

DOI: 10.18372/2310-5461.65.19929  
УДК 004.622: 517.927

*Є. С. Єлісєєв*

Харківський національний університет радіоелектроніки  
<https://orcid.org/0000-0002-0953-4397>  
e-mail: paradox0670@gmail.com

## МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОДУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ В СПЕКТРАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРІ

### Вступ

Функціонування сучасних інформаційно-керуючих систем нерозривно пов'язано з необхідністю організації надійного інформаційного та технологічного забезпечення [1]. Висувається загальна вимога щодо розширення типів та кількості джерел надання інформації [2]. Сюди долучається джерела надання: параметричних даних; видової інформації та аудіо-даних [3]. Звісно, що важливим є забезпечення потрібної якості типової інформації: своєчасність передачі інформації, достовірність інформації, повнота контенту, безперервне надання інформації за потребою користувачів, за потребою забезпечення вимог до кіберзахисту інформаційного обміну [4].

Для цього використовуються комплексні дії, в тому числі з технологічного, математичного та апаратно-програмного забезпечення [5]. Розробляються відповідні протоколи обміну та технології представлення інформації [6]. Різноманітність технологічних рішень зумовлено наявністю множини різних підходів до організації інформаційно-технічного забезпечення та умов їх застосування [7; 8].

Водночас розвиток існуючих та поява нових інформаційних сервісів приводить до формування нових вимог до математичної та технологічної бази їх реалізації [9; 10]. Сюди також відноситься потреба у подальшому розвитку технологій та методів представлення інформації [11; 12]. Не в останню чергу це зумовлено збільшенням вимог щодо повноти та якості інформаційних ресурсів [13; 14].

Отже *актуальною науково-прикладною задачею* є подальше вдосконалення існуючої математичної та технологічної бази щодо реалізації методів представлення даних.

### Аналіз сучасних досліджень та публікацій

На даний час одна з найбільш потужних стандартизованих реалізацій є формат JPEG [15; 16]. В основі лежить сукупність рекомендацій щодо

наповнення послідовності етапів [17; 18]. Це такі етапи:

– перетворення кольорової моделі. Використовуються моделі з окресленням яскравісної компоненти [19; 20];

– форматування топології сегментів окремих компонент кольорової моделі. В залежності від вимог в системі «рівень втрат – рівень стиснення» використовуються такі співвідношення: «4; 4; 4»; «4; 2; 2» [21; 22];

– перетворення згідно формату виділення енергетичних складових. Базовими тут є: перетворення в спектральний простір за допомогою дискретного косинусного перетворення (ДКП); перетворення в спектрально-часовий простір за основою використання wavelet-систем [23; 24];

– виконання дій стосовно передискретизації трансформованих просторів. Найчастіше використовується по-елементне квантування з відповідним фактором за вимогами системи «рівень втрат – рівень стиснення» [25; 26];

– пост-квантова обробка. Тут, як правило, застосовуються методи ентропійного кодування для скорочення ймовірнісної надмірності [27; 28].

Сучасні методи використовують більш потужні вдосконалення перелічених механізмів. Це дозволяє досягти більш якісних результатів за системою «рівень втрат – рівень стиснення» [29]. Однак більшість рішень направлено на поліпшення якості візуальної оцінки з використанням шумових фільтрів та відповідних методів машинного навчання. Саме такі дії виконуються на приймальній стороні [30]. Отже постає потреба щодо удосконалення методів скорочення надмірності для збільшення рівня стиснення відеоданих.

### Постановка проблеми

Одним з напрямків, який має потенціал щодо додаткового скорочення надмірності без додаткових спотворень є технологія представлення відеоданих в спектрально-параметричному просторі [28; 29]. Для даної технології існують можливості щодо додаткового врахування: рівня інформативності послідовності трансформант; наявності залежностей в дата-сетах для скорочення

статистичної та структурної середтрансформантної надмірності [29; 30].

В роботах [28–31] викладаються основні етапи створення таких підходів. В той же час відсутня модель оцінювання їх ефективності з врахуванням різних факторів та параметрів методу стиснення. В зворотному випадку це дозволяє підвищити рівень обґрунтованості оцінок, які отримуються теоретично та експериментально. Тому *метою досліджень статті* є розробка моделі оцінювання ефективності кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі.

### Розробка моделі для оцінки рівня стиснення для створеного методу кодування кластеризованої послідовності трансформант

Для розрахунку рівня  $r_{cmp}$  стиснення потрібно з початку визначити величину бітового об'єму послідовності відео-фрагментів після застосування створеного методу. Тут потрібно врахувати сумарну кількість  $V(\delta)_{T,cmp}$  біт, що витрачається на службову  $V_{sec}(\delta)_T$  та інформаційну  $V_{inf}(\delta)_T$  частини:

$$V(\delta)_{T,cmp} = V_{sec}(\delta)_T + V_{inf}(\delta)_T. \quad (1)$$

Витрати кількості біт на кожну складову службової частини кодової конструкції послідовності трансформант формуються такими величинами:

1) кількість  $V(\lambda)$  біт на представлення маркеру  $\lambda$  кластеру трансформант. Потрібно брати до уваги, що маркування проводиться для всіх трансформант загальної послідовності. В свою чергу загальна кількість трансформант визначається, як:

$$\sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\delta; \lambda)_{tr},$$

де  $n(\delta; \lambda)_{tr}$  - кількість трансформант в  $\lambda$ -му кластері;  $\Lambda$  - кількість кластерів для поточної послідовності трансформант.

Тоді об'єм  $V_{mc}$  в бітах на загальне представлення маркерів всіх трансформант послідовності обчислюється виразом:

$$V_{mc} = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\delta; \lambda)_{tr} \cdot V(\lambda).$$

Для збереження інформації щодо кількості  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  ЛКМ в спектрально-параметричному описі застосовуються кодограми, бітовий об'єм яких обчислюється величиною  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})$ . Тоді кількість біт на уявлення всіх параметрів  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  за  $\Lambda$  кластерами формується, як:

$$V\left(n(\xi; \delta; \lambda; \Lambda)_{sb}\right) = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb});$$

2) бітовий об'єм  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L$ ,  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S$  кодів відповідних маркерів  $M(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $M(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$ . Такі маркери несуть інформацію щодо кількості біт на уявлення блочних кодів  $C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$  та  $C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  кожного кластеру. Кількість  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L$  та  $V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S$  біт на кодограми маркерів  $M(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $M(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  обчислюється за адаптивним принципом. Це проводиться окремо для кожної структурної складової  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$ ,  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  СПОТ в залежності від кількості  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  ЛКМ для поточного  $\lambda$ -го кластеру. Слідують такі формули:

$$\begin{aligned} V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L &= \\ &= n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2(n^2 - n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}); \\ V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S &= n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot b_y. \end{aligned}$$

Для випадку наявності розподілу послідовності трансформант у СПОТ на  $\Lambda$  кластерів будемо мати такі узагальнення для обчислення сумарної кількості  $V(n(\xi; \delta; \Lambda)_{sb})_L$  та  $V(n(\xi; \delta; \Lambda)_{sb})_S$  біт на коди маркерів  $M(\bar{L}(\xi; \delta; \Lambda))$ ,  $M(\bar{S}(\xi; \delta; \Lambda))$  для  $\lambda = \bar{1}, \bar{\Lambda}$ :

$$\begin{aligned} V(n(\xi; \delta; \Lambda)_{sb})_L &= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_L = \\ &= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2(n^2 - n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}); \\ V(n(\xi; \delta; \Lambda)_{sb})_S &= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb})_S = \\ &= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot b_y; \end{aligned}$$

3) кількість біт  $V(diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}))$  та  $V(diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}))$  для кодограм, які несуть інформацію щодо довжини  $diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$  та  $diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})$  інтервалів визначеності значень компонент в структурних складових  $\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  та  $\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}$  кожної СПОТ  $P(\xi; \delta; \lambda)$  для  $\lambda$ -го кластеру в диференційно-нормованому просторі. Тоді сумарна кількість біт на таку службову інформацію для окремої СПОТ  $P(\xi; \delta; \lambda)$  для  $\lambda$ -го кластеру формується, як:

$$\begin{aligned} V(diapP(\xi; \delta; \lambda)) &= V(diap(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})) + \\ &+ V(diap(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})). \end{aligned}$$

Звідси враховуючи наявність в  $\lambda$ -му кластері сукупності СПОТ  $P(\xi; \delta; \lambda)$ , де  $\xi = \overline{1, n(\delta; \lambda)_{tr}}$  маємо загальний бітовий об'єм за розглянутою службовою складовою:

$$\begin{aligned} V(diapP(\delta; \lambda)) &= \sum_{\xi=1}^{n(\delta; \lambda)_{tr}} V(diapP(\xi; \delta; \lambda)) = \\ &= \sum_{\xi=1}^{n(\delta; \lambda)_{tr}} (V(diap(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})) + \\ &+ (V(diap(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}))), \end{aligned}$$

де  $n(\delta; \lambda)_{tr}$  - кількість трансформант у  $\lambda$ -му кластері;

4) кількість біт  $V(\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}))$ ,  $V(\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}))$  на двійкове уявлення нижніх меж  $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ ,  $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$  інтервалів визначеності компонент  $\overline{l}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  та  $\overline{sign}(\xi; \delta; \lambda)_\alpha$  за напрямками відповідних СПС слайсів  $L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$  та  $S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}$  кластерів. Для кожного кластеру формується сукупність величин  $\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ ,  $\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})$ . Потужність такої сукупності залежить від кількості  $n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}$  ЛКМ СПОТ в трансформантах кожного кластеру. Звідси сумарний об'єм  $V((\delta; \lambda)_{min})$  в бітах такої складової в межах сукупності трансформант окремого  $\lambda$ -го кластеру визначається формулою:

$$\begin{aligned} V((\delta; \lambda)_{min}) &= \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} V(\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})) + \\ &+ \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} V(\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})). \end{aligned}$$

Загальний бітовий об'єм  $V((\delta))_{min}$  за величинами  $V((\delta; \lambda)_{min})$  по всім кластерам трансформант оцінюється формулою:

$$\begin{aligned} V((\delta))_{min} &= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} (V(\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})) + \\ &+ V(\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}))); \end{aligned}$$

5) кількість біт  $V(\delta)$  на двійкове уявлення параметру  $\delta$  стратегії квантування масиву спектральних компонент. Якщо враховувати, що стратегія квантування для трансформант кожного кластеру буде змінюватись, то сумарний бітовий об'єм  $V(\Lambda; \delta)$  такої службової складової формується, як:

$$V(\Lambda; \delta) = \Lambda \cdot V(\delta).$$

Тоді загальний об'єм  $V_{sec}(\delta)_T$  в бітах на представлення службової частини кодового уяв-

лення послідовності трансформант для створеного методу описується, як:

$$\begin{aligned} V_{sec}(\delta)_T &= V_{mc} + V(n(\xi; \delta; \lambda; \Lambda)_{sb}) + \\ &+ V(n(\xi; \delta; \Lambda)_{sb})_L + V(n(\xi; \delta; \Lambda)_{sb})_S + \\ &+ V(diapP(\delta; \lambda)) + V((\delta))_{min} + V(\Lambda; \delta). \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} V_{sec}(\delta)_T &= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\delta; \lambda)_{tr} \cdot V(\lambda) + \\ &+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}) + \\ &+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2(n^2 - n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}) + \\ &+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot b_y + \\ &+ \sum_{\xi=1}^{n(\delta; \lambda)_{tr}} (V(diap(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)})) + \\ &+ V(diap(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)^{(1)}))) + \\ &+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} (V(\min(L(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)})) + \\ &+ V(\min(S(\delta; \lambda)_\alpha^{(1)}))) + \Lambda \cdot V(\delta). \end{aligned} \quad (2)$$

Розглянемо формування оцінки кількості  $V_{inf}(\delta)_T$  біт на представлення інформаційної частини  $C_{inf}(\delta)_T$  загальної кодограми послідовності трансформант, які стиснуто на основі побудованого методу. Витрати кількості біт на кожен складову інформаційної частини кодової конструкції послідовності трансформант формуються такими величинами. Для кожної трансформанти  $\lambda$ -го кластеру відповідно їх структурних складових будується два блочних кодів:  $C(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}$  та  $C(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}$ . Об'єм в бітах таких кодів встановлюється величинами  $V(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))$ . Їх значення на основі технології локально-монотонного кодо-утворення обчислюється за таким принципом:

$$\begin{aligned} V(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)) &= V_3(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda)) = \\ &= \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{V_1(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))\}; \\ V(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)) &= V_3(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda)) = \\ &= \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_{tr}} \{V_1(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))\}, \end{aligned}$$

де  $n(\delta; \lambda)_{tr}$  - кількість трансформант у  $\lambda$ -му кластері.

Величини  $V_1(\overline{L}(\xi; \delta; \lambda))$  та  $V_1(\overline{S}(\xi; \delta; \lambda))$  розраховуються, як:

$$V_1(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2 [C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}] + 1;$$

$$V_1(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2 [C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}] + 1.$$

Звідси можна сказати, що в основі формування величин  $V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))$ ,  $V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))$  лежить принцип обчислення кількості біт на представлення максимальних значень  $[C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$  та  $[C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10}$  серед кодових еквівалентів  $\lambda$ -го кластеру. Тоді:

$$V(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = V_3(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1;$$

$$V(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = V_3(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) = [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1.$$

Тоді для всієї послідовності  $P(\delta; \lambda)$  трансформант  $P(\xi; \delta; \lambda)$  в спектрально-параметричному описі за всіма кластерами будується дві послідовності  $C(\bar{L}(\delta; \Lambda))$ ,  $C(\bar{S}(\delta; \Lambda))$  двійкових блочних кодів відповідно до структурних складових:

$$C(\bar{L}(\delta; \Lambda)) = \{ C(\bar{L}(1; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots;$$

$$C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots; \};$$

$$C(\bar{L}(n(\delta; \lambda)_r; \delta; \lambda))^{(1)} \};$$

$$C(\bar{S}(\delta; \Lambda)) = \{ C(\bar{S}(1; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots;$$

$$C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}; \dots; \};$$

$$C(\bar{S}(n(\delta; \lambda)_r; \delta; \lambda))^{(1)} \}.$$

Тому сумарна кількість  $V(\bar{L}(\delta; \Lambda))$ ,  $V(\bar{S}(\delta; \Lambda))$  біт на коди послідовностей  $C(\bar{L}(\delta; \Lambda))$ ,  $C(\bar{S}(\delta; \Lambda))$  обчислюються, як:

$$V(\bar{L}(\delta; \Lambda)) = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) =$$

$$= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1;$$

$$V(\bar{S}(\delta; \Lambda)) = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)) =$$

$$= \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1.$$

Після чого величина  $V_{\text{inf}}(\delta)_T$  кількості біт на код інформаційної частини загального коду послідовності трансформант розробленим методом обчислюється таким чином:

$$V_{\text{inf}}(\delta)_T = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} (V(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda)) + V(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda)))$$

або

$$V_{\text{inf}}(\delta)_T = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1 +$$

$$+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1. \quad (3)$$

По виразах (2) та (3) можна побудувати загальну формулу для оцінки кількості  $V(\delta)_T$  біт на загальну кодограму  $C(\delta)_T$  стиснутої сукупності  $P(\delta)_T$  трансформант у СПОТ:

$$V(\delta)_T = \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\delta; \lambda)_r \cdot V(\lambda) + \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} V(n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}) +$$

$$+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot \log_2 (n^2 - n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}) +$$

$$+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} n(\xi; \delta; \lambda)_{sb} \cdot b_y + \sum_{\xi=1}^{n(\delta; \lambda)_r} (V(\text{diap}(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)})) +$$

$$+ V(\text{diap}(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))^{(1)}) + \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} \sum_{\alpha=1}^{n(\xi; \delta; \lambda)_{sb}} (V(\min(L(\delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)})) +$$

$$+ V(\min(S(\delta; \lambda)_{\alpha}^{(1)}))) + \Lambda \cdot V(\delta) +$$

$$+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{L}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1 +$$

$$+ \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} [\log_2 \max_{1 \leq \xi \leq n(\delta; \lambda)_r} \{ [C(\bar{S}(\xi; \delta; \lambda))]_{10} \}] + 1. \quad (4)$$

Наявність формули (4) дозволяє провести оцінку рівня  $r_{\text{cmp}}$  стиснення послідовності трансформант  $P(\delta)_T$  шляхом реалізації розробленого методу. Величина  $r_{\text{cmp}}$  має таку формулу для своєї оцінки:

$$r_{\text{cmp}} = \frac{V_{T, bg}}{V(\delta)_T},$$

де  $V_{T, bg}$  - кількість біт на коди послідовності трансформант у початковому описі (до стиснення).

В загальному випадку величина  $V_{T, bg}$  обчислюється, як:

$$V_{T, bg} = T \cdot n^2 \cdot \text{bit},$$

де  $\text{bit}$  - кількість біт на рівномірний код компоненти трансформанти до початку стиснення.

### Порівняльна характеристика методів стиснення

Рівень  $r_{\text{cmp}}$  стиснення визначає динаміку зменшення бітового об'єму на стисле представлення послідовності СПОТ-трансформант. Відповідна характеристика описується динамічною залежністю величини  $V(\delta)_{vk}$  для стислого потоку відеокадрів від рівня ПВСШ  $\delta$ . На рис. 1 наведена порівняльна оцінка такої характеристики для розробленого методу (ССПО) та конвеєру JPEG.

При цьому рівень  $\delta$  ПВСШ обирається на інтервалі  $27 \leq \delta \leq 37$  дБ.

Оцінка динамічної характеристики зміни бітового об'єму проводиться для розробленого методу стиснення СПОТ (ССПО) та методу стиснення на основі конвеєру JPEG. Використовуються усереднені оцінки на одне зображення з їх динамічної послідовності. Зображення розглядається з середнім змістом фрагментів, для яких трансформанти у спектрально-параметричному описі мають складну структуру за кількістю спектральних суб-полос (ССП). Середній зміст означає, що кількість фрагментів з наведеними властивостями в області частотного спектру, стано-

вить в середньому від 30 до 55 %. Розглядаються такі формати зображень: Full HD - 2 Мпкс (1920x1080); 4К - 4,1 Мпкс (2720 x 1530).

По аналізу графіків на рис. 1 можна заключити:

1) для розробленого методу стиснення класифікованої послідовності СПОТ-трансформант забезпечується вигравш для рівня ПВСШ від 25 до 37 дБ в середньому від 11 % – для високих значень ПВСШ (37 дБ), і 17 % для достатнього рівня ПВСШ (27 дБ). Для задовільних рівнів ПВСШ (менш ніж 25 дБ) спостерігається вирівнювання бітових швидкостей стислих потоків для порівнюваних методів;

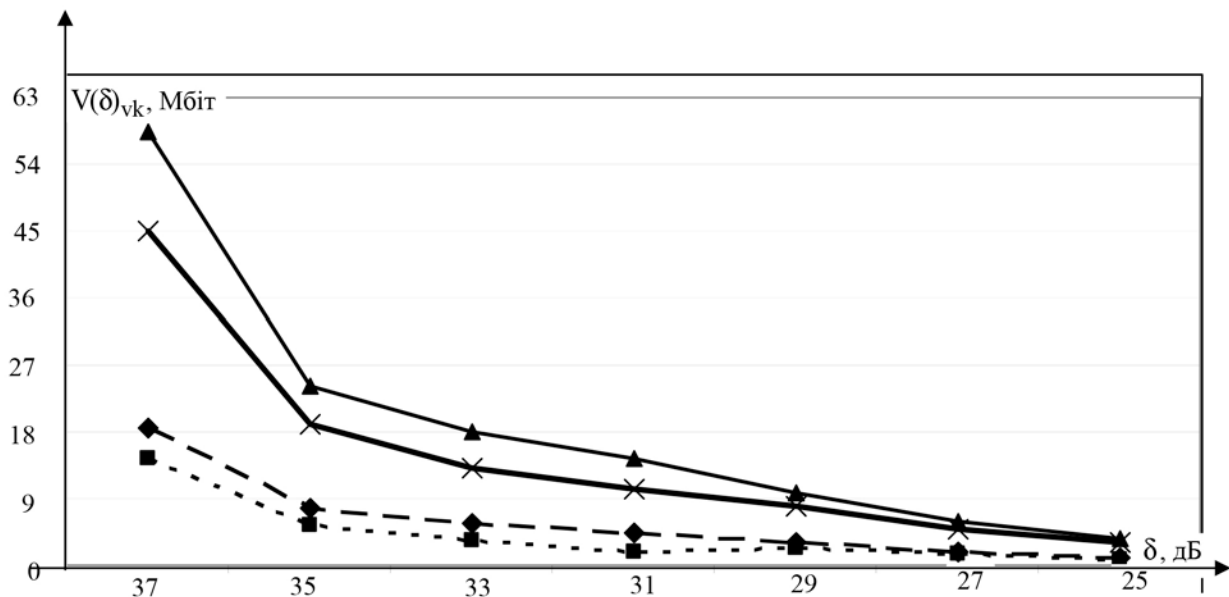


Рис. 1. Графіки залежності характеристики  $V(\delta)_{vk}$  порівняльних методів від ПВСШ для відеокадрів різного формату

2) у разі передачі стислих даних за допомогою бездротових телекомунікаційних систем з характеристикою швидкості:

- 40–50 Мбіт/с допускається на основі реалізації розробленого методу ССПО доведення в реальному часі послідовності зображень форматом 4К з прийнятною якістю, що відповідає рівню ПВСШ не менш ніж 37 дБ;

- 10–20 Мбіт/с допускається на основі реалізації розробленого методу доведення в реальному часі послідовності зображень форматом 4К з допустимою якістю, що відповідає рівню ПВСШ 31 дБ;

3) у разі наявності телекомунікаційних комплексів з характеристикою швидкості передачі на рівні 10–20 М біт/с допускається передача за допомогою створеного методу стиснення в режимі реального часу послідовності зображень форматом: Full HD з прийнятною якістю візуального оцінювання (рівень ПВСШ від 33 до 37 дБ).

## Висновки

1. Розроблено модель для оцінки кількості біт на загальний код класифікованої послідовності трансформант у СПОТ на основі їх стиснення розробленим методом. Тут враховуються об'єм біт на службову та інформаційну частини загальної кодограми. В процесі розрахунку обліковуються особливості будовання окремих складових службової та інформаційної частин загальної кодограми.

2. Формування значення рівня стиснення послідовності трансформант розробленим методом досягається одночасним скороченням кількості надмірності з врахуванням:

- спектрально-параметричних залежностей в трансформантах кластеру (кількість просторової спектрально-параметричної надмірності);

- між-трансформантних залежностей в структурно-параметричних слайсах для послідовності

трансформант кластеру (кількість між-трансформантної структурно-параметричної надмірності).

### Наукова новизна

Удосконалено модель для оцінки рівня стиснення послідовності зображень на основі їх трансформування. Відмінності стосуються побудови довжини загальної кодограми в бітах на основі обліку двох типів залежностей: спектрально-параметричних залежностей в трансформантах кластеру; між-трансформантних залежностей в структурно-параметричних слайсах для послідовності трансформант кластеру. Це дозволяє оцінити ефективність розробленого методу за рівнем стиснення та створює методологічну базу для рекогносування кодів окремих складових службової та інформативної частин кодограми на прийнятній стороні.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Бараннік В. В., Шульгін С. С., Бабенко Ю. М., Онищенко Р. С., Ревва К. В., Белікова Т. В. and Ігнат'єв О. О. (2023) "Technology of Sliding Coding of Uneven Diagonal Sequences in Two-Dimensional Spectral Space of Transformants", *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (94), pp. 13–23. Doi: 10.20535/RADAP.2023.94.13-23.
- [2] Xiaolong Duan, Bin Li, Zhaoxia Yin, Xinpeng Zhang, Bin Luo. Robust image steganography against lossy JPEG compression based on embedding domain selection and adaptive error correction. *Expert Systems with Applications* vol. 229, Part A., 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120416>.
- [3] Thomas Abbott, Bevan Baas. A Scalable JPEG Encoder on a Many-Core Array. 2023 IEEE 16th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc). 2023. PP. 411–418. doi bookmark: 10.1109/MCSoc60832.2023.00068.
- [4] João Ascenso, Elena Alshina, Touradj Ebrahimi. The JPEG AI Standard: Providing Efficient Human and Machine Visual Data Consumption. *IEEE MultiMedia*. – vol 30 (Issue 1). 2023 doi: 10.1109/MMUL.2023.3245919.
- [5] Бараннік В. В., Сідченко С. О., Бараннік Д. В., Чорномаз І. К., Гуржій П. М. and Григор'ян М. Б. (2023) "Saving Elements Methods for Service Components of Images Cryptocompression Codograms", *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (92), pp. 28–40. doi: 10.20535/RADAP.2023.92.28-40.
- [6] Odarchenko R., Gnatyuk S., Gnatyuk V., Abakumova A. Security key indicators assessment for modern cellular networks. *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC): proceedings of the IEEE First International Conference*, 2018. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516889>.
- [7] Survey on image encryption techniques using chaotic maps in spatial, transform and spatio-temporal domains [Text] / U. Zia, M. McCartney, B. Scotney et al. // *International Journal of Information Security*. – 2022. Vol. 21. P. 917–935. DOI: 10.1007/s10207-022-00588-5.
- [8] Козловський В., Толстікова О., Савченко А., Клобукова Л. Критерії вибору спектрально-ефективних сигналів у бездротових інформаційних мережах. *Наукоємні технології*. 2022. № 4(56). С. 286–273. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17125>.
- [9] Krasnorutsky A., Barannik V., Shulgin S., Kolesnyk V., Kharchenko N. and Revva K., "Integration of Video Image Decryption Coding into a Remote Video Information Service," *2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452679.
- [10] Benjamin Bross, Ye-Kui Wang, Yan Ye, Shan Liu, Jianle Chen, Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm. Overview of the versatile video coding (VVC) standard and its applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. Vol. 31 (Issue 10). PP. 3736–3764, Oct. 2021. doi: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.
- [11] Barannik V. et al.: Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25–27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 52–56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [12] P. Bas, T. Filler, and T. Pevný. Break our steganographic system – the ins and outs of organizing BOSS. In T. Filler, T. Pevný, A. Ker, and S. Craver, editors, *Information Hiding, 13th International Conference*. Vol. 6958 of Lecture Notes in Computer Science. PP. 59–70. Prague, Czech Republic. 2011. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24178-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24178-9_5).
- [13] Barannik V. et al.: "The Methods of Intellectual Processing of Video Frames in Coding Systems in Progress Aeromonitor to Increase Efficiency and Semantic Integrity," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 53–56, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [14] Dahyun Kang, Piotr Koniusz, Minsu Cho, Naila Murray. Distilling Self-Supervised Vision Transformers for Weakly-Supervised Few-Shot Classification & Segmentation. 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2023. PP. 19627–19638. DOI Bookmark: 10.1109/CVPR52729.2023.01880.
- [15] Бараннік В. В., Цімура Ю. В., Гаврилов Д. С., Гуржій П. М., Колесник В. О. Метод адаптивного цілісного арифметичного кодування з

- врахуванням RLE-перетворення // Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки. 2023. - № 3. С. 5–13. doi: 10.58254/viti.3.2023.01.05
- [16] Одарченко Р., Рябенко М., Іванова М., Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн М. Метод аналізу взаємодії параметрів QOE та QOS на основі алгоритмів керування машинами. *Наукоємні технології*. 2022. № 4 (56). С. 305–316. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17130>.
- [17] V. Barannik and A. Shiryayev, "Quadrature compression of images in polyadic space," Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2012, pp. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484.
- [18] Eli Dworetzky, PictureEdgar Kaziakhmedov, PictureJessica Fridrich. Advancing the JPEG Compatibility Attack: Theory, Performance, Robustness, and Practice. Proceedings of the 2023 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security. 2023. PP. 67–79. <https://doi.org/10.1145/3577163.3595090>.
- [19] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard". IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. Vol. 22 (Issue. 12). PP. 1649–1668. 2012. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191
- [20] Barannik, V. et al. (2020). Development of Adaptive Arithmetic Coding Method to the Sequence of Bits. In: Zawislak, S., Rysiński, J. (eds) Engineer of the XXI Century. EngineerXXI 2018. Mechanisms and Machine Science, vol 70. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_18) ISSN 2211-0984.
- [21] Цімура Ю., Костромицький А., Суханов О., Думич С. Метод кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2024. – Вип. 4 (1). С 61–69. doi: 10.23939/ict2024.01.061.
- [22] Barannik V., Khimenko V., Barannik N., Method of indirect information hiding in the process of video compression. Radioelectronic and Computer Systems. 2021. №. 4. PP. 119–131. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
- [23] Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnik V., Barannik V., Pchel'nikov S., Zeleny P. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks // Radioelectronic and Computer Systems, 2022, no 4(100). PP. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
- [24] Barannik, V. et al. (2023). A Method of Scrambling for the System of Cryptocompression of Codograms Service Components. In: Klymash, M., Luntovskyy, A., Beshley, M., Melnyk, I., Schill, A. (eds) Emerging Networking in the Digital Transformation Age. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 965. Springer, Switzerland, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26).
- [25] Бараннік В. В., Красноруцький А. О., Колесник В. О., Сушко А. Л., Єлісеєв Є. С. and Федоровський О. В. (2023) "Video Segments Stamping Method Saving Their Reliability in the Spectral-Cluster Space". *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (92), pp. 41–53. doi: 10.20535/RADAP.2023.92.41-53.
- [26] Бараннік В. В., Єлісеєв Є. С., Цімура Ю., Бабенко М. В., Тарасенко Д. Метод кластеризації послідовності трансформант за структурними ознаками їх спектрально-параметричного опису // Наукоємні технології. 2024. № 2(62). С. 185–192. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.62.18712>
- [27] Barannik, V. et al. (2024). Method of Coding Video Images Based on Meta-Determination of Segments. In: Luntovskyy A., Klymash M., Melnyk I., Beshley M., Schill A. (eds) Digital Ecosystems: Interconnecting Advanced Networks with AI Applications. TCSET 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1198. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3_27).
- [28] Бараннік В. В., Красноруцький А. О., Колесник В. О., Пчельніков С. І., Бабенко Ю. М. and Шейгас О. М. (2022) "A Method of Coding Video Segments in Spectral-Cluster Space with Detection of Structural Features", *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (90), pp. 21–30. doi: 10.20535/RADAP.2022.90.21-30.
- [29] Barannik V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of Intern. Conf. (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19–23, 2008), Lviv-Slavsko, 2008. P. 378–380.
- [30] Barannik V., Berchanov A., Barannik V., Babenko M., Onyshchenko R. and Kolodiichuk L. "Method of Mini Segments Encoding in Difference Space Using Haar Wavelet," 2023 *IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1–4, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452674.
- [31] Бараннік В. В., Єлісеєв Є. С., Цімура Ю., Бабенко М. В., Ушань В. Метод стиснення кластеризованих трансформант на основі блочного кодування з локально-монотонним визначенням довжини // Наукоємні технології. 2024. № 3(63). С. 274–281. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.63.18971>.

Єлісеєв Є. С.

## МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОДУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ В СПЕКТРАЛЬНО-ПАРАМЕТРИЧНОМУ ПРОСТОРИ

З позиції надання якісних інформаційних сервісів важливим є забезпечення потрібної якості типової інформації: своєчасність передачі інформації, достовірність інформації, повнота контенту, безперервне надання інформації за потребою користувачів. Для цього використовуються комплексні дії, в тому числі з технологічного, математичного та апаратно-програмного забезпечення. Розробляються відповідні протоколи обміну та технології представлення інформації. Водночас розвиток існуючих та поява нових інформаційних сервісів приводить до формування нових вимог до математичної та технологічної бази їх реалізації. Сюди також відноситься потреба у подальшому розвитку технологій та методів представлення інформації. На даний час одна з найбільш потужних стандартизованих реалізацій є формат JPEG. Сучасні методи використовують більш потужні вдосконалення перелічених механізмів. Це дозволяє досягти більш якісних результатів за системою «рівень втрат – рівень стиснення». Однак більшість рішень направлено на поліпшення якості візуальної оцінки з використанням шумових фільтрів та відповідних методів машинного навчання. Саме такі дії виконуються на приймальній стороні. Отже постає потреба щодо удосконалення методів скорочення надмірності для збільшення рівня стиснення відеоданих. Одним з напрямків, який має потенціал щодо додаткового скорочення надмірності без додаткових спотворень є технологія представлення відеоданих в спектрально-параметричному просторі. Для даної технології існують можливості щодо додаткового врахування: рівня інформативності послідовності трансформант; наявності залежностей в дата-сетах для скорочення статистичної та структурної серед-трансформантної надмірності. В той же час відсутня модель оцінювання їх ефективності з врахуванням різних факторів та параметрів методу стиснення. В зворотному випадку це дозволяє підвищити рівень обґрунтованості оцінок, які отримуються теоретично та експериментально. Тому метою досліджень статті є розробка моделі оцінювання ефективності кодування відеоданих в спектрально-параметричному просторі. Розроблено модель для оцінки кількості біт на загальний код кластеризованої послідовності трансформант у СПОТ на основі їх стиснення розробленим методом. В процесі розрахунку обліковуються особливості будовання окремих складових службової та інформаційної частин загальної кодограми.

**Ключові слова:** зображення, стиснення, спектрально-параметричний опис, кластеризація трансформант, блочні коди, модель, коефіцієнт стиснення

Eliseev E.

## MODEL FOR ESTIMATING THE EFFICIENCY OF VIDEO DATA ENCODING IN SPECTRAL-PARAMETRIC SPACE

From the point of view of providing high-quality information services, it is important to ensure the required quality of standard information: timeliness of information transmission, reliability of information, completeness of content, continuous provision of information according to the needs of users. For this, complex actions are used, including technological, mathematical and hardware and software. Appropriate exchange protocols and information presentation technologies are being developed. At the same time, the development of existing and the emergence of new information services leads to the formation of new requirements for the mathematical and technological basis for their implementation. This also includes the need for further development of technologies and methods of presenting information. Currently, one of the most powerful standardized implementations is the JPEG format. Modern methods use more powerful improvements to the listed mechanisms. This allows you to achieve better results according to the system "loss level - compression level". However, most of the solutions are aimed at improving the quality of visual assessment using noise filters and appropriate machine learning methods. It is these actions that are performed on the receiving side. Hence, there is a need to improve redundancy reduction techniques to increase the level of video data compression. One of the areas that has the potential to further reduce redundancy without additional distortion is the technology for representing video data in spectral-parametric space. For this technology, there are opportunities for additional consideration: the level of information content of the transformant sequence; the presence of dependencies in data sets to reduce statistical and structural mean-transformant redundancy. At the same time, there is no model for evaluating their effectiveness taking into account various factors and parameters of the compression method. Otherwise, it allows to increase the level of validity of estimates obtained theoretically and experimentally. Therefore, the purpose of the article is to develop a model for evaluating the effectiveness of video data encoding in spectral-parametric space. A model has been developed for estimating the number of bits per common code of the clustered sequence of transformants in the SPPT based on their compression by the developed method. In the process of calculation, the peculiarities of the construction of individual components of the service and information parts of the general codegram are taken into account.

**Keywords:** Images, Compression, Spectral Parametric Description, Clustering Transformant, Block Codes, model, compression ratio.

Стаття надійшла до редакції 25.02.2025 р.  
Прийнято до друку 16.04.2025 р.