

DOI: 10.18372/2310-5461.56.17129

УДК 621.391

**О. Ю. Лавриненко**, канд. техн. наук  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-7738-161X  
e-mail: oleksandrLavrynenko@gmail.com;

**Д. І. Бахтіяров**, канд. техн. наук  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0003-3298-4641  
e-mail: bakhtiaroff@tks.nau.edu.ua;

**О. Г. Голубничий**, д-р техн. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-5101-3862  
e-mail: oleksii.holubnychyi@npp.nau.edu.ua;

**О. В. Жарова**, канд. пед. наук  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-4060-850X  
e-mail: jarova@ukr.net

## МЕТОД БЛОЧНОГО ПЕРЕМЕЖУВАННЯ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ІНТЕГРУВАННЯ В СТЕГАНОГРАФІЧНИЙ АУДІОКОНТЕЙНЕР НА ОСНОВІ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕНТРОПІЇ ВЕЙВЛЕТ-КОЕФІЦІЄНТІВ

### Вступ

Текстова інформація є дуже важливим видом передавальної інформації в різних інформаційних системах, це зумовлено тим, що текстова інформація має дві основні властивості, зокрема – максимальна інформативність та мінімальна надмірність. Порівняно з іншими видами інформаційних даних, такі як аудіо, відео та зображення, ці дві властивості, текстову інформацію роблять дуже привабливою для попередньої обробки з подальшим приховуванням її у стеганографічних контейнерах, які мають набагато більшу надмірність [1].

У цій статті розглядатиметься попередня обробка текстової інформації для подальшого застосування одного із стеганографічних методів, заснованих на вейвлет-перетворенні для її приховування в аудіосигналі, тобто у стеганографічному аудіоконтейнері [2, 3]. У багатьох наукових працях досить мало приділяється уваги саме первинній обробці текстової інформації, що приховується, а більшою мірою розглядаються тільки самі методи приховування в аудіоконтейнерах. Автори вважають, що попередня обробка текстової інформації, що приховується, може дати в підвищенні ефективності аудіостеганосистеми, досить непогані результати, а якщо розглянути два етапи стеганографічної обробки в невід'ємному симбіозі, то отримаємо систему, яка

уособлюватиме переваги як первинної обробки текстової інформації, так і метода приховування в аудіоконтейнері [4, 5].

Виходячи з вищевикладених тверджень, автори вважають запропонований метод блокового перемежування текстової інформації псевдовипадковим чином для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів – актуальним, і розкриття, якого може належним чином вплинути на підвищення загальної ефективності такого типу аудіостеганосистем.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

У процесі цього наукового дослідження було проаналізовано відомі методи попередньої обробки текстової інформації з метою подальшої стеганографічної інтеграції її в аудіосигнал методами на основі вейвлет-перетворення [6-8]. Можна з упевненістю сказати, що жоден з існуючих методів не вирішує завдання, пов'язане з блоковим перемежуванням текстової інформації псевдовипадковим чином для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів. Пов'язано це в першу чергу з тим, що в своїй основі суть аудіостеганографії полягає в особливостях психофізіологічної моделі сприйняття звуку людиною (приховування самого факту передачі тексту маскуванням в акустичних сигналах), а для цього

зовсім не потрібно розбивати текстову інформацію на блоки згідно критерію максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів аудіоконтейнера, а потрібно лише маскувати за принципом мінімаксної щільності енергії спектра аудіосигналу, тобто за великими амплітудами спектра аудіосигналу повинні йти маленькі амплітуди нормованих елементів текстової інформації, а за маленькими – ще менші [9]. Таким чином виникає ефект розмиття чутності звуків, який згідно з людською психофізіологічною моделлю сприйняття звуку знаходяться за порогом чутності, тому людина на слух не сприймає спотворення, пов'язані з процесом інтеграції текстової інформації в аудіоконтейнер [10, 11].

Але коли йдеться про підвищення ефективності аудіостеганосистеми з боку застосування різних алгоритмів стиснення аудіосигналу, але не з метою прибрати його малоінформативні складові, а з метою видалити приховану в аудіоконтейнері текстову інформацію шляхом навмисного введення спотворень алгоритмом стиснення, ось тут маскуванню за принципом мінімаксної щільності енергії спектра аудіосигналу стає не ефективним, а відповідно, і попередня обробка текстової інформації для інтегрування в аудіоконтейнер заснована на такому принципі, теж є мало ефективною [12]. Це відбувається з тієї причини, що при стисненні аудіоконтейнера, в першу чергу обнуляються спектральні характеристики аудіосигналу, в які була інтегрована текстова інформація, згідно критерію мінімаксної щільності енергії спектра аудіосигналу [13]. Тому був розроблений такий метод попередньої обробки текстової інформації, який зміг би враховувати два критерії ефективності аудіостеганосистеми, а саме – принцип мінімаксної щільності енергії спектра аудіосигналу та стійкість до стиснення.

### Постановка проблеми

У багатьох науково-технічних завданнях, пов'язаних із приховуванням текстової інформації в стеганографічних контейнерах аудіосигналу методами на основі вейвлет-перетворення виникає проблема – розбиття на блоки текстової інформації з подальшим інтегруванням її у вейвлет-коефіцієнти аудіосигналу залежно від об'єму інформації самого тексту та стеганографічного аудіоконтейнера [14]. Постає питання – на скільки блоків і якого об'єму розбивати текстову інформацію, щоб рівномірно інтегрувати її в аудіоконтейнер на всій смузі частот аудіосигналу, тобто який критерій оцінки потрібно використовувати для знаходження оптимальної кількості інтегрованих блоків текстової інформації та

якого об'єму вони мають бути? Відповівши на це питання, можна суттєво підвищити ефективність системи стеганографічного приховання текстової інформації на основі вейвлет-перетворення за рахунок рівномірного інтегрування її по всій смузі частот аудіосигналу (вейвлет-коефіцієнтів). Вирішення цієї проблеми є дуже важливим, як з боку психофізіологічної моделі сприйняття звуку (приховування самого факту передачі тексту маскуванням в акустичних сигналах), так і з боку застосування різних алгоритмів стиснення аудіосигналу, але не з метою прибрати його малоінформативні складові, які згідно з людською психофізіологічною моделлю сприйняття звуку знаходяться за порогом чутності, а з метою видалити приховану в аудіоконтейнері текстову інформацію шляхом навмисного введення спотворень алгоритмом стиснення [15].

Запропонований метод блочного перемежування текстової інформації псевдовипадковим чином для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів спрямований на попередню обробку текстової інформації для подальшої інтеграції до аудіоконтейнера (вейвлет-коефіцієнти) з урахуванням двох вищеописаних особливостей ефективності аудіостеганосистеми, що є головним завданням даного наукового дослідження.

### Запропонований метод

Структурна схема розробленого методу блочного перемежування текстової інформації псевдовипадковим чином для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів представлена на рис. 1. Детальне роз'яснення всіх блоків, що є на схемі, і формальне їх подання буде викладено далі. Будь-яка текстова інформація на українській мові може бути представлена у вигляді ASCII-кодування, де всі символи комп'ютерного алфавіту пронумеровані від 0 до 255, що є порядковим номером символу у двійковій системі числення восьмирозрядного коду від 00000000 до 11111111. Таким чином сформуємо множину чисел  $S = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$ , які відповідають кожному конкретному символу згідно ASCII-кодування [16].

Тоді текстову інформацію можна представити у вигляді множини

$$T = \{S_i, S_i, \dots, S_i\}, \quad (1)$$

що відповідає послідовності чисел  $S_i$  з множини  $S$ , де поява кожного  $S_i$  в множині  $T$  визначається послідовністю символів у тексті  $i$ .

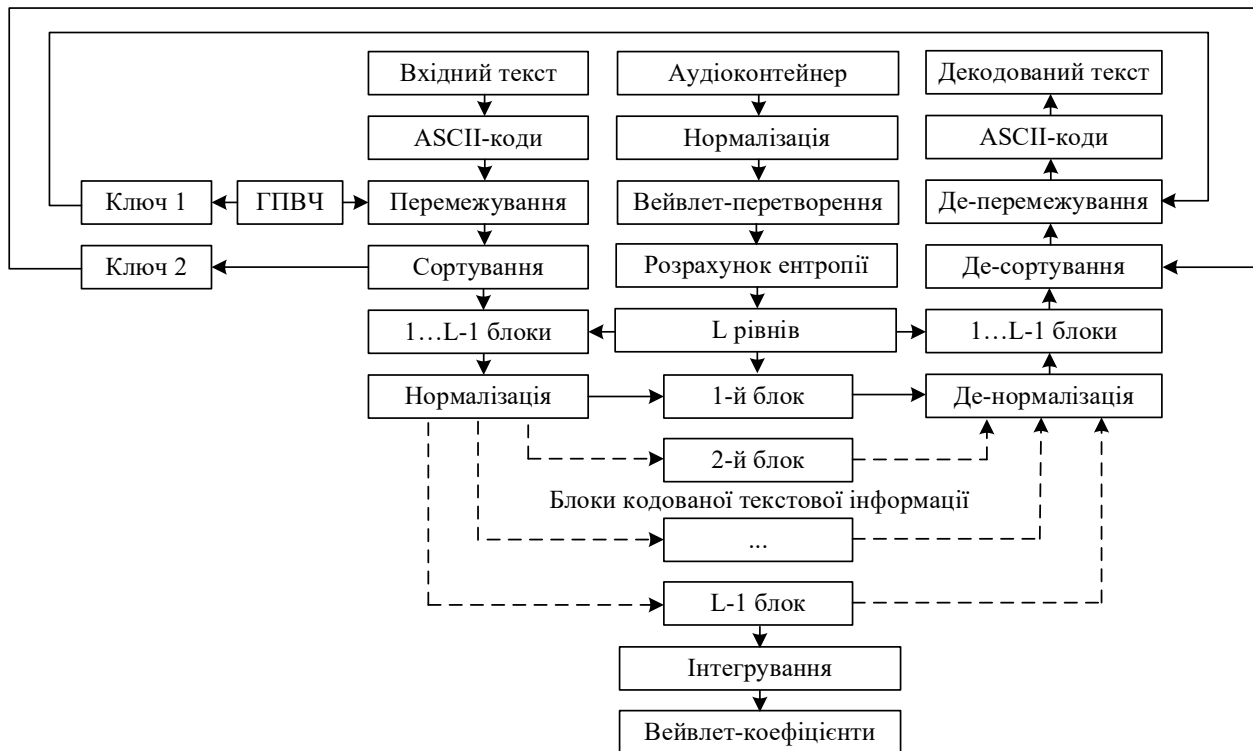


Рис. 1. Структурна схема методу блочного перемежування текстової інформації для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів

Отже, маючи текстову інформацію  $T_{1,\dots,l}$ , де  $l$  – загальна кількість символів, які мають бути приховані в аудіосигналі, потрібно зробити операцію перемежування, щоб видалити статистичні залежності між символами в тексті. Ця операція реалізується за допомогою генератора псевдовипадкових чисел (ГПВЧ), який формує послідовність  $l$  рівномірно розподілених чисел в інтервалі  $(0, 1)$ .

Тоді математичне очікування  $m_r$  та дисперсія  $D_r$  такої послідовності, яка складається з  $l$  псевдовипадкових чисел  $r_i$ , повинні прагнути до наступних значень:

$$m_r = \frac{\sum_{i=1}^l r_i}{l} \rightarrow 0.5, \quad (2)$$

$$D_r = \frac{\sum_{i=1}^l (r_i - m_r)^2}{l} \rightarrow \frac{1}{12}. \quad (3)$$

Для того, щоб перемішати символи множини  $T_{1,\dots,l}$  псевдовипадковим чином, потрібно щоб псевдовипадкові числа  $x_{1,\dots,l}$ , які генеруються ГПВЧ перебували в інтервалі  $(1;l)$ , що відрізняється від  $(0;1)$ . Числа в інтервалі  $(1;l)$  еквівалентні індексам кожного символу текстової інформації  $T_{1,\dots,l}$  [17].

Для вирішення цього завдання можна скористатися формулою

$$x_{1,\dots,l} = 1 + (l-1) \cdot r_{1,\dots,l}, \quad (4)$$

де  $r_{1,\dots,l}$  – псевдовипадкові числа з інтервалу  $(0, 1)$ .

Законність цього перетворення описується наступним чином

$$\begin{aligned} \frac{r_{1,\dots,l} - 0}{1 - 0} &= \frac{x_{1,\dots,l} - 1}{l - 1} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow r_{1,\dots,l} &= \frac{x_{1,\dots,l} - 1}{l - 1} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow x_{1,\dots,l} &= 1 + (l-1) \cdot r_{1,\dots,l}, \end{aligned} \quad (5)$$

і демонструється на рис. 2.

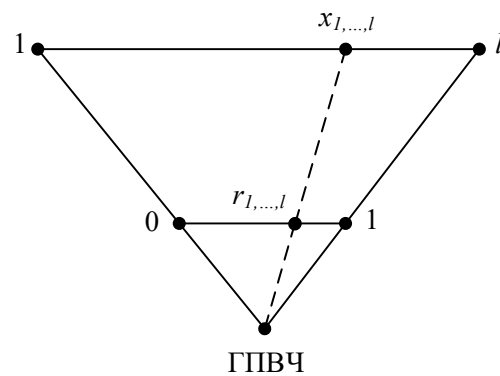


Рис. 2. Схема переведення псевдовипадкових чисел  $r_{1,\dots,l}$  з інтервалу  $(0; 1)$  у числа  $x_{1,\dots,l}$  з інтервалом  $(1; l)$

Тепер  $x_{1,\dots,l}$  – псевдовипадкові числа, рівномірно розподілені в діапазоні від 1 до  $l$ .

Таким чином можна сформувати множину унікальних чисел

$$Key1 = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}, \quad (6)$$

які відповідатимуть новим індексам кожного символу текстової інформації  $T_{1,\dots,l}$ . Ця множина чисел  $Key1$  відповідатиме Ключу 1 (рис. 1).

Тоді операції перемешування та де-перемешування (рис. 1) можна представити у вигляді функціоналу

$$T_{Key1} = T_{1,\dots,l}(Key1_{1,\dots,l}), \quad (7)$$

$$T_{1,\dots,l} = T_{Key1}(Key1_{1,\dots,l}). \quad (8)$$

Оскільки низькочастотні вейвлет-коефіцієнти з кожним наступним рівнем розкладання будуть збільшувати абсолютну потужність, то і текстову інформацію  $T_{Key1}$  потрібно відсортувати таким чином, щоб інтегрування її в низькочастотні вейвлет-коефіцієнти відбувалося від мінімальних  $\min$  до максимальних  $\max$  значень відповідно до виразу  $\{\min(T_{Key1}), \dots, \max(T_{Key1})\}$ , у цьому полягає головне завдання застосування операції сортування [18].

Отже, отримавши текстову інформацію  $T_{Key1}$ , яка була піддана операції перемешування за допомогою  $Key1$ , потрібно провести операцію сортування від мінімального  $\min$  до максимального  $\max$  значення множини символів  $T_{Key1}$ .

Так, як вхідну текстову інформацію ми представили у вигляді множини  $T = \{S_i, S_i, \dots, S_i\}$ , де  $S = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$  – множина чисел, які відповідають кожному конкретному символу згідно ASCII-кодування, а  $i$  визначається початковою послідовністю символів у тексті, то можна переписати вираз наступним чином  $T_{Key1} = \{S_i, S_i, \dots, S_i\}$ , де  $i$  визначає послідовність чисел в діапазоні від 0 до 255 в залежності від  $Key1$ .

Тоді операції сортування та де-сортування (рис. 1) можна записати наступним чином

$$T_{Key2} = T_{Key1}(Key2_{1,\dots,l}), \quad (9)$$

$$T_{Key1} = T_{Key2}(Key2_{1,\dots,l}), \quad (10)$$

де  $Key2_{1,\dots,l}$  – послідовність індексів множини символів  $T_{Key1}$ , які були сформовані згідно виразу  $\{\min(T_{Key1}), \dots, \max(T_{Key1})\}$ , що відповідає Ключу 2 (рис. 1).

Отже, маючи текстову інформацію  $T_{Key2}$ , яка зазнала операції сортування відповідно до умови  $\{\min(T_{Key1}), \dots, \max(T_{Key1})\}$ , потрібно розбити її

на  $L-1$  блоків, де  $L$  – максимальна кількість рівнів вейвлет-розкладання аудіосигналу, оскільки на останньому рівні вейвлет-розкладання не відбувається інтегрування тексту [19].

Тоді кількість блоків  $b$  текстової інформації  $T_{Key2}$  визначається через знаходження максимального рівня вейвлет-розкладання  $L$  аудіосигналу, згідно з його максимально можливою ентропією (рис. 1), що можна представити наступним чином

$$b = L - 1, \quad (11)$$

$$L \approx \log_2 \left( \frac{l_A}{l_F - 1} \right), \quad (12)$$

коректність цього виразу підтверджується дотриманням умови

$$(l_F - 1) \cdot 2^L < l_A, \quad (13)$$

де  $l_A$  – кількість вейвлет-коефіцієнтів,  $l_F$  – кількість коефіцієнтів вейвлет-фільтра, а символ  $\approx$  характеризує округлення числа  $L$  в меншу сторону.

Тоді кількість символів в одному блоці  $l_b$  текстової інформації  $T_{Key2}$  визначається згідно виразу

$$l_b = \frac{l_T}{b}, \quad (14)$$

де  $l_T$  – загальна кількість символів текстової інформації  $T_{Key2}$ , які мають бути приховані в аудіосигналі [20].

Таким чином, текстову інформацію  $T_{Key2}$ , яка розбита на  $b$  блоків, де кількість символів в одному блоці дорівнює  $l_b$ , можна представити у вигляді множини

$$Tb_{1,\dots,b} = \{T_{1,\dots,l_b}, T_{l_b+1,\dots,2l_b}, T_{2l_b+1,\dots,3l_b}, \dots, T_{(b-1)l_b+1,\dots,bl_b}\}, \quad (15)$$

де  $T = T_{Key2}$ ,  $Tb_1 = T_{1,\dots,l_b}$ ,  $Tb_2 = T_{l_b+1,\dots,2l_b}$ ,  $Tb_3 = T_{2l_b+1,\dots,3l_b}$ ,  $Tb_b = T_{(b-1)l_b+1,\dots,bl_b}$ , що відповідає операції розбиття текстової інформації на блоки (рис. 1).

Тоді операція об'єднання блоків (рис. 1) текстової інформації  $Tb_{1,\dots,b}$ , виглядатиме таким чином

$$T_{Key2} = \bigcup_{i=1}^b Tb_i. \quad (16)$$

На заключному етапі підготовки текстової інформації для інтегрування в аудіосигнал потрібно провести операцію нормування, яку можна представити у наступному вигляді

$$Tbn_{1,\dots,b} = \frac{Tb_{1,\dots,b}}{\max(Tb_{1,\dots,b})}, \quad (17)$$

$$An_{1,\dots,l_A} = \frac{A_{1,\dots,l_A}}{\max(A_{1,\dots,l_A})}, \quad (18)$$

щоб текстова інформація  $Tbn_{1,\dots,b}$  та аудіосигнал  $An_{1,\dots,l_A}$  знаходилися в одній шкалі нормування, а саме, значення ASCII-кодів символів тексту  $Tb_{1,\dots,b}$  та відліки аудіосигналу  $A_{1,\dots,l_A}$  знаходилися в інтервалі від 0 до 1. Тоді відновлення нормованої текстової інформації  $Tbn_{1,\dots,b}$  та аудіосигналу  $An_{1,\dots,l_A}$  у початкову шкалу нормування (де-нормування) можна здійснити відповідно до виразів

$$Tb_{1,\dots,b} = Tbn_{1,\dots,b} \cdot \max(Tb_{1,\dots,b}), \quad (19)$$

$$A_{1,\dots,l_A} = An_{1,\dots,l_A} \cdot \max(A_{1,\dots,l_A}), \quad (20)$$

де дана послідовність операцій відповідає блокам нормування та де-нормування (рис. 1).

Таким чином отримуємо оптимальну кількість блоків нормованої текстової інформації  $Tbn_{1,\dots,b}$ , які готові для інтегрування в нормований аудіосигнал  $An_{1,\dots,l_A}$ , відповідно до критерію максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів аудіосигналу [21].

### Результати дослідження

Комп'ютерна модель методу блочного перекодування текстової інформації псевдовипадковим чином для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів була змодельована та досліджена у програмно-математичному комплексі MATLAB R2022b.

У проведеному експериментальному дослідженні в якості вхідного аудіосигналу використовується монозапис диктора чоловічим голосом тривалістю 63 сек. вірша «Мені однаково – Тарас Шевченко» в аудіоформаті WAV із частотою дискретизації 44,1 кГц і розрядністю квантування 16 біт на відлік, з чого слідує, що потік бітової послідовності аудіоданих на вході комп'ютерної моделі розробленого методу складе – 705,6 Кбіт/с, тоді загальний об'єм аудіоданих становитиме – 5.5 Мбайт.

На рис. 3 зображено вхідний аудіосигнал, а на рис. 4 показано вейвлет-коефіцієнти 12-го рівня розкладання, що відповідає максимально можливій ентропії, тоді оптимальна кількість блоків текстової інформації відповідатиме 11-ти, де в якості породжувальної вейвлет-функції використовувалася функція Добеші 16-го порядку.

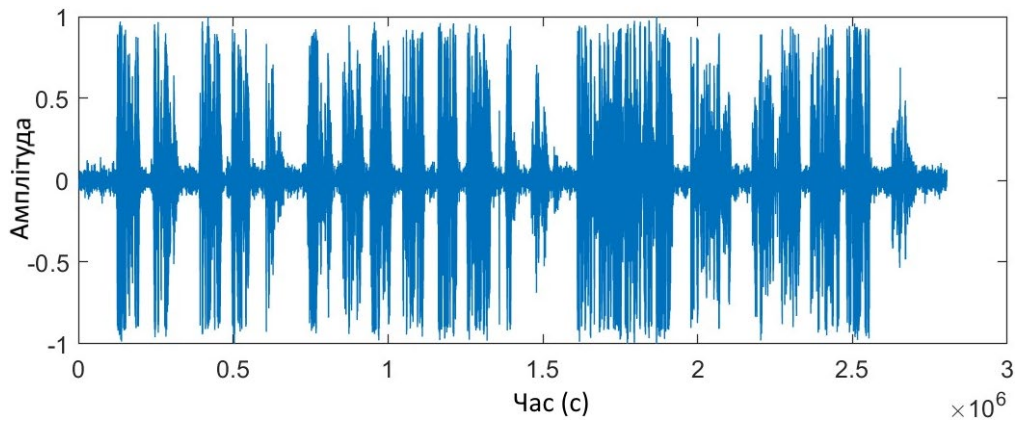


Рис. 3. Вхідний аудіосигнал

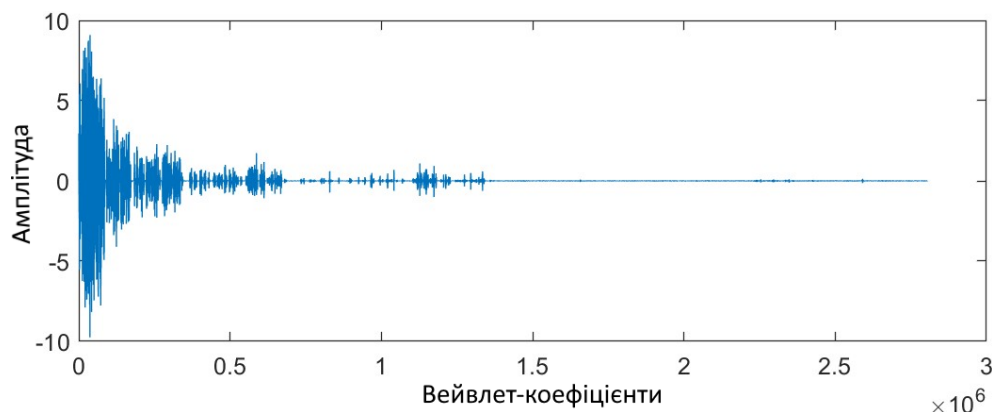


Рис. 4. Вейвлет-коефіцієнти вхідного аудіосигналу

В якості вхідного тексту (що підлягає приховуванню) використовується запис вірша «Мені однаково – Тарас Шевченко» у текстовому форматі TXT у кількості 541 символів за правилами ASCII кодування, де приділяється 8 біт на символ, з чого слідує, що загальний об’єм текстової інформації на вході комп’ютерної моделі розро-

бленого методу складе – 541 байт. На рис. 5 зображена вхідна та кодована текстова інформація у символічному вигляді, а на рис. 6 показана також вхідна і кодована текстова інформація розбита на оптимальну кількість блоків (11 блоків по 50 символів в блоці) згідно критерію максимальної ентропії, але вже у вигляді ASCII-кодів.

<pre> text_input = 'Мені однаково, чи буду Я жить в Україні, чи ні. Чи хто згадає, чи забуде Мене в снігу на чужині - Однаковісінько мені. В неволі виріс між чужими, І, не оплаканий своїми, В неволі, плачучи, умру, І все з собою заберу, Малого сліду не покину На нашій славній Україні, На нашій - не своїй землі, І не пом'яне батько з сином, Не скаже синові: «Молись. Молися, сину, за Україну Його замучили колись». Мені однаково, чи буде Той син молитися, чи ні... Та не однаково мені, Як Україну злії люде Присплять, лукаві, і в огні Її, окрадену, збудять... Ох, не однаково мені.'</pre>	<pre> text_output = 'бн во оиисей и е,,оумв е' оииел і»м нк яліяру То н.х. іухия ауялмтлкі уи.арюок іззаууве еі .навкий:она енМіднпнйдди чЯизвмвзлакиж Моммюавеаел ниаьнпної діклмуе іог Урааур.йчнсйгваіт лс уї еосвжн но ,їьі Ора дсаоньяіаду ке г кс ие еииівну,іуюкслооаоает оііе ,вжа,зреч нролу.вс пу є и оеож,н,,иї ва ем п лд бвМ ивМ н ,,к насс «сс,.П,уа існшр еосвн. н,гно к,лооб л,чзі нл..то,і-ніва ичкк іНгееойл с чвчк,еуНн ужобЧньан д- иїІон,ро Т , нтоедич ,іа,,ноУіоидмб імноїідьмоінзВНуздіауанні взйнкчз.М днаіиснлясчкМіо исш кбн тпаеаІйоо блмсуюіакб'</pre>
<i>a</i>	<i>б</i>

Рис. 5. Вхідна (а) та кодована (б) текстова інформація у символічному вигляді

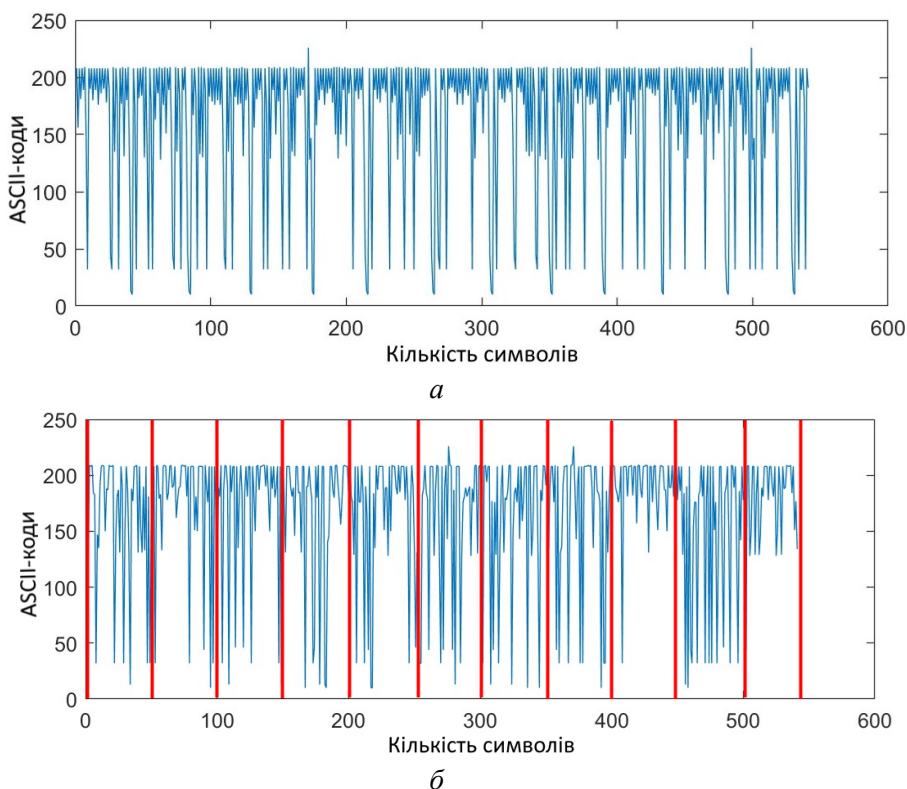


Рис. 6. Вхідна (а) та кодована (б) текстова інформація у вигляді ASCII-кодів

У табл. 1 викладено результати експериментального дослідження, а саме, отримано кількісні оцінки ефективності запропонованого методу. В якості критеріїв оцінки ефективності використовувалися об'єктивні метрики – коефіцієнт ко-

реляції (КК), середньоквадратична помилка (СКП), відношення сигнал/шум (ВСШ) та пікове відношення сигнал/шум (ПВСШ) між вхідною, кодовою та декодованою текстовою інформацією у вигляді ASCII-кодів.

Таблиця 1

Показники ефективності запропонованого методу

Вхідний текст $\Rightarrow$ Кодований текст				Вхідний текст $\Rightarrow$ Декодований текст			
КК	СКП	ВСШ	ПВСШ	КК	СКП	ВСШ	ПВСШ
0.0012	0.9565	1.3234	3.2931	1	0	$\infty$	$\infty$

Інтерпретувати отримані значення показників ефективності потрібно наступним чином – при порівнянні вхідної текстової інформації з кодовою текстовою інформацією запропонованим методом, ми отримуємо повну відсутність будь-яких взаємних зв'язків між двома послідовностями, що підтверджують показники: КК = 0.0012, СКП = 0.9565, ВСШ = 1.3234, ПВСШ = 3.2931. У випадку порівняння вхідної текстової інформації з декодованою текстовою інформацією запропонованим методом, ми маємо ідеальні показники: КК = 1, СКП = 0, ВСШ =  $\infty$ , ПВСШ =  $\infty$ , а це означає, що текстова інформація не зазнавала найменших спотворень і є повністю цілісною. Символ нескінченності  $\infty$  у цьому випадку означає нескінченно високе значення критерію. З табл. 1 можна зробити наступний висновок, що декодована текстова інформація відповідатиме повній копії вхідного тексту, тобто на виході декодера матимемо текст вигляду як на рис. 5а.

### Висновки

Розроблений метод блочного перемежування текстової інформації псевдовипадковим чином для інтегрування в стеганографічний аудіоконтейнер на основі максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів, дозволяє наблизитися до вирішення проблеми розбиття на блоки текстової інформації залежно від об'єму інформації самого тексту та стеганографічного аудіоконтейнера, а саме на скільки блоків і якого об'єму розбивати текстову інформацію, щоб рівномірно інтегрувати її в аудіоконтейнер на всій смузі частот аудіосигналу, тобто який критерій оцінки потрібно використовувати для знаходження оптимальної кількості інтегрованих блоків текстової інформації та якого об'єму вони мають бути.

Оскільки низькочастотні вейвлет-коефіцієнти з кожним наступним рівнем вейвлет-розкладання будуть збільшувати свою абсолютну потужність за рахунок математичної згортки з вейвлет-функцією, то і текстову інформацію потрібно розбити на таку кількість блоків, щоб інтегрування її в низькочастотні вейвлет-коефіцієнти відбувалося від мінімальних до максимальних

значень, від першого до передостаннього рівня вейвлет-розкладу, що дозволить підвищити середню потужність прихованої текстової інформації. Таким чином це дозволить нам підвищити ефективність аудіостеганосистеми з боку застосування різних алгоритмів стиснення аудіосигналу, які функціонують таким чином, що при стисненні аудіоконтейнера, в першу чергу обнуляються спектральні характеристики аудіосигналу, в які була інтегрована текстова інформація, згідно критерію мінімаксної щільності енергії спектра аудіосигналу.

Також слід відмітити що статистичні залежності між символами текстової інформації не дозволяють нам наблизитися до максимальної її ентропії, тому в текстовій інформації потрібно видалити статистичні залежності між символами. Ця операція реалізується за допомогою генератора псевдовипадкових чисел, який формує послідовність рівномірно розподілених чисел в заданому інтервалі. З цього формулюється головне завдання знаходження кількості блоків текстової інформації, та кількості символів в кожному блоці через розрахунок максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів аудіоконтейнера, тому що саме цей критерій враховує енергетичну спектральну потужність текстової інформації та аудіосигналу в абсолютному взаємозв'язку між собою.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] S. P. Rajput, K. P. Adhiya and G. K. Patnaik, "An Efficient Audio Steganography Technique to Hide Text in Audio," *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, 2017, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICCUBEA.2017.8463948.
- [2] P. N. Basu and T. Bhowmik, "On Embedding of Text in Audio A Case of Steganography," *2010 International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing*, 2010, pp. 203–206, doi: 10.1109/ITC.2010.16.
- [3] S. B. Sadkhan, A. A. Mahdi and R. S. Mohammed, "Recent Audio Steganography Trails and its Quality Measures," *2019 First International Conference of Computer and*

- Applied Sciences (CAS)*, 2019, pp. 238–243, doi: 10.1109/CAS47993.2019.9075778.
- [4] S. Ahani, S. Ghaemmaghami and Z. J. Wang, “A Sparse Representation-Based Wavelet Domain Speech Steganography Method,” in *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 23, no. 1, pp. 80–91, Jan. 2015, doi: 10.1109/TASLP.2014.2372313.
- [5] Q. Liu, A. H. Sung and M. Qiao, “Temporal Derivative-Based Spectrum and Mel-Cepstrum Audio Steganalysis,” in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 4, no. 3, pp. 359–368, Sept. 2009, doi: 10.1109/TIFS.2009.2024718.
- [6] M. Anwar, M. Sarosa and E. Rohadi, “Audio Steganography Using Lifting Wavelet Transform and Dynamic Key,” *2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT)*, 2019, pp. 133–137, doi: 10.1109/ICAIIIT.2019.8834579.
- [7] T. Narasimmalou and J. R. Allen, “Optimized discrete wavelet transform based steganography,” *2012 IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, 2012, pp. 88–91, doi: 10.1109/ICACCCT.2012.6320747.
- [8] P. M. Kumar and K. Srinivas, “Real Time Implementation of Speech Steganography,” *2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2019, pp. 365–369, doi: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987785.
- [9] V. Varuikhin and A. Levina, “Steganographic Information Hiding Method Based on Double Wavelet Transform,” *2022 11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 2022, pp. 1–5, doi: 10.1109/MECO55406.2022.9797168.
- [10] Y. Kakde, P. Gonnade and P. Dahiwal, “Audio-video steganography,” *2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICIIECS.2015.7192885.
- [11] E. Emad, A. Safey, A. Refaat, Z. Osama, E. Sayed and E. Mohamed, “A secure image steganography algorithm based on least significant bit and integer wavelet transform,” in *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 29, no. 3, pp. 639–649, June 2018, doi: 10.21629/JSEE.2018.03.21.
- [12] W. Jang and W. Lee, “Detecting Wireless Steganography With Wavelet Analysis,” in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 2, pp. 383–386, Feb. 2021, doi: 10.1109/LWC.2020.3032032.
- [13] K. Zhiweil, L. Jing and H. Yigang, “Steganography based on wavelet transform and modulus function,” in *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 18, no. 3, pp. 628–632, Sept. 2007, doi: 10.1016/S1004-4132(07)60139-X.
- [14] R. J. Mstafa, K. M. Elleithy and E. Abdelfattah, “A Robust and Secure Video Steganography Method in DWT-DCT Domains Based on Multiple Object Tracking and ECC,” in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 5354–5365, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2691581.
- [15] O. Lavrynenko, G. Konakhovych and D. Bakhtiarov, “Method of voice control functions of the UAV,” *2016 4th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, 2016, pp. 47–50, doi: 10.1109/MSNMC.2016.7783103.
- [16] D. Bakhtiarov, G. Konakhovych and O. Lavrynenko, “Protected system of radio control of unmanned aerial vehicle,” *2016 4th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, 2016, pp. 196–199, doi: 10.1109/MSNMC.2016.7783141.
- [17] D. I. Bakhtiarov, G. F. Konakhovych and O. Y. Lavrynenko, “An Approach to Modernization of the Hat and COST 231 Model for Improvement of Electromagnetic Compatibility in Premises for Navigation and Motion Control Equipment,” *2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, 2018, pp. 271–274, doi: 10.1109/MSNMC.2018.8576260.
- [18] O. Lavrynenko, A. Taranenko, I. Machalin, Y. Gabrousenko, I. Terentyeva and D. Bakhtiarov, “Protected Voice Control System of UAV,” *2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, 2019, pp. 295–298, doi: 10.1109/APUAVD47061.2019.8943926.
- [19] R. Odarchenko, O. Lavrynenko, D. Bakhtiarov, S. Dorozhynskyi and V. A. O. Zharova, “Empirical Wavelet Transform in Speech Signal Compression Problems,” *2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, 2021, pp. 599–602, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772156.
- [20] O. Lavrynenko, R. Odarchenko, G. Konakhovych, A. Taranenko, D. Bakhtiarov and T. Dyka, “Method of Semantic Coding of Speech Signals based on Empirical Wavelet Transform,” *2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, 2021, pp. 18–22, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628985.
- [21] V. Kuzmin, M. Zaliskyi, O. Holubnychyi and O. Lavrynenko, “Empirical Data Approximation Using Three-Dimensional Two-Segmented Regression,” *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916335.



Лавриненко О. Ю., Бахтіяров Д. І., Голубничий О. Г., Жарова О. В.  
**МЕТОД БЛОЧНОГО ПЕРЕМЕЖУВАННЯ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ  
ДЛЯ ІНТЕГРУВАННЯ В СТЕГANOГРАФІЧНИЙ АУДІОКОНТЕЙНЕР  
НА ОСНОВІ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕНТРОПІЇ ВЕЙВЛЕТ-КОЕФІЦІЄНТІВ**

*У статті розглядається проблематика первинної обробки та розбиття на оптимальну кількість блоків текстової інформації в залежності від об'єму тексту та стеганографічного аудіоконтейнера, щоб рівномірно інтегрувати її в вейвлет-коефіцієнти по всій смузі частот на кожному рівні вейвлет-перетворення. Зважаючи на це, головне завдання дослідження полягає в знаходженні кількості блоків текстової інформації, та кількості символів в кожному блоці через розрахунок максимальної ентропії вейвлет-коефіцієнтів аудіоконтейнера, що дозволяє врахувати енергетичну спектральну потужність текстової інформації та аудіосигналу в абсолютному взаємозв'язку між собою. Це дозволить підвищити ефективність аудіостеганосистеми при застосуванні алгоритмів стиснення до аудіоконтейнера з інтегрованою в нього текстовою інформацією для її навмисного спотворення чи знищення. Оскільки низькочастотні вейвлет-коефіцієнти з кожним наступним рівнем вейвлет-розкладання будуть збільшувати свою абсолютну потужність за рахунок скалярного добутку з вейвлет-фільтрами, то і текстову інформацію потрібно розбити на таку кількість блоків, щоб інтегрування її в низькочастотні вейвлет-коефіцієнти відбувалося від мінімальних до максимальних значень на кожному рівні вейвлет-перетворення, що дозволить підвищити середню потужність прихованої текстової інформації. Також слід зауважити, що статистичні залежності між символами текстової інформації не дозволяють нам наблизитися до максимальної її ентропії, тому в текстовій інформації потрібно видалити статистичні залежності між символами, що реалізується за допомогою генератора псевдовипадкових чисел, який формує послідовність рівномірно розподілених чисел в заданому інтервалі.*

**Ключові слова:** стеганографія; текстова інформація; вейвлет-перетворення; аудіосигнал; вейвлет-коефіцієнти.

Lavrynenko O., Bakhtiarov D., Holubnychyi O., Zharova O.  
**A METHOD OF BLOCK INTERLEAVING OF TEXT INFORMATION FOR INTEGRATION IN-  
TO A STEGANOGRAPHIC AUDIO CONTAINER BASED ON THE MAXIMUM ENTROPY  
OF WAVELET COEFFICIENTS**

*The article examines the problems of primary processing and division into the optimal number of blocks of text information depending on the volume of text and steganographic audio container, to uniformly integrate it into wavelet coefficients over the entire frequency band at each level of the wavelet transform. Considering this, the main task of the research is to find the number of blocks of text information and the number of symbols in each block by calculating the maximum entropy of the wavelet coefficients of the audio container, which allows taking into account the energy spectral power of the text information and the audio signal in an absolute relationship between themselves. This will increase the efficiency of the audio steganosystem when compression algorithms are applied to an audio container with integrated text information for its intentional distortion. Since low-frequency wavelet coefficients with each subsequent level of wavelet decomposition will increase their absolute power due to the scalar product with wavelet filters, then the text information must be divided into such a number of blocks that its integration into low-frequency wavelet coefficients takes place from the minimum to the maximum values at each level of the wavelet transform, which will increase the average power of hidden text information. It should also be noted that statistical dependencies between symbols of text information do not allow us to approach its maximum entropy, therefore, it is necessary to remove statistical dependencies between symbols in text information, which is implemented using a pseudorandom number generator, which forms a sequence of evenly distributed numbers in a given interval.*

**Keywords:** steganography; text information; wavelet-transform; audiosignal; wavelet coefficients.

Стаття надійшла до редакції 26.11.2022 р.  
Прийнято до друку 26.12.2022 р.