

УДК 621.391.037

В. Я. ПЄВНЄВ, М. В. ЦУРАНОВ, М. Ф. ЛОГВИНЕНКО

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна***МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ**

*У статті пропонується комплексний показник енергоефективності для порівняльної оцінки завадостійких кодів, при їх використанні в інформаційних системах в яких є критичним споживання енергії. Запропонований комплексний показник ефективності враховує вісім показників, заснованих на різних критеріях і вагових коефіцієнтах, які визначаються експертами. Показник враховує енергоефективність використання кодів, як в самому каналі зв'язку, так і на етапі операцій кодування, декодування, а також можливість реалізації кодів на різних апаратних платформах. В статті пропонується методи визначення ефективної швидкості завадостійких кодів, а також експериментальний метод порівняння швидкості коду, обидва методи як складові увійшли в комплексний показник енергоефективності.*

**Ключові слова:** завадостійке кодування, показник ефективності, критерій ефективності, комплексний показник ефективності, рівні якості технічних систем, енергоефективність.

**Вступ. Постановка проблеми**

У наш час в каналах зв'язку використовується велика кількість різноманітних завадостійких кодів, які суттєво відрізняються один від одного, не тільки обчислювальною важкістю але й можливістю виправлення завад. Постає задача оцінки ефективності використання завадостійких кодів в різних каналах зв'язку, а також можливості енергозбереження при різних параметрах каналу. Ця задача ускладнюється тим, що деякі сучасні коди мають можливість м'якого декодування. Оцінка ефективності кодів за одним показником не є доцільною, оскільки не враховує фактори навколишнього середовища, які мають тенденцію постійно змінюватися. Тому необхідно виробити комплексний показник енергоефективності завадостійких кодів, який би враховував критерії не тільки сучасних каналів передачі інформації, але і різної апаратури зв'язку.

Мета пропонованої роботи: розробка комплексного показника енергоефективності використання завадостійких кодів.

**1. Огляд літературних джерел**

При оцінці енергоефективності використання завадостійкого кодування в різних каналах зв'язку необхідно враховувати безліч факторів різних за своєю природою. Під фактором слід розуміти рушійну силу будь-якого процесу (явища) або умову, яка впливає на той чи інший процес (явище) [1].

При дослідженні ефективності технічних систем (ТС) виділяють три групи факторів: якість ТС, умови функціонування ТС, способи використання

(застосування) ТС [1].

Для побудови показників ефективності і досягнення поставленої мети створюють систему. Розглядають операцію, в якій система, що аналізується є активним засобом досягнення поставленої мети. Визначають потенційну ефективність операції при ідеальному способі використання технічної системи. Цю потенційну ефективність і приймають за характеристику якості технічної системи [2]. З цього випливає, що показник ефективності введеної операції є показником якості ТС.

При практичному оцінюванні якості ТС не завжди доцільно використовувати в повному обсязі підхід, заснований на визначенні потенційної ефективності операції. Залежно від складності системи і мети дослідження визнають за доцільне введення декількох рівнів якості.

Емпірично встановлені наступні рівні якості: стійкість, завадостійкість, керованість, здатність, самоорганізація. Розглянемо рівні якості в порядку їх ускладнення [3]:

- первинною якістю будь-якої системи є її стійкість (R);
- другою якістю систем, більш складною, ніж стійкість, є завадостійкість (I);
- третьою якістю системи є керованість (C);
- четвертою якістю системи є здатність системи (A);
- п'ятою якістю системи є самоорганізація (L).

Введення рівнів якості технічних засобів дозволяє при їх дослідженні обмежитися всього одним з перерахованих рівнів. Очевидно, при аналізі якості радіоприймача рівень стійкості, який визначається в цьому випадку надійністю його роботи, недостатній.

Доцільно при оцінці якості приймача перейти на рівень І - завадостійкість, так як на цьому рівні можна визначити якість інформації яку буде отримувати користувач.

Для кількісного визначення ефективності системи слід ввести поняття показника ефективності. Показник - кількісна характеристика якої-небудь властивості системи або цілеспрямованого процесу, що є результатом вимірювання або розрахунку [2]. Показник ефективності  $W(u)$  операції є міра ступеня відповідності реального результату операції необхідному [2].

Показник ефективності може вимірюватися як в метричній, так і порядковій шкалах.

Основною вимогою при виборі показника ефективності є відповідність показника меті операції, яка відображається необхідним результатом  $Y_{TP}$ .

Для опису відповідності реального результату  $Y$  операції необхідному формально вводять функцію відповідності [2]:

$$\rho = \rho(Y(u), Y^{TP}). \quad (1)$$

В сучасних системах зв'язку все частіше стали застосовуватися турбокоди з використанням алгоритмів м'якого декодування. Слід зазначити, що активне вивчення принципів турбокодування з паралельним включенням кодерів виявило ряд недоліків характерних для подібних систем: велика кількість ітеративних перетворень для досягнення потенційно можливих результатів, затримка сигналів при реалізації процедур перемешання символів, велика довжина кодових комбінацій, труднощі реалізації параметричної адаптації [4, 5]. Однак у багатьох затребуваних практикою системах зв'язку доцільно використовувати інші конструкції кодерів, які реалізують короткі коди, але для яких залишаються високі вимоги до достовірності оброблюваної в них інформації.

## 2. Задачі дослідження

Основним завданням є розробка методики оцінки енергоефективності завадостійких кодів. Метою дослідження є отримання адекватних результатів при оцінці енергоефективності застосування завадостійких кодів в різних реалізаціях і каналах зв'язку.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз існуючих методів оцінки ефективності перешкодостійких кодів;
- розроблений комплексний показник оцінки ефективності завадостійких кодів, який включає в себе оцінку енергоефективності від використання кодів в різних каналах зв'язку при різних конфігураціях кодує і декодуєчного обладнання.

## 3. Метод порівняння швидкості завадостійких кодів

Одним з найбільш поширених на практиці класів кодів є Коди Боуза - Чоудхурі - Хоквінгхема (БЧХ-коди) [6, 7]. Це широкий клас циклічних кодів, що застосовуються для захисту інформації від помилок, а також в якості першого каскаду турбокодів. Дані коди відрізняються можливістю побудови із заздалегідь визначеними коригуючими властивостями, а саме, мінімальною кодовою відстанню, яке визначає кількість виявлених і виправляє помилок [6, 8]. Однак, заздалегідь визначені властивості коду призводять до надлишкової збитковості і збільшеною потребою в енергії для апаратури кодування/декодування у випадку коли кількість завад в КЗ менша за теоретично обрахований максимум. Тому використання таких кодів в енергоефективних системах не завжди є доцільним. Автори пропонують порівняти швидкість роботи кодів БЧХ з кодом описаним в [9]. Для цього був розроблений алгоритм порівняння швидкості кодів описаний в [10]. Результати роботи алгоритму порівняння представлені в таблиці 1.

З табл. 1 видно, що найменший час займає формування послідовності з контрольними бітами інформаційної та кодової послідовності, на другому місці - середній час формування контрольної суми. Разом обидві ці процедури займають близько 1 с. Формування матриці коду БЧХ займає значно більше часу - в середньому 3,6 с.

Таблиця 1

Середній час роботи алгоритмів з різними ймовірностями

Ймовірність (%)	Середній час формування контрольної суми (с)	Середній час формування перевіркової послідовності (с)	Середній час формування коду БЧХ (с)
100	0,783	0,157	3,604
95	0,78	0,145	3,6
90	0,777	0,134	3,23

При використанні кодових таблиць описаних в [11] часом формування контрольної суми можна знехтувати, оскільки вона вже врахована у кодовій таблиці. Отже, час формування завадостійкого коду становитиме частки секунди, що значно швидше формування коду БЧХ. Отже як бачимо алгоритм кодування представлений в [9] більш енергоефективний, оскільки потребує значно менше процесорного часу.

Для обґрунтування можливості використання алгоритму [9] в реальних КЗ авторами проведено теоретичне дослідження можливості відновлення

повідомлення цим алгоритмом [12]. Абсолютно очевидно, що кількість помилок визначатиметься якістю каналу, розміром повідомлення що передається і типом помилок, що виникають в каналі. У [13] показано, що використовуючи запропонований метод, можна з достатньою достовірністю представити усі помилки як поодинокі і незалежні. Для доказу можливості використання запропонованого методу в [12] була сформуована і доведена наступна теорема: Теорема 1. Для гарантованого відновлення початкового повідомлення за наявності однієї помилки в повідомленні що передається досить послідовно змінити чотири біта в спотвореній четвірці.

Наслідок теореми 1. Для відновлення початкового повідомлення з  $n$  помилками досить змінити  $4n$  біта з максимальною кількістю змін  $4n$ .

Однак одночасне спотворення 2-х бітів у 4-х бітовій послідовності може призвести до колізій. У роботі [12] авторами запропоновано механізм контрольної суми та сформуовано теорему яка доводить ефективність використання контрольної суми. Теорема 2. Зміна двох будь-яких елементів в послідовності з чотирьох біт, що задовольняє перевірку на парність, не приводить до колізії [12].

Слід зазначити, що рішення завдання порівняльної оцінки можливо тільки при використанні комплексного критерію. У цей критерій повинні входити і мінімізація енерговитрат, і максимізація кількості символів, які можуть бути виправлені при обраному коді, і мінімізація кількості коригувальних символів, і мінімізація часу побудови завадостійкої посилки і її відновлення і т.д. [14]. Крім цього, на наш погляд, слід звернути увагу на реакцію системи в разі неможливості відновити отриману посилку і генерації повторного запиту на передачу інформації.

Побудова енергоефективних завадостійких кодів є актуальним завданням, оскільки ускладнення алгоритмів завадостійкого кодування призводить не тільки до складності оцінки ефективності їх використання, особливо при оцінці енергоефективності різних реалізацій одного і того ж перешкодостійкого коду, а й до неможливості їх використання в системах зв'язку де є критичним енергоспоживання.

#### 4. Метод визначення ефективної швидкості передачі даних

З точки зору економічної ефективності необхідно прагнути до найбільш повного використання задіяних мережевих ресурсів: пакетних комутаторів, маршрутизаторів і каналів передачі даних. Це необхідно для того щоб передавати якомога більші обсяги даних у перерахунку на одиницю вартості задіяного обладнання.

Для пакетної мережі параметр навантаження

пов'язується з такими показниками якості обслуговування, як час затримки повідомлення та ймовірність втрати пакету даних. Можна стверджувати, що названі показники якості обслуговування визначаються пропускну здатністю чи швидкістю передачі інформації [15, 16]. Слід враховувати такі реально існуючі фактори, як завади, які призводять до підвищення імовірності помилок (одиначних та групових) і, як наслідок, до зменшення реальної пропускну здатності та швидкості передачі інформації. Для вищезазначеного ефективна швидкість передачі даних за умов відсутності переповнення буферу пам'яті можна визначити як функцію декількох змінних:

$$R_e = f(R_0, V_k, n_p, t_r, \varepsilon, P_e, z, K_p), \quad (2)$$

де  $R_0$  - потенційна швидкість передачі інформаційних даних;  $V_k$  - кодова швидкість;  $n_p$  - довжина пакету даних;  $t_r$  - час розповсюдження сигналів через канал зв'язку, а також аналізу та підтвердження (або перепитування) прийому пакету;  $\varepsilon$  - показник групування помилок внаслідок завад;  $P_e$  - ймовірність збою одиничного елемента сигналу даних;  $z$  - кількість перепитувань,  $K_p$  - бінарний показник наявності завадостійкого кодування при передачі даних.

Розглянемо випадок коли пакет довжиною  $n_p$  містить  $k$  інформаційних елементів (тобто,  $V_k = k / n_p$ ), а ймовірність появи помилки у пакеті дорівнює  $P$ . Тоді середній час на передачу пакета з урахуванням  $z$  можливих повторювань відобразиться у такому вигляді:

$$t_1 = T_p \sum_{i=1}^z P_i, \quad (3)$$

де  $T_p$  - час який витрачається на одноразове передавання пакету даних.

В результаті проведеного математичного аналізу виразу 3 можна дійти висновку, що:

1) ефективна швидкість передачі інформації  $R_e$  має (в залежності від  $n_p$ ) максимальне значення  $R_{e \max}$ , яке із зростанням  $R_0$  зміщується у бік менших значень  $n_{popt}$ . Екстремум залежності  $R_e = f(n_p)$  тим гостріший, чим більше значення  $R_0$ . Це свідчить про меншу критичність вибору  $n_p$  із зменшенням  $R_0$ ;

2) із зменшенням ступеня групування помилок у каналі зв'язку та збільшенням кількості одиничних помилок (тобто, із збільшенням значень  $\varepsilon$ ) значення  $n_{popt}$  падає і, починаючи із області  $\varepsilon = 0,6 - 0,7$ , мало залежить від  $\varepsilon$ .

## 5. Метод оцінки енергоефективності заводостійких кодів

При розробці методики оцінювання ефективності використання заводостійких кодів, необхідно використовувати комплексні показники ефективності, які враховують не тільки поведінку кодів у реальних каналах зв'язку, але й можливість моделювання кодів для будь-якого КЗ, також при використанні комплексних показників слід враховувати можливість абстрагуватися від реальної апаратної платформи, та мати змогу порівнювати швидкість кодів як за програмною так і за апаратною реалізацією. В роботі [17] пропонується використовувати комплексний показник для оцінки ефективності використання сучасних заводостійких кодів, однак розглянутий показник не враховує енергетичну ефективність, тому автори пропонують дещо вдосконалити його і привести до наступного вигляду:

$$K_K = K_{B1} \frac{K_1}{K_1 + K_2} + K_{B2} \frac{F_{сру}}{t_{\Sigma K}} + K_{B3} \frac{F_{сру}}{t_{\Sigma ДК}} + K_{B4} \frac{K_{Oдн}}{K_{Oбщ}} + K_{B5} \frac{K_{Oш}}{K_{Oш} + K_{нош}} + K_{B6} \frac{K_{Max}}{K_{Oбщ}} + K_{B7} \frac{P_{TK}}{P_{CT}} + K_{B8} E_6 (K_1 + K_2), \quad (4)$$

де  $K_{B1}, K_{B2}, K_{B3}, K_{B4}, K_{B5}, K_{B6}, K_{B7}, K_{B8}$  - вагові коефіцієнти, які визначають експерти;

$$\sum_{i=1}^8 K_{Bi} = 1;$$

$K_1$  - кількість інформаційних символів;

$K_2$  - кількість перевірочних символів;

$F_{сру}$  - Тактова частота процесора, вимірюється

в тактах;

$t_{\Sigma K}$  - Сумарний час, в тактах процесора, необхідний для виконання операцій кодування алгоритму заводостійкого коду, при однакових пакетах даних;

$t_{\Sigma ДК}$  - Сумарний час, в тактах процесора, необхідний для виконання операцій декодування алгоритму заводостійкого коду, при однаковому каналі зв'язку та пакеті даних;

$K_{Oдн}$  - кількість одночасно виконуваних операцій в алгоритмі;

$K_{Oбщ}$  - загальна кількість операцій в алгоритмі;

$K_{Oш}$  - кількість помилок які виникли в результаті передачі даних КЗ;

$K_{нош}$  - Кількість, теоретично обґрунтованих, виправлених помилок;

$K_{Oбщ}$  - загальна кількість біт для передачі з використанням алгоритму;

$K_{Max}$  - максимально можлива кількість помилкових біт в алгоритмі, які можливо виправити;

$P_{TK}$  - потужність передавача на час використання заводостійкого коду;

$P_{CT}$  - стандартна потужність передавача;

$E_6$  - затрати енергії на кодування 1 біту інформації.

## Висновки

Представлений комплексний показник ефективності дозволяє провести порівняльний аналіз заводостійких кодів, які використовуються в різних каналах зв'язку. При оцінці якості кодів враховуються як результати математичного моделювання каналів зв'язку, так і результати реального використання кодів, важливо при оцінці можливості впровадження кодів, також враховується енергоефективність коду. Показник враховує енергоефективність використання кодів, як в самому каналі зв'язку, так і на етапі операцій кодування, декодування, що дозволяє використовувати його при оцінці енергоефективності використання різних апаратних реалізацій кодувального/декодувального обладнання.

Спираючись на експериментальні дослідження моделей помилок та швидкості роботи заводостійких кодів, враховуючи отримані дані та використовуючи розроблений показник ефективності слід зазначити, що представлений в [9] заводостійкий код в більшості випадків задовольняє вимогам зелених технологій і максимально ефективно використовує енергетичну складову каналів зв'язку.

## Література

1. *Эффективность технических систем [Текст] : справочник / В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. - М. : Машиностроение, 1988. - 328 с.*
2. *Надежность и эффективность в технике: Методология. Организация. Терминология. [Текст] : справочник / В. С. Авдеевский, А. И. Рембеза. - М. : Машиностроение, 1986. - 224 с.*
3. *Флейшман, Б. С. Основы системологии [Текст] / Б. С. Флейшман. - М. : Радио и связь, 1982. - 368 с.*
4. *Гладких, А. А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи [Текст] / А. А. Гладких. - Ульяновск : УлГТУ, 2010. - 379 с.*
5. *Shumsky, I. Robustness of Security-Oriented Binary Codes under non-uniform distribution of codewords [Text] / I. Shumsky, O. Keren, M. Karpovsky // Dependable Computing and Communications Symposium at the International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN-DCCS, 2013. - С. 25-30.*
6. *Блейхут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки [Текст] : пер. с англ. / Р. Блейхут. - М. : Книга по Требованию, 2013. - 566 с.*

7. Admaty, N. *Punctuating, Expurgating and Expanding the q-Ary BCH Based Robust Codes [Text]* / Admaty, S. Litsyn, and O. Keren // *The 27-th IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, 2012. – С. 1-5.

8. Осмоловский, С. А. *Стохастические методы передачи данных. [Текст]* / С. А. Осмоловский. – М.: Радио и связь, 1991. – 240 с.

9. Спосіб відновлення інформації при обміні даними у телекомунікаційних системах [Текст] : Патент на корисну модель № 26778 Україна, МПК НО4L 12/00 / Певнев, В. Я., заяв. 23.04.07, опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16. – 5 с. : ил.

10. Певнев, В. Я. *Сравнительный анализ скорости работы помехоустойчивых кодов [Текст]* / В. Я. Певнев, М. В. Цуранов // *Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 21 июня 2012 г.) / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь»*. – Минск : Акад. МВД, 2012. – С. 153-156.

11. Певнев, В. Я. *Построение оптимальных кодовых таблиц [Текст]* / В. Я. Певнев, М. В. Цуранов // *Системы обработки информации : Збірник наукових праць*. – Вып. 3(108). – Харків, ХУПС, 2012. – С. 27-30.

12. Певнев, В. Я. *Теоретичне обґрунтування методу відновлення повідомлення, прийнятого з помилками [Текст]* / В. Я. Певнев, М. В. Цуранов // *Системы обработки информации : Збірник наукових праць*. – Вып. 2(109). – Харків, ХУПС, 2013. – С. 194-196.

13. Певнев, В. Я. *Экспериментальные исследования моделей групповых ошибок в каналах связи [Текст]* / В. Я. Певнев, М. В. Цуранов // *Вісник НТУ „ХПИ” : Збірник наукових праць*. – № 49. – Харків : НТУ „ХПИ”, 2011. – С. 115-121.

14. *Научные основы, методы и средства зелёного компьютеринга и коммуникаций. Том 1. Разработка положений методологии зелёного компьютеринга и коммуникаций в условиях ресурсных ограничений // Отчёт о НИР (государственный регистрационный номер 0115U000996)*. – Харьков : Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, 2015. – 246 с.

15. Stallings, W. *High-speed networks and inter-nets: performance and quality of service [Text]* / W. Stallings. – Pearson Education, 2002. – 715 p.

16. MacWilliams, F. J. *The Theory of Error-Correcting Codes [Text]* / F. J. MacWilliams, N. J. A. Sloane. – North-Holland, 1977. – 780 p.

17. Цуранов, М. В. *Комплексний показник оцінки ефективності перешикодувальних кодів [Текст]* / М. В. Цуранов // *Наука і техніка повітряних сил Збройних Сил України*. – №2 (19). – 2015. – С. 101-104.

Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 328 p.

2. Avduevskii, V. S., Rembeza, A. I. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Metodologiya. Organizatsiya. Terminologiya*. [Reliability and efficiency in engineering: Methodology. Organization. Terminology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 224 p.

3. Fleishman, B. S. *Osnovy sistemologii* [Fundamentals of systemology]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982. 368 p.

4. Gladkikh, A. A. *Osnovy teorii myagkogo dekodirovaniya izbytochnykh kodov v stirayushchem kanale svyazi* [Fundamentals of the theory of soft decoding of redundant codes in the Erasure communication channel]. Ul'yanovsk, UIGTU Publ., 2010. 379 p.

5. Shumsky, I., Keren, O. and Karpovsky, M. Robustness of Security-Oriented Binary Codes under non-uniform distribution of codewords, *Dependable Computing and Communications Symposium at the International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN-DCCS*, 2013, pp. 25-30.

6. Bleikht, R. *Teoriya i praktika kodov, kontroliruyushchikh oshibki*. [Theory and practice codes, controlling errors]. Moscow, Kniga po Trebovaniyu Publ. 2013. 566 p.

7. Admaty, N., Litsyn S., Keren, O. *Punctuating, Expurgating and Expanding the q-Ary BCH Based Robust Codes, The 27-th IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, 2012, pp. 1-5.

8. Osolovskii, S. A. *Stokhasticheskie metody peredachi dannykh*. [Stochastic methods of data] Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1991. 240 p.

9. Pyevnyev, V. Ya. *Sposib vidnovlennya informatsiyi pry obmini danymy u telekomunikatsiynykh systemakh*. [Way to restore information when exchanging data in telecommunication systems.] Patent Ukrayina, №. 26778, 2007. 5 p.

10. Pevnev, V. Ya., Tsuranov, M. V. *Sravnitel'nyi analiz skorosti raboty pomekhoustoichivnykh kodov [Comparative analysis of the speed of error-correcting codes] Teoreticheskie i prikladnye problemy informatsionnoi bezopasnosti : tez. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Minsk, 21 iyunya 2012 g.)* [Theoretical and applied problems of information security : proc. Dokl. Intern. scientific.-practical. Conf. (Minsk, June 21, 2012)], Minsk, Akad. MVD Publ., 2012, pp. 153-156.

11. Pevnev, V. Ya., Tsuranov, M. V. *Postroenie optimal'nykh kodovykh tablits [The construction of the optimal code tables] Systemy obrobky informatsiyi . Zbirnyk naukovykh prats'*. Vol. 3(108). Kharkiv, KhUPS, 2012, pp. 27-30.

12. Pevnev, V. Ya., Tsuranov, M. V. *Teoretychne obgruntuвання методу відновлення повідомлення, прийнятого з помилками [Theoretical justification of the method of recovery messages received with errors] Systemy obrobky informatsiyi. Zbirnyk naukovykh prats'*, vol. 2(109), Kharkiv, KhUPS Publ., 2013, pp. 194-196.

13. Pevnev, V. Ya., Tsuranov, M. V. *Eksperymental'nye issledovaniya modelei gruppovykh oshibok v kanalakh svyazi* [An experimental study of group pat-

## References

1. Utkina, V. F., Krjuchkova, Ju. V. *Effektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Efficiency of technical systems].

terns of errors in communication channels] *Visnyk NTU „KhPI”*, Zbirnyk naukovykh prats', Kharkiv, NTU „KhPI” Publ., no. 49, 2011, pp. 115-121.

14. *Nauchnye osnovy, metody i sredstva zelenogo komp'yutyngha i kommunikatsii. Tom 1. Razrabotka polozhenii metodologii zelenogo komp'yutyngha i kommunikatsii v usloviyakh resursnykh ogranichenii* [Scientific basis, methods and tools for green computing and communications. Volume 1. Development of provisions methodology green computing and communications in the context of resource constraints], Otchet o NIR (gosudarstvennyi registratsionnyi nomer 0115U000996), Khar'kov, Nats. aerokosmicheskii un-t im. M. E.

Zhukovskogo "KhAI", 2015. 246 p.

15. Stallings, W. *High-speed networks and internets: performance and quality of service*, Pearson Education, 2002. 715 p.

16. MacWilliams, F. J., Sloane, N. J. A. *The Theory of Error-Correcting Codes*, North-Holland, 1977. 780 p.

17. Tsuranov, M. V. Kompleksnyy pokaznyk otsinky efektyvnosti pereshkodostiykykh kodiv [A complex index for evaluating the effectiveness noise immunity codes] *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, no. 2 (19), 2015, pp. 101-104.

*Надійшла до редакції 21.03.2016, розглянута на редколегії 14.04.2016*

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ

*В. Я. Певнев, М. В. Цуранов, Н. Ф. Логвиненко.*

В статье предлагается комплексный показатель энергоэффективности для сравнительной оценки помехоустойчивых кодов, при их использовании в информационных системах критичных к потреблению энергии. Предложенный комплексный показатель энергоэффективности учитывает восемь показателей, основанных на разных критериях и весовых коэффициентах, которые определяются экспертами. Показатель учитывает энергоэффективность использования кодов, как в самом канале связи, так и на этапе операций кодирования, декодирования, а также возможность реализаций кодов на различных аппаратных платформах. В статье предлагаются методы определения эффективной скорости помехоустойчивых кодов, а также экспериментальный метод сравнения скорости кодов, оба метода как составляющие вошли в комплексный показатель энергоэффективности.

**Ключевые слова:** помехоустойчивое кодирование, показатель эффективности, критерий эффективности, комплексный показатель эффективности, уровни качества технических систем, энергоэффективность.

## ENERGY EFFICIENCY OF ERROR CONTROLLED CODES ASSESSMENT METHODOLOGY

*V. Ya. Pevnev, M. V. Tsuranov, M. F. Logvynenko*

There is energy efficiency complex index for anti-jamming codes, which are used in energy-critical computer systems comparative evaluation suggesting in the article. Suggested efficiency complex index considers eight based on different criteria and weight coefficients indexes, which are calculated by experts. The index considers code applying energy efficiency both in communication channel and at encoding, decoding operations step, and code realization feature for different hardware systems. There are anti-jamming codes speed efficiency calculation methods and experimental code speed compare method suggested in the article. Both methods are included in energy-efficiency complex index.

**Key words:** anti-jamming code, efficiency index, efficiency criterion, efficiency complex index, technical systems quality levels, energy-efficiency.

**Певнев Владимир Яковлевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», e-mail: pevnevvy@mail.ru.

**Цуранов Михайло Віталійович** – ст. викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», e-mail: m.tsuranov@csn.khai.edu.

**Логвиненко Микола Федорович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри систем управління літальними апаратами, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

**Pevnev Vladimir Yakovlevich** Candidate of Technical Science Associate Professor of Dept. of Computer Systems and Networks, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: pevnevvy@mail.ru.

**Tsuranov Mikhail Vitalievich** – Senior Lecturer of Dept. of Computer Systems and Networks, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: m.tsuranov@csn.khai.edu.

**Logvynenko Mykola Fedorovich** - Candidate of Technical Science Associate Professor of Dept. of Control Systems aircraft, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine.