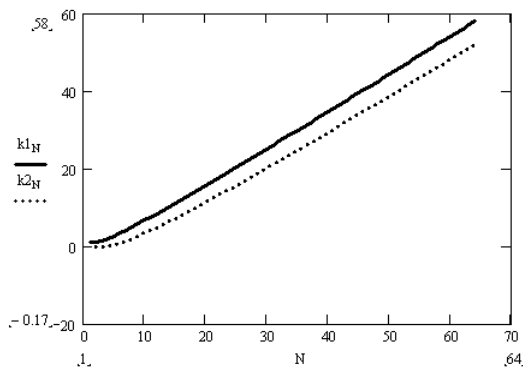


Рисунок 2 – Кількість інформаційних розрядів $k1|_{d_{min}=3}$ та $k2|_{d_{min}=5}$ у блоці повідомлення при різній його довжині N_b

Велике значення має також час передавання інформації. Графік залежності часу передавання зале-

жно від обсягу файлу, що передається, поданий на рис. 3.

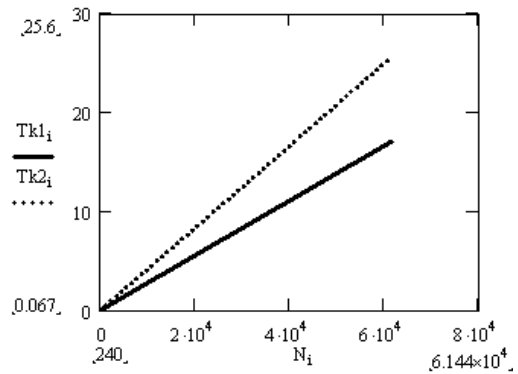


Рисунок 3 – Залежність часу передавання $Tk1|_{d_{min}=3}$ та $Tk2|_{d_{min}=5}$ від довжини блоку повідомлення N_b

Оскільки для виправлення однієї помилки можна ефективно використовувати чотири інформаційних розряди з трьома контрольними, а послідовний інтерфейс передає інформацію байтами, то перепакування даних до повних восьми розрядів дає певний вигравш у часі, який ілюструється рис. 4.

Таким чином, для забезпечення оптимального режиму роботи необхідно визначити параметри передавання, що описуються виразами (5), (7).

Для визначення максимальної довжини блоку передавання необхідно врахувати, що коди з виправленням помилок призначені для корегування лише певної кількості помилок, яка визначається кодовою відстанню. Якщо всі помилки у блоці виправити неможливо, то блок необхідно передавати знову. Наявність зворотного каналу передбачає передавання спеціальних сигналів після надходження кожного блоку щодо наявності невірних помилок, тобто щодо правильності або неправильності передавання блоку.

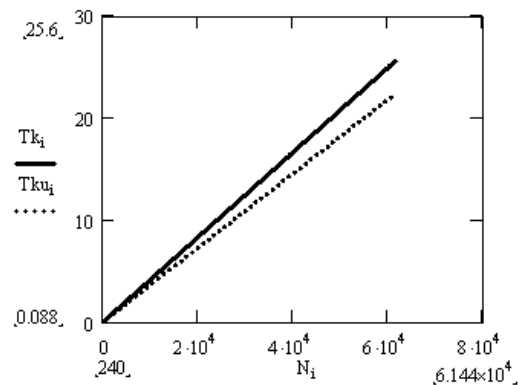


Рисунок 4 – Залежність часу передавання Tk (без перегрупування даних) та Tku (з перегрупуванням даних) від довжини блоку повідомлення N_b

Властивості симетричного каналу без пам'яті передбачають, що помилки будуть незалежними, а імовірності $p_{np,i}$ приймання кожного i -го блока не будуть залежати від попередніх передач [8].

ВИСНОВКИ. На основі проведених досліджень визначені особливості передавання інформації у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах, сформульовані основні інформативні параметри та цільові функції. Запропоновані шляхи вибору найбільш ефективного методу кодування для забезпечення завадостійкого передавання інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Деундяк М. И., Могилевская Н.С. Имитационная модель цифрового канала передачи данных и алгебраические методы помехоустойчивого кодирования // Вестник ДГТУ. – 2001. – Т. 1. – № 1(7). – С. 90–95.
2. Богданов В.Н., Вихлянцев П.С., Симонов М.В. Защита от ошибок в сетях АТМ // Информост. – 2002. – № 3. – С. 20–24.
3. Тесля В.Я., Бабосюк А.Л. Современные подходы к построению сетевых структур связи и управлению трафиком // Зв'язок. – 2004. – № 4. – С. 67–69.
4. Осмоловский С.А. Развитие информационных технологий на новых математических принципах, обеспечивающих гарантированный уровень обслуживания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stokos.ru/stat13.htm>

5. Информационные телекоммуникационные системы специального назначения [Электронный ресурс]. – НТЦ „Навигатор Технолоджи”. – Режим доступа: <http://www.ntcnvg.ru/lekicii/spis.htm>

6. Кривоугбченко С.Г., Компанець М.М., Кулик А.Я. Особенности использования заводоашищенных кодов для закрытия информации при передаче коллективными линиями зв'язку // Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. – Сер. “Електротехніка і енергетика”. – 2000. – Вип. 17. – С. 65–69.

7. Кулик А.Я., Кривоугбченко С.Г., Компанець М.М. Адаптивне передавання інформації каналами зв'язку // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2003. – № 1–2 (5–6). – С. 174–176.

8. Ручкин В. Закономерность изменения эффективности накопления сигнала двоичного кода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.otwet.ru/study/raznoe/zakon_eff.html

9. Кулик А. Я., Кривоугбченко С.Г. Теорія інформації і кодування: навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл. – Вінниця: ВНТУ, 2003. – 145 с.

MAINTENANCE OF THE NOISEPROOF INFORMATION TRANSFER IN THE PROBLEM-ORIENTED DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEMS

A. Y. Kulyk

Vinnitsia National Technical University

Khmelnyske Highway, 95, Vinnitsia, 21021, Ukraine. E-mail: kulyk@inaeksu.vstu.vinnica.ua

The singularities of an information transfer in the problem-oriented distributed computer systems are considered. The problems originating at information interchange in the non-uniform distributed computer systems owing to presence of the different kinds communication channels and use of the custom-built manufacture equipment with the original software are based. The structure of a noise-immune code with the guaranteed reliability of transfer is offered, and the set of the scaleable parameters used for maintenance of an information transfer on channels with a different degree of quality is defined. The criterion function for effective data encoding is determined and ways of the maintenance of a noise immune data exchange are offered.

Key words: information transfer, noise, criterion function.

REFERENCES

1. Deundjak M.I., Mogilevskaja N.S. The imitating model of a digital data channel and algebraic methods of antinoise coding // *Vestnik DGTU*. – 2001. – Vol. 1, № 1 (7). – PP. 90–95. [in Russian]
2. Bogdanov V.N., Vihljantsev P.S., Simonov M.V. The error protection in ATM networks // *Informost*. – 2002. – № 3. – PP. 20–24. [in Russian]
3. Teslja V.J., Babosjuk A.L. The modern approaches to construction of the network communication structures and the traffic control // *Zvyazok*. – 2004. – № 4. – PP. 67–69. [in Russian]
4. Development of the informational technology on the new mathematical principles providing the guaranteed service degree / S. A. Osmolovskij [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.stokos.ru/stat13.htm> [in Russian]
5. The informational telecommunication systems of a special purpose [Electronic resource] – Scientific and technological centre "Navigator Tehnologdzh". – Access mode: <http://www.ntcnvg.ru/lekicii/spis.htm> [in Russian]

6. Krivogubchenko S.G., Kompanets M.M., Kulik A.J. The features of the fault-tolerant codes use for information closing by transfer at the collective communication lines // *Collection of the proceedings of Donetsk state technical university. Ser. "Electrical and power engineering"*. – 2000. – № 17. – PP. 65–69. [in Ukrainian]

7. Kulik A.J., Krivogubchenko S.G., Kompanets M.M. Adaptive information transfer on communication channels // *Optic-electronic informing-power technologies*. – 2003. – № 1–2 (5–6). – PP. 174–176. [in Ukrainian]

8. Regularity of change of an accumulation efficiency for the binaries signal / V. Ruchkin [Electronic resource]. – Access mode: http://www.otwet.ru/study/raznoe/zakon_eff.html [in Russian]

9. Kulik A.J., Krivogubchenko S.G. *Theory of information and coding*: Textbook for university students. – Vinnitsa: VNTU, 2003. – 145 p. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 12.12.2012.