



[DOI 10.28925/2663-4023.2026.32.1138](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2026.32.1138)

УДК 004.056

Бараннік Володимир Вікторович

Доктор технічних наук, професор кафедри математичного моделювання та аналізу даних
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-2848-4524

vvbar.off@gmail.com

Сідченко Євгеній Сергійович

Аспірант кафедри математичного моделювання та аналізу даних
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна
ORCID: 0000-0001-7167-9602

eugenesidchenko@gmail.com

Бараннік Дмитро Володимирович

Кандидат технічних наук, викладач кафедри комунікаційних систем та мереж
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-7074-9864

d.v.barannik@gmail.com

Ведмідь Олег Іванович

Кандидат технічних наук, доцент провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
Харківський національний університет Повітряних Сил, Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-1033-8721

Нестеренко Микола Миколайович

Доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри комунікаційних систем та мереж
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-0812-2793

mykola.nesterenko@viti.edu.ua

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ДИНАМІЧНИХ АПЕРТУР В СИСТЕМАХ АСИМЕТРИЧНОГО КОДУВАННЯ

Анотація. Дана стаття присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі – підвищенню ефективності стиснення та забезпечення цілісності відеоінформаційних ресурсів в умовах обмежених пропускних можливостей каналів зв'язку та впливу завад. У вступній частині обґрунтовано необхідність розробки нових підходів до сегментації зображень, оскільки традиційні методи (JPEG, H.264/AVC, HEVC) та сучасні формати (JPEG XL) мають обмежену здатність до адаптації до складних структурних особливостей та високу вразливість до каналних помилок. Визначено, що втрата навіть незначної частини кодованого потоку в наявних системах призводить до порушень процесу декодування цілих секцій через відсутність механізмів структурної локалізації. Теоретичний розділ дослідження фокусується на переході від стандартної моделі ARGB до кольорового простору XYZ, що краще відповідає особливостям людського сприйняття та дозволяє уникнути ігнорування важливих кольорових компонент (зокрема червоної). Запропоновано підхід до незалежного опрацювання кожного шару кольорової моделі, що забезпечує більш ефективний поділ на області з однорідними властивостями. Ключовим внеском роботи є розробка методу побудови динамічних апертур для систем асиметричного кодування (ANS). Замість статичного розбиття впроваджено гнучку сегментацію, яка враховує локальні кольорні та структурні параметри зображення, динамічно змінюючи параметри «труби» апертури. У розділі результатів представлено порівняльний аналіз стандартного розбиття 8x8, простого апертурного розбиття та запропонованого адаптивного методу. Експериментально встановлено порогові значення розміру апертур (від 5 до 100 елементів), при яких доцільно здійснювати динамічну адаптацію опорного значення. Це дозволило оптимізувати обчислювальні витрати: час кодування скоротився з хвилин до декількох секунд, що важливо для систем реального часу. Отримані результати



підтверджують, що використання адаптивних апертур разом із жорсткою апроксимацією значень дозволяє підвищити ефективність стиснення за допомогою ANS майже у 5 разів порівняно з базовими підходами, від 228,453 до 40,796 байт, зберігаючи при цьому чіткість значущих об'єктів та високу завадостійкість.

Ключові слова: апертура; області когерентності; асиметричні системи числення; стиснення з втратами; шум; апроксимація; колірний простір XYB; сегментація.

ВСТУП

Сучасні інформаційні системи, які опрацьовують великі масиви зображень та відео потоків, стикаються з проблемами збереження високої якості візуального відтворення за умов обмежених ресурсів [1, 2]. Це стосується таких критичних параметрів, як пропускна здатність каналів передачі даних, обчислювальна ефективність та енергоспоживання. Особливо актуальними ці питання стають для інтелектуальних сервісів реального часу, включаючи автоматизоване відеоспостереження, аналітику міського середовища, автономне керування транспортними засобами та швидке реагування у кризових ситуаціях [3, 5]. В умовах нестабільного чи обмеженого зв'язку (наприклад, у бездротових сенсорних мережах або мобільних пристроях) надзвичайно важливо використовувати ефективні методи стиснення зображень і відео. Такі технології повинні зменшувати обсяг переданих даних, мінімізувати затримки та навантаження на мережу, пришвидшувати процес декодування і водночас оптимізувати енергоспоживання [4]. Важливо також зберігати не лише візуальні характеристики, а й змістовну інформативність зображень для їх подальшої інтелектуальної обробки. Традиційні методи стиснення, такі як JPEG, H.264/AVC, HEVC та AV1, мають обмежену здатність адаптації до складних структурних особливостей зображень [5, 6]. Зокрема, серйозною проблемою є те, що втрата навіть незначної частини кодованого потоку може призвести до порушення декодування цілої секції. Це характерно, наприклад, для форматів JPEG XL та Jpegli [7-9]. Попри їхню високу ефективність та використання передових технологій, таких як адаптивне квантування, модульна архітектура та ентропійне кодування на основі ANS, ці формати залишаються вразливими до помилок, оскільки не мають вбудованих механізмів структурної локалізації або функцій самовідновлення. Рішення цього питання полягає у оптимізації та раціоналізації в процесі підготовки вхідних даних для ANS [10, 11]. Підвищення цілісності інформації в умовах внесення каналних помилок, завдяки подальшого вдосконалення методів сегментації та стиснення відеоданих є актуальною науково-прикладною задачею.

У цьому дослідженні основна увага приділяється зміні механізму сегментації зображень. Замість простого підходу до розбиття в галузі когерентності запропоновано новий метод, який забезпечує більш гнучку та точну сегментацію. Цей метод дозволяє динамічно враховувати локальні особливості зображення, включаючи як колірні, і структурні параметри, що значно підвищує ефективність застосування апертур до асиметричних систем кодування [12-15].

Важливою частиною дослідження є перехід на нову колірну модель, яка краще узгоджується з новими вимогами до сегментації а також починається робота із кожним шаром кольорової моделі окремо [16-19]. Це дозволить більш ефективний поділ на області з однорідними властивостями. Додатково вводиться більш складна апроксимація значень всередині апертури, що дозволяє оптимізувати обчислювальні ресурси та підвищити ефективність компресії. Цей підхід мінімізує похибки у поданні даних, зберігаючи при цьому структурні шаблони та забезпечуючи баланс між рівнем

стиснення та якістю зображення [20-22]. У найпростішому випадку який розглядався у попередньому дослідженні, якщо для послідовності X^ξ виконувалась умова

$$x_{\xi, y+r} \in [a_\xi - \frac{\delta}{2}; a_\xi + \frac{\delta}{2}], r = \overline{0, R_\xi - 1} \quad (1)$$

то ця послідовність X^ξ є областю когерентності (апертурою). При цьому R_ξ – довжина послідовності, для якої виконується умова (1), a_ξ – опорний параметр апертури, в якості якого брався перший елемент апертури і навколо якого будувалась труба апертури величиною δ . Також на цьому етапі одразу проходила і апроксимація значення, в результаті чого апертура заповнювалась вже апроксимованими по першому (опорному) елементу значеннями [23], [24].

Такий підхід приблизно рівносилен до розбиття 8×8 у випадку стиснення без втрат та без помилок. Але при накладанні помилок на закодовану інформацію або у випадку із втратами (при використанні апроксимації), навіть такий простий випадок використання апертур перевершує сегментацію 8×8 . Приклад результатів використання такого підходу наведено на зображеннях 1-4 [25], [26].

Розмір даних оригінального зображення у ARGB є 1,600,944 байт. При цьому після стиснення за допомогою асиметричних систем кодування при розбитті зображення на сегменти 8×8 , розмір стиснених даних є 334,952 байт. Результат стиснення після розбиття на апертури із трубою $\delta = 0.4 \cdot a_\xi$ є 307,824 байт, що майже рівноцінний розбиттю 8×8 , але, як ми бачимо вище, супротив помилкам суттєво збільшується [27], [28]. При цьому після застосування апроксимації значень в межах апертури ми отримуємо результат після стиснення вже 59,745, що кратно перевершує результат сегментації 8×8 , має гарний супротив до внесення помилок та, не дивлячись на невеликі дефекти на однорідних областях зображення, значущі області зображення та об'єкти залишаються чітко помітні [29], [30].



Рис. 1. Оригінальне зображення 1



Рис. 2. Зображення 1 із введенням помилок $10e-1$, сегментація 8×8



Рис. 3. Зображення 1 із введенням помилок $10e-1$, розбиття на апертури



Рис. 4. Зображення 1 із розбиттям на апертури та апроксимацією значень

Як видно, навіть не оптимальне розбиття на апертури надає кратне покращення завадостійкості та ефективності ANS. Тому **мета статті** полягає у подальшому підвищенні алгоритмів ANS шляхом розробки методу адаптивного апертурного розбиття зображення.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання моделі кольорів ARGB, яка є базовою для мови Kotlin і отримується із зображення командою `bitmap.getPixels`, є достатньо зручною з точки зору програмування та швидкості виконання кодування. Кожен піксель представлений одним значенням `int`, який зберігає `a`, `r`, `g` та `b`. Відкидання значення `a` і відновлення його після декодування щоб можна було повноцінно відновити ARGB та вивести зображення є критичним. Оскільки для побудови труби апертури використовується значення δ у відсотках від a_ξ , то збільшення значення пікселя шляхом додавання нових порядків до значення розширює трубу апертури. Також, через те що значення створюється шляхом бітового зсуву значень `a`, `r` та `b`, використання котліновського значення пікселя у ARGB ефективно враховує та апроксимує тільки значення шару `b` та трішки `g`, зовсім ігноруючи кольорову компоненту `r`. Також, використання звичайної моделі кольорів RGB гірше відповідає до того як бачить людське око, тож, результат розбиття на апертури та апроксимації значень буде більш вирізнятися для людського ока. Саме з цих причин перехід до іншої кольорової моделі та робота із кожної площини кольорів окремо необхідні для подальшої оптимізації та розробки. В якості нової кольорової моделі було обрано модель XYB, яка за CIE 1931 складається з Y – яскравість, B – квазідорівнює синьому (для CIE RGB), а X – суміш трьох кривих CIE RGB, обраних як невід’ємні, кожен із яких розглядається, розбивається на апертури та кодується окремо і незалежно від інших.

В результаті переходу на обрану модель кольорів ми отримуємо результат представлений на зображенні 5, який має розмір 37,818.



Рис. 5. Результат переходу в колірний простір XYB

Результат переходу на нову модель кольорів хоч і дає значуще покращення у якості стискання, але в наслідок розбиття на апертури та використання першого елемента апертури у якості опорного значення апертури для подальшої апроксимації веде до появи візуальних дефектів, які очіvilні людському оку і ця проблема потребує вирішення.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконання процесу перебудови апертур є дуже ресурсозатратним, тому його неможливо використовувати при додаванні кожного нового елемента до апертури. До того ж, це не має сенсу, так як зсув опорного значення відбувається не так швидко і із зростанням розміру апертури цей процес стає більш рідкістним. З першого погляду здається, що найбільш актуально робити перерахунок значення тільки у випадку якщо наступний елемент не потрапляє у поточну апертуру. Якщо після перебудови він потрапляє – процес популяції поточної труби продовжується. Якщо не потрапляє – результат перебудови все одно враховується для подальшого покращення результатів апроксимації, а новий елемент стає першим опорним елементом нової труби. Це дозволить звести до мінімуму кількість циклів відпрацювання ресурсозатратного алгоритма та гарантує те що для кожної труби буде підтримуватись максимальне заповнення та оптимальний опорний елемент. Але практичний результат поточної реалізації вказує на зовсім інше. У такому випадку час кодування зображення 1 збільшується майже до десяти хвилин, причому найбільшу частину процесу займає розрахунок нових опорних значень апертур.

Процес стиснення ANS також починає займати майже хвилину. Це відбувається в наслідок того що апертури починають включати в себе багато значень, і якщо не проводити жорстку апроксимацію значень до опорного значення – ми отримуємо апертури із достатньо великою кількістю неапроксимованих значень, що значно збільшує розмір алфавітів для ANS і погіршує якість стиснення та швидкодійність процесу. Розмір закодованного зображення стає 37,684, що хоч і є гарним, але витрати часу на алгоритм є занадто високими. Для вирішення цієї проблемної ситуації було експериментальним шляхом встановлено такі порогові значення розміру апертури, при яких необхідно робити динамічну адаптацію опорного значення та труби апертури: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 100. При цьому час на розбиття на апертури складає 4 секунди, час на кодування результату розбиття складає ще 4 секунди, а розмір після стиснення складає 140,200. У випадку більш жорсткої апроксимації значень до опорного значення апертури швидкість алгоритма ANS збільшується до значень менш ніж 0.5 секунд, при цьому результат стиснення складає 34,534 і представлений на зображенні 6.



Рис. 6. Результат зображення після розбиття на апертури із апроксимацією до опорного значення апертури по підібраним порогам

В поточній реалізації велика кількість апертур на стиках об'єктів чи поверхонь може мати 1 елемент. Це не оптимальний варіант розбиття, оскільки один піксель займає ціле значення. Якщо використовувати обмеження мінімального значення розміру апертури на приклад у 3 елемента – це ніяк не зашкодить (з результатів експериментів) якості зображень, але дозволить отримати вигоду у розмірі. Використання меншого розміру труби апертури та менш сильної апроксимації дозволяє отримати результат із розміром 49,651, що представлений на зображенні 7. Порівнюючи ці результати із результатами для зображення 4 очевидно, що навіть при тому що з одного боку нам потрібно обробляти у 3 рази більше інформації внаслідок переходу на опрацювання кожного шару кольорів окремо, завдяки використанню апертур із динамічною адаптацією опорного значення апертури, ефективність подальшого стискання за допомогою ANS покращилась у майже у 5 разів, від 228,453 до 40,796. Очевидно, що ефективність може відрізнятись від вхідного зображення та припустимої кількості втрат, але навіть результат на зображенні 9, який вже майже у 10 разів перевершує результат зображення 4, все ще має достатню якість зображення та чітко помітні об'єкти.



Рис. 7. Результат зображення після розбиття на апертури із апроксимацією до опорного значення апертури по підібраним порогам із меншим розміром труби апертури

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У цій праці розроблені методи застосування апертур та методів асиметричного кодування до простору кольорів ХУВ. Також розроблена динамічна адаптація апертур до асиметричних систем кодування. Наведені результати показують, що перехід на простір кольорів ХУВ та початок роботи із кожним шаром кольорів окремо дозволяє значуще покращити ефективність стискання за допомогою ANS, але апроксимація значень при використанні першого елемента апертури у якості опорного значення вводить значущі дефекти у зображення. Введення адаптивної зміни опорного значення апертури вирішує цю проблему і дозволяє зберегти гарні показники швидкості виконання ANS та якості стискання. Хоч адаптивне розбиття на апертури не дає значущої різниці в кількості апертур, але завдяки кращому розподілу значень всередині апертури, це надає переваг у завадостійкості та ефективності методів асиметричного



числення. Напрямами подальшого розвитку є покращення алгоритмів адаптивної зміни опорного значення, а саме – перехід від фіксованих значень розмірів апертур при яких необхідно робити перебудову апертури до адаптивних значень які враховують контекст зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Iliashov, O. A., & Buriachok, V. L. (2010). On the issue of protecting the information and telecommunication sphere from external cyber influence. *Science and Defense*, (4), 35–41.
2. Alimpiev, A., Barannik, V., Podlesny, S., Suprun, O., & Bekirov, A. (2017). The video information resources integrity concept by using binomial slots. In *2017 XIII International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 193–196). <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2017.7937564>
3. Barannik, V. V., Hahanova, A. V., & Krivonos, V. N. (2013). Coding tangible component of transforms to provide accessibility and integrity of video data. In *East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013)* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2013.6673179>
4. Barannik, V., & Shiryaev, A. (2012). Quadrature compression of images in polyadic space. In *Proceedings of the 11th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2012)* (p. 422).
5. Barannik, V., Babenko, Y., Barannik, V., Kolesnyk, V., & Zhuikov, D. (2022). Method taking into account level of structural and statistical saturation of video segments in the coding process. In *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 66–71). <https://doi.org/10.1109/ATIT58178.2022.10024193>
6. Barannik, V., Krasnorutsky, A., Kolesnyk, V., Barannik, V., Pchelnykov, S., & Zeleny, P. (2022). Method of compression and ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks. *Radioelectronic and Computer Systems*, (4), 129–142. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.4.10>
7. Barannik, V., Lytvinenko, M., Okladnoy, D., & Suprun, O. (2017). Description of the OFDM symbol using mathematical laws. In *2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)* (pp. 183–187). <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020095>
8. Barannik, V., Sidchenko, S., Barannik, D., Barannik, V., & Datsun, A. (2021). Devising a conceptual method for generating cryptocompression codograms of images without loss of information quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237359>
9. Barannik, V., Yudin, O., Boiko, Y., Ziubina, R., & Vyshnevskaya, N. (2019). Video data compression methods in decision support systems. In Z. Hu et al. (Eds.), *Advances in Computer Science for Engineering and Education* (Vol. 754). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_30
10. Belikova, T. (2020). Decoding method of information-psychological destructions in the phonetic space of information resources. In *Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 87–91).
11. Dovbenko, O., & Belikova, T. (2019). Method of increasing the capacity of information threat detection filters in modern information and communication systems. In *2019 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)* (pp. 426–429). <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847754>
12. Deshmukh, M., Nain, N., & Ahmed, M. (2016). An (n, n)-multi secret image sharing scheme using Boolean XOR and modular arithmetic. In *2016 IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 690–697). <https://doi.org/10.1109/AINA.2016.56>
13. Krasnorutsky, A., Onyshchenko, R., Barannik, D., & Barannik, V. (2022). Methods of intelligent processing of video frames in coding systems. In *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 53–56). <https://doi.org/10.1109/ATIT58178.2022.10024208>
14. Minemura, K., Moayed, Z., Wong, K., Qi, X., & Tanaka, K. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. In *2012 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 261–264). <https://doi.org/10.1109/ICIP.2012.6466845>
15. Shamir, A., Rivest, R. L., & Adleman, L. M. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 21(2), 120–126. <https://doi.org/10.1145/359340.359342>
16. Skodras, A., Christopoulos, C., & Ebrahimi, T. (2001). The JPEG 2000 still image compression standard. *IEEE Signal Processing Magazine*, 18(5), 36–58.



17. Wong, K. W. (2009). Image encryption using chaotic maps. In *Intelligent Computing Based on Chaos* (pp. 333–354). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95972-4_16
18. Zhang, X., Au, O. C., Zhou, J., Liu, T., & Tang, Y. Y. (2014). Designing an efficient image encryption-then-compression system. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(1), 39–50. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2013.2291625>
19. Barannik, V. V. (2001). Relief representation of images using pyramidal coding. *Information-Control Systems in Railway Transport*, (1), 17–25.
20. Barannik, V. V., Barannik, D. V., & Bekirov, A. E. (2017). *Fundamentals of structural-combinatorial steganographic coding theory*. Lider.

**Volodymyr. Barannik**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mathematical Modeling and Data Analysis
V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-2848-4524
vvbar.off@gmail.com

Yevhenii Sidchenko

Postgraduate student of the Department of Mathematical Modeling and Data Analysis
V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: 0000-0001-7167-9602
eugenetidchenko@gmail.com

Dmytro Barannik

Doctor of Philosophy (PhD), Lecturer, Researcher, Department of Communication Systems and Networks
Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-7074-9864
d.v.barannik@gmail.com

Oleh Vedmid

PhD in Engineering Associate Professor, Leading Researcher,
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-1033-8721

Mykola Nesterenko

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Communication Systems and Networks
Department, Electronic Communication Systems Faculty
Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0003-0812-2793
mykola.nesterenko@viti.edu.ua

METHODS FOR CONSTRUCTING DYNAMIC APERTURES IN ASYMMETRIC CODING SYSTEMS

Abstract. This article is devoted to solving an urgent scientific and applied problem – increasing the efficiency of compression and ensuring the integrity of video information resources under conditions of limited channel bandwidth and the influence of interference. The introductory part substantiates the need for developing new approaches to image segmentation, as traditional methods (JPEG, H.264/AVC, HEVC) and modern formats (JPEG XL) have limited ability to adapt to complex structural features and high vulnerability to channel errors. It is determined that the loss of even a small part of the encoded stream in existing systems leads to disruptions in the decoding process of entire sections due to the lack of structural localization mechanisms. The theoretical section of the research focuses on the transition from the standard ARGB model to the XYB color space, which better matches the characteristics of human perception and avoids ignoring important color components (specifically red). An approach for independent processing of each layer of the color model is proposed, which provides a more efficient division into regions with homogeneous properties. The key contribution of the work is the development of a method for constructing dynamic apertures for asymmetric numeral systems (ANS). Instead of static partitioning, flexible segmentation is introduced, which takes into account local color and structural parameters of the image by dynamically changing the aperture "tube" parameters. The results section presents a comparative analysis of standard 8x8 partitioning, simple aperture partitioning, and the proposed adaptive method. Threshold values for aperture size (from 5 to 100 elements) were experimentally established, at which it is advisable to perform dynamic adaptation of the reference value. This allowed for the optimization of computational costs: encoding time was reduced from minutes to a few seconds, which is crucial for real-time systems. The obtained results confirm that the use of adaptive apertures together with strict value approximation allows for increasing the efficiency of compression using ANS by almost 5 times compared to base approaches, from 228,453 to 40,796 bytes, while maintaining the clarity of significant objects and high noise immunity.



Keywords: aperture; coherence regions; asymmetric numeral systems; lossy compression; noise; approximation; XYB color space; image segmentation.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Iliashov, O. A., & Buriachok, V. L. (2010). On the issue of protecting the information and telecommunication sphere from external cyber influence. *Science and Defense*, (4), 35–41.
2. Alimpiev, A., Barannik, V., Podlesny, S., Suprun, O., & Bekirov, A. (2017). The video information resources integrity concept by using binomial slots. In *2017 XIII International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 193–196). <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2017.7937564>
3. Barannik, V. V., Hahanova, A. V., & Krivonos, V. N. (2013). Coding tangible component of transforms to provide accessibility and integrity of video data. In *East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013)* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2013.6673179>
4. Barannik, V., & Shiryaev, A. (2012). Quadrature compression of images in polyadic space. In *Proceedings of the 11th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET 2012)* (p. 422).
5. Barannik, V., Babenko, Y., Barannik, V., Kolesnyk, V., & Zhuikov, D. (2022). Method taking into account level of structural and statistical saturation of video segments in the coding process. In *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 66–71). <https://doi.org/10.1109/ATIT58178.2022.10024193>
6. Barannik, V., Krasnorutsky, A., Kolesnyk, V., Barannik, V., Pchelnykov, S., & Zeleny, P. (2022). Method of compression and ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks. *Radioelectronic and Computer Systems*, (4), 129–142. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.4.10>
7. Barannik, V., Lytvynenko, M., Okladnoy, D., & Suprun, O. (2017). Description of the OFDM symbol using mathematical laws. In *2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)* (pp. 183–187). <https://doi.org/10.1109/AICT.2017.8020095>
8. Barannik, V., Sidchenko, S., Barannik, D., Barannik, V., & Datsun, A. (2021). Devising a conceptual method for generating cryptocompression codograms of images without loss of information quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237359>
9. Barannik, V., Yudin, O., Boiko, Y., Ziubina, R., & Vyshnevska, N. (2019). Video data compression methods in decision support systems. In Z. Hu et al. (Eds.), *Advances in Computer Science for Engineering and Education* (Vol. 754). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_30
10. Belikova, T. (2020). Decoding method of information-psychological destructions in the phonetic space of information resources. In *Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 87–91).
11. Dovbenko, O., & Belikova, T. (2019). Method of increasing the capacity of information threat detection filters in modern information and communication systems. In *2019 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)* (pp. 426–429). <https://doi.org/10.1109/AICT.2019.8847754>
12. Deshmukh, M., Nain, N., & Ahmed, M. (2016). An (n, n)-multi secret image sharing scheme using Boolean XOR and modular arithmetic. In *2016 IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 690–697). <https://doi.org/10.1109/AINA.2016.56>
13. Krasnorutsky, A., Onyshchenko, R., Barannik, D., & Barannik, V. (2022). Methods of intelligent processing of video frames in coding systems. In *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 53–56). <https://doi.org/10.1109/ATIT58178.2022.10024208>
14. Minemura, K., Moayed, Z., Wong, K., Qi, X., & Tanaka, K. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. In *2012 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 261–264). <https://doi.org/10.1109/ICIP.2012.6466845>
15. Shamir, A., Rivest, R. L., & Adleman, L. M. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 21(2), 120–126. <https://doi.org/10.1145/359340.359342>
16. Skodras, A., Christopoulos, C., & Ebrahimi, T. (2001). The JPEG 2000 still image compression standard. *IEEE Signal Processing Magazine*, 18(5), 36–58.
17. Wong, K. W. (2009). Image encryption using chaotic maps. In *Intelligent Computing Based on Chaos* (pp. 333–354). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95972-4_16



18. Zhang, X., Au, O. C., Zhou, J., Liu, T., & Tang, Y. Y. (2014). Designing an efficient image encryption-then-compression system. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(1), 39–50. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2013.2291625>
19. Barannik, V. V. (2001). Relief representation of images using pyramidal coding. *Information-Control Systems in Railway Transport*, (1), 17–25.
20. Barannik, V. V., Barannik, D. V., & Bekirov, A. E. (2017). *Fundamentals of structural-combinatorial steganographic coding theory*. Lider.

Отримано редакцією журналу / Received: 28.01.26

Прорецензовано / Revised: 17.02.26

Схвалено до друку / Accepted: 26.03.26



This work is licensed under Creative Commons Attribution-noncommercial-sharealike 4.0 International License.