

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені Тараса Шевченка

Прим. № ____

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАБЕНКО ЮРІЙ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.327: 681.5

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ТА СЕМАНТИЧНОЇ ЦІЛІСНОСТІ
ВІДЕОРЕСУРСІВ НА ОСНОВІ ЇХ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО КОДУВАННЯ

125 – Кібербезпека
Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю.М. БАБЕНКО

Науковий керівник
Бучик Сергій Степонович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2023 рік

АНОТАЦІЯ

Бабенко Ю.М. Метод підвищення доступності та семантичної цілісності відеоресурсів на основі їх диференційованого кодування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 – кібербезпека – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2023.

У дисертаційній роботі розв’язано **наукове завдання**, яке полягає у розробці методу кодування для підвищення доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних систем під час управління та функціонування систем критичної інфраструктури.

Створено кодування для підвищення доступності відеоресурсів в умовах забезпечення збереження їх семантичної цілісності. При цьому враховується типізація сегментів з подальшим диференційованим кодуванням в залежності від кількостного та якісного складу мікросегментів з різним рівнем структурно-статистичної насиченості.

Подальший розвиток технологій стиску пропонується проводити базуючись на стандартизованих концепціях. Такий підхід полегшує процес подальшої верифікації інноваційних реалізацій. В цьому напрямку **пропонується** в процесі стандартизованої обробки відеокадрів додатково враховувати нерівномірність розподілу рівня насиченості деталізуючої інформації. Для зниження кількості арифметичних операцій, які додатково потрібно виконати для типізації ділянок відеокадру **пропонується** використовувати властивості структурно-статистичного характеру на основі встановлення та параметризації областей допустимої корекції. В тому числі, тут розуміються області незначної зміни значень елементів яскравісної або кольорових складових. Відповідно, зміна рівня насиченості ділянки деталізуючою інформацією буде зумовлювати адекватну зміну розмірів областей допустимої корекції.

На основі цього розроблюється метод класифікації мікросегментів за рівнем їх впливу на збереження семантичної цілісності. Викладається розробка методу виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу. Тут використовується система правил для прийняття рішення, яка використовує інформацію щодо структурно-статистичних властивостей мікросегментів. При цьому обираються мікросегменти, які належать до яскравісної складової кольоро-різницевого представлення відеокадру. Викладаються основні етапи розробки методу класифікації мікросегментів за рівнем їх структурно-статистичної насиченості за трьома класами. Для кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості всього мікросегменту використовується квадратична метрика. При цьому здійснюється виявлення та параметризація областей допустимої корекції, які проріджені за локальною ознакою в двовимірному просторі в напрямку зігзагової розгортки.

Викладаються основні етапи побудови методу для створення синтаксичного опису компактного представлення сегментів, які не впливають на втрату семантичної цілісності відеоресурсу. Надається обґрунтування та приводяться основні етапи розробки методу компактного синтаксичного представлення сегментів відеокадрів, які є значимими за впливом на збереження семантичної цілісності відеоресурсу, та не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень структурно-статистичної насиченості. Розроблюється метод зменшення бітового об'єму сегментів, значимих за впливом на збереження семантичної цілісності відеоресурсу, що мають змішаний вміст мікросегментів з різним рівнем структурно-статистичної насиченості. Базова технологічна складова тут полягає у розробці та використанні процесу виключення зайвих біт кодограм ланцюгів допустимої корекції значимих мікросегментів шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм не значимих мікросегментів. Показано те, що для розробленого методу кодування в умовах його інтеграції

з стандартизованими платформами, забезпечується додаткове зменшення бітового об'єму.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Удосконалено метод класифікації мікросегментів за трьома типами на основі врахування їх структурно-статистичних властивостей. Це дозволяє створити умови для підвищення достовірності результатів процесу ідентифікації сегментів з позиції їх впливу на збереження семантичної цілісності відеоресурсу.

2. Вперше розроблено метод диференційної обробки сегментів в залежності від якісних та кількісних характеристик їх мікросегментів за рівнем структурної та статистичної насиченості. Це дозволяє забезпечити збільшення рівня доступності до відеоресурсу в заданих умовах при забезпеченні його семантичної цілісності.

3. Вперше розроблено метод зменшення бітового об'єму для значимих за впливом на збереження семантичної цілісності відеоресурсу сегментів на основі усунення надмірності в значимих компонентах ланцюгів допустимої корекції масивів спектральних компонент. Це дозволяє скоротити надмірність у кодограмах ланцюгів допустимої корекції та додатково зменшити бітовий об'єм значимих сегментів відеокадрів без втрати їх семантичної цілісності та втрати стійкості їх кодограм до мережевих помилок.

Практичне значення отриманих результатів досліджень.

Реалізація розробленого методу ідентифікації сегментів за характером їх впливу на збереження семантичної цілісності відеоресурсу дозволяє виявити в середньому 90 % значимих сегментів від їх загальної кількості у відеокадрів (помилка першого роду, в середньому, 10 %); кількість не значимих сегментів, які було помилково визначено як значимі не перевищує 13 %. Це створює умови для збільшення рівня доступності відеоресурсу в умовах збереження їх семантичної цілісності.

Для розробленого методу кодування за умови його інтеграції зі стандартизованими платформами у разі обробки відеокадрів, які є насиченими деталізуючою інформацією, забезпечується :

- рівень зменшення бітового об'єму в залежності від кількісного показника peak signal-to-noise ratio (PSNR) в межах від 3,2 до 33,5 разів;
- додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиснення) в порівнянні з існуючими методами кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага досягається у разі забезпечення рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа PSNR для достатнього рівня цілісності відеоресурсу). Додаткове збільшення значення коефіцієнту стиснення сягає 17 %;
- зниження переваги спостерігається при PSNR на рівні менш ніж 25 дБ.

За рахунок додаткового зменшення бітового об'єму відеоресурсу створюються умови для відповідного додаткового (у порівнянні з існуючими методами) скорочення на 10 % часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності. У той же час, у разі фіксованого рівня зниження бітового об'єму, наприклад, у 15 разів, досягається додаткове збільшення показника PSNR на 3 дБ. Відповідно, можна стверджувати, що для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, створюються умови для збільшення рівня цілісності при обраному рівні доступності відеоресурсу.

Для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, кількість операцій додавання та множення у разі обробки відеокадрів з середнім рівнем насиченості деталізуючою інформацією скорочуються, в середньому, на 15 % та 25 % відповідно. Це створює умови для додаткового зниження часової затримки в процесі організації доступності відеоресурсу, яка безпосередньо пов'язана процесом їх кодування.

Часова затримка для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, які використовуються для стандартизованих платформ, в означених умовах

скорочується, в середньому, на 15 %. Отже, розроблений метод кодування відеоресурсу створює умови для збільшення рівня його доступності (в середньому на 15 %) при забезпеченні потреб за рівнем цілісності (рівень PSNR = 35 дБ).

Ключові слова: доступність відеоресурсу; семантична цілісність; область допустимої корекції; структурна та статистична насиченість; сегмент відеокадру; блокове кодування; кодова надмірність.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Babenko Y., Barannik D., Hahanova A., Karpiński M., Shaikhanova A., Shmakov V., Smailova B., Veselska O., Yroshenko V. The Technology of Structural Classification of Video Frames in Intelligent Info-Communication Systems. “*Development of technology analys for the content semantics,*” in Engineer of XXI Century - We Design the Future, Bielsko-Biała, Poland: ATH, 2020. P.31 – 40. **Scopus**

Monogrpah, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej

2. Бабенко Ю. М. Метод диференційованого кодування сегментів на основі врахування структурно-статистичної насиченості // Сучасна спеціальна техніка. – 2023. - № 1. – С. 5 – 18.

3. Бабенко Ю.М. Метод кодування мікросегментів відеоресурсу в спектральному просторі для підвищення їх цілісності та доступності // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - № 2. – С. 23 – 33.

4. Бабенко Ю.М. Метод збереження семантичної цілісності відеоресурсу в інфокомунікаційних системах. Наукоємні технології. - 2020. -№4. – С. 430 – 438. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.48.15088>

5. Бабенко Ю. М., Бучик С.С., Пчельніков С.І., Ушань В.М., Цімура Ю.В. Метод кодування низькоінформативних сегментів відеоінформаційного ресурсу для підвищення їх доступності // Наукоємні технології. - 2023. -№ 1. – С. 20 – 27. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.57.17441>

6. Бабенко Ю. М., Бараннік В. В., Бараннік В. В., Колесник В. О. Метод кодування значимих за впливом на семантичну цілісність відеосегментів для забезпечення доступності // Наукоємні технології. - том. 54 № 2 (2022). С. 118 – 126. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16749>.

7. Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Бараннік В.В., Єрошенко В.П., Ревва К.В., Яковенко О.В. Метод підвищення доступності відеоресурсу з врахуванням рівня структурно-статистичної насиченості сегментів // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - № 3. – С. 7 – 19.

8. Бабенко Ю.М., Бучик С.С., Гаврилов Д.С., Слободянюк О.В., Шульгін С.С. *Method of processing video data with the possibility of their protection after quantization. Radioelectronic and Computer Systems. Випуск 2, 2021, С. 64-77. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.06>. Scopus*

9. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник В.В., Игнатъев А.А., Сидченко Е.С. Технология компоновочного кодирования микросегментов для повышения безопасности видеоресурсов в инфокоммуникационных системах // Безпека інформації. – 2020. - №3. – С. 181 – 190. DOI: <https://doi.org/10.18372/2225-5036.26.15154>

10. Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Рябуха Ю.М., Сорокун А.Д., Твердохліб В.В. Метод кодування бітового опису трансформант на базі незалежних кодових структур у технології управління інтенсивністю відео потоку. Наукоємні технології. - 2019. -№3.(43). – С. 295 – 299.

11. Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Бараннік Н.В., Пугачев Р.В., Шульгін С.С. Проблематичні аспекти забезпечення дистанційного відеосервісу в кризовій ситуації. *Кібербезпека. освіта, наука, техніка*. 2020. №3(7). С. 85 – 94. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.8594>

12. Babenko Y., Havrylov D., Shaigas O., Stetsenko O., Yroshenko V. Application of Arithmetic Coding Methods in Cryptographic Information Protection Systems. CEUR Workshop Proceeding (ISSN 1613-0073), 2021, Vol-2923, pp. 125 – 136. **Scopus**

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Оксіюк О.Г., Слободянюк О.В. Метод формування компонуального представлення відеосегментів в просторово-спектральному описі. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали 3 наук.-практ. конф., (Київ 2–3 квітня. 2020 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2020. С. 147 - 149.

2. Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Оксіюк О.Г. Кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімку в інфокомунікаційних системах. XX Міжнародна науково-технічна конференція “*Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*”, *ВОТТП-2020*, (Одеса 26-29 червня 2020 року). ОНАЗ, 2020, С. 95 – 96.

3. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник Н.В., Шульгин С.С. Технологія кодирования сегментов для повышения безопасности видеоресурсов в инфокоммуникационных системах. *Перспективні напрями захисту інформації*: матеріали VI Наук. практ. конф., (Одеса, 2 - 6 вересня 2020 р.). Одеса: ОНАЗ, 2020. С. 14 - 16.

4. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Шульгин С.С. Метод кодирования для повышения доступности и целостности видеоресурсов в телекоммуникационных системах матеріали 20 Міжн. наук.-практ. конф. "Проблемы информатики и моделирования" (ПИМ-2020): (Харків - Одеса, 16 – 20 вересня 2020 р.). Харків-Одеса, НТУ «ХП», 2020. С. 20.

5. Бабенко Ю.М., Белікова Т.В., Бараннік В.В., Бучик С.С. Метод кодування відеоресурсів в технологіях забезпечення інформаційної безпеки. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали VI наук.-практ. конф., (Київ 27 квітня. 2023 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2023. С. 128 – 129.

6. Babenko Y., Barannik V., Barannik N., Himenko V., Tverdokhlib V. Method of coding dynamic sequence of frame-spline structures of provided frames in info-communications. *IEEE 4rd International Conference on Advanced*

Information and Communications Technologies (IEEE AICT 2021). – 2021. – P. 36–40. DOI: 10.1109/AICT52120.2021.9628928. **Scopus**

7. Babenko Y., Barannik V., Barannik V., Kolesnyk V., Zhuikov D. "Method Taking into Account Level of Structural and Statistical Saturation of Video Segments in the Coding Process," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 15-17 December 2022, pp. 66-71, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193. **Scopus**

8. Babenko Y., Barannik V., Parkhomenko M., Shulgin S. Video encoding to increase video availability in telecommunication systems. VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv. – C. 323 – 325.

9. Babenko Y., Barannik V., Barannik V., Khimenko A., Kulitsa O., Matviichuk-Yudina O. "Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 52-56, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256. **Scopus**

ABSTRACT

Yurii Babenko. Method of video resource coding to increase its availability and semantic integrity. – Scientific qualification work as a manuscript.

Dissertation on the achievement of the Doctor of Philosophy scientific level, specialty 125 – cybersecurity – Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2023.

The doctoral dissertation at hand undertakes a profound scientific endeavor, namely, the development of an encoding method aimed at augmentation of video resource availability within the framework of information communication systems employed in the management and operation of critical infrastructure systems. The principal objective revolves around elevating video resource availability while simultaneously safeguarding its semantic integrity through the meticulous

deployment of advanced encoding techniques. These encoding methodologies are meticulously devised to encompass the typification of video segments, thereby enabling nuanced differential coding based on variances in structural and statistical saturation levels among microsegments.

A suggested pathway for the evolution of compression technologies pivots upon the principles of standardization. This strategic approach streamlines the validation process for innovative implementations. It proposes that within the realm of standardized video frame processing, special attention should be accorded to the non-uniform distribution of saturation levels embedded within detailed informational content. In a bid to curtail the computational demands associated with segment typification, it is strongly advocated to harness structural and statistical properties predicated upon the identification and parameterization of regions amenable to correction. Such regions encompass areas exhibiting minor fluctuations in brightness or color component elements. Consequently, alterations in the saturation levels of segments rich in detailed information correlate with corresponding adjustments in the dimensions of permissible correction areas.

In congruence with this paradigm, a method for classifying microsegments based on their ramifications for semantic integrity preservation is introduced, accompanied by the development of a systematic approach to identifying pivotal segments from the vantage point of preserving the semantic integrity of the video resource. The decision-making process hinges on a rigorously constructed set of rules, meticulously informed by the structural and statistical attributes of microsegments, with particular emphasis on microsegments embedded within the brightness component of the color-difference representation of video frames. The method entails a tripartite classification of microsegments, underpinned by the utilization of a quadratic metric to quantitatively assess the comprehensive structural and statistical saturation levels of microsegments. Furthermore, the methodology encompasses the identification and parameterization of admissible correction areas, artfully discerned through localized features in two-dimensional space within the context of a zigzag scan.

The central stages in the formulation of a method for crafting a succinct syntactic representation of segments, devoid of any compromise to the semantic integrity of video resources, are methodically elucidated. The rationale and principal phases are exhaustively articulated for the development of a method tailored to condensing the bit volume of video resource segments that carry paramount significance for semantic integrity preservation, while eschewing microsegments characterized by insignificant structural and statistical saturation levels. This method hinges on the prudent strategy of diminishing bit volume by discarding redundant bits culled from codegrams that constitute the chains of admissible correction vis-à-vis significant microsegments. These omitted bits are replaced with informative components gleaned from codegrams of non-significant microsegments. Notably, the seamless integration of this encoding method into standardized platforms yields an additional diminishment in bit volume.

Scientific Novelty of Results

1. The method for classifying microsegments into three distinct categories, grounded in their structural and statistical properties, has been significantly refined, thereby fostering greater dependability in the segment identification process concerning their influence on semantic integrity preservation.

2. A pioneering approach is introduced wherein segments undergo differential processing contingent upon the qualitative and quantitative attributes of their microsegments, particularly with respect to their structural and statistical saturation levels. This innovative approach enhances video resource availability while diligently upholding its semantic integrity.

3. A novel method emerges for bit volume reduction within segments of the video resource that are of paramount importance for semantic integrity. This method is founded on the meticulous elimination of redundancy within the pivotal components of the chains of admissible correction encompassing arrays of spectral components. The outcome is a substantial reduction in redundancy within the codegrams of permissible correction chains, thereby yielding an additional

reduction in the bit volume of significant video frame segments, all while preserving semantic integrity and fortifying the resilience of their codegrams against network errors.

Practical Significance of Results

The practical implementation of the segment identification method, meticulously calibrated to account for its influence on semantic integrity preservation, permits the identification of an estimated 90% of significant segments within a given video frame. The rate of false positive identifications for insignificant segments scarcely exceeds 13%. Such an implementation dramatically amplifies video resource availability while simultaneously preserving its semantic integrity.

The seamless integration of the encoding method into standardized platforms for processing information-rich content yields a multitude of advantages:

- Depending on the peak signal-to-noise ratio (PSNR), bit volume reduction ranges from 3.2 to an impressive 33.5, with an average additional reduction of 10% when compared to pre-existing coding methods;
- This method garners its most remarkable advantage when aiming for a PSNR of 32 dB, a threshold indicative of sufficient video resource integrity, where profit margins soar to an impressive 17%;
- Notably, the reduction in advantage begins to manifest for PSNR values dipping below 25 dB.

The incremental reduction in bit volume has broader implications, enabling a corresponding 10% reduction in time delays incurred during video resource transmission through information communication networks while ensuring availability. Conversely, in scenarios where the bitrate reduction remains constant, such as a 15-fold reduction, an appreciable 3 dB increase in PSNR is achieved. Thus, it becomes self-evident that the developed method enhances integrity levels for the chosen level of video resource availability when juxtaposed with existing methods.

For video frames characterized by a moderate saturation of detailed information, the employment of the developed method permits an average reduction of 15% in addition operations and 25% in multiplication operations in comparison to existing methods. This, in turn, translates into a commensurate reduction in time delays incurred during the organization of video resource availability, stemming from the encoding process.

Relative to pre-existing methods operationalized on standardized platforms, the encoding method under consideration engenders an average reduction in time delays of approximately 15% under the specified conditions. Consequently, this method conspicuously enhances video resource availability by an average of 15%, all while diligently adhering to the requisite integrity standards (PSNR = 35 dB).

In summation, the encoding method developed and articulated in this study is poised to usher in a transformative era for the enhancement of video resource availability, with a particular emphasis on the preservation of semantic integrity. Its seamless integration into standardized platforms brings forth manifold advantages, including substantial reductions in bit volume, heightened resource availability, and truncated time delays—thus, constituting a monumental stride within the realm of information technology.

Keywords: video resource availability, semantic integrity, permissible correction areas, structural and statistical saturation, video frame segments, block coding, code redundancy.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ВІДЕОРЕСУРСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОДУВАННЯ.....	29
1.1. Обґрунтування необхідності підвищення рівня доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікацій для управління в системі критичної інфраструктури	30
1.2. Встановлення характеристик процесу зменшення бітового об’єму, що мають вплив на доступність та цілісність відеоресурсу.....	37
1.3. Обґрунтування варіанту зменшення бітового об’єму відеоресурсів для забезпечення їх доступності та цілісності.....	43
1.4. Постановка завдань на дослідження.....	48
Висновки за першим розділом.....	50
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ, ЯКІ ЗБЕРІГАЮТЬ СЕМАНТИЧНУ ЦІЛІСНІСТЬ ВІДЕОРЕСУРСУ, В УМОВАХ НЕОБХІДНОГО РІВНЯ ДОСТУПНОСТІ.....	54
2.1. Створення методологічної бази для виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу.....	55
2.2. Розробка методу класифікації мікросегментів за рівнем їх структурно- статистичної насиченості.....	65
2.3. Побудова методу ідентифікації ділянок відеокадру на основі класифікації мікросегментів за рівнем структурно-статистичної насиченості.....	80
2.4. Експериментальне оцінювання розробленого методу ідентифікації сегментів відеокадру для визначення їх значимості з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу.....	86

	15
Висновки за другим розділом.....	95
РОЗДІЛ 3. МЕТОД СИНТАКСИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ ВІДЕОКАДРУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЦІЛІСНОСТІ ТА ДОСТУПНОСТІ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ.....	100
3.1. Обґрунтування концептуальних складових створення формату представлення відеоресурсу для підвищення доступності та цілісності.....	101
3.2. Побудова методу кодування сегментів не значимих за своїм впливом на втрату семантичної цілісності відеоресурсу.....	109
3.3. Розробка методу синтаксичного представлення цілком значимих сегментів, мікросегменти яких мають суттєвий рівень структурно-статистичної насиченості.....	113
3.4. Розробка методу зменшення бітового об'єму значимих сегментів зі змішаним вмістом мікросегментів різного рівня структурно-статистичної насиченості	125
Висновки за третім розділом.....	139
РОЗДІЛ 4. ОЦІНЮВАННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ МЕТОДІВ СТИСКУ ЩОДО СТВОРЕННЯ УМОВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ВІДЕОРЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ.....	145
4.1. Розробка моделі для оцінювання рівня зниження бітового об'єму для розробленого методу кодування відеокадрів з врахуванням типізації сегментів з позиції впливу на збереження семантичної цілісності.....	146
4.2. Порівняльне оцінювання різних методів кодування за рівнем зменшення бітового об'єму відеоресурсу при передачі в інфокомунікаційних мережах.....	151
4.3. Розробка моделі для оцінювання складності процесу кодування за кількістю типових арифметичних операцій.....	153
Висновки за четвертим розділом.....	160
ВИСНОВКИ.....	164

	16
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	172
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	189
Додаток Б. Акт реалізації результатів досліджень.....	194

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВІР	– відеоінформаційний ресурс
ВК	– відеокадр
ДКП	– дискретне косинусне перетворення
ІКС	– інфокомунікаційні системи
ЗСЦ	– збереження семантичної цілісності
ЛДК	– ланцюг допустимої корекції
МРК	– метод рівномірного кодування
МСК	– масив спектральних компонент
ОДК	– область допустимої корекції
ЛДК	– ланцюг допустимої корекції
СКІ	– система критичної інфраструктури
СК	– статистичне кодування
СС	– структурно-статистична
ІКТ	– інфокомунікаційні технології
PSNR	– пікове відношення сигнал/шум

ВСТУП

Актуальність теми. Питання щодо забезпечення обороноздатності держави, стабільного функціонування різних її галузей, та, в першу чергу, систем критичної інфраструктури, пов'язані з ефективним налагодженням та всебічною організацією інформаційного забезпечення [1; 5; 7; 11; 18 – 20; 29]. Головним завданням інформаційного забезпечення є своєчасне надання авторизованим користувачам необхідної і достовірною інформації в потрібному обсязі та якістю за семантичним змістом. Вирішення цього завдання стає вкрай важливим, особливо в кризових ситуаціях та умовах воєнного стану [18 – 20; 29].

Відеоресурс або відеоінформація є одним з важливих видів інформаційних ресурсів, які користуються попитом. Для забезпечення потреб процесу функціонування та управління СКІ використовуються різні формати відеокадрів, а саме : HD, 2K або FullHD, 4K, 8K (8192 × 8192), 10K (10240 × 5760), 12K (11520 × 6480). Наявний діапазон розмірів відеокадрів обумовлено необхідністю забезпечити інформацією з потрібним рівнем повноти (деталізації) для вирішення різних класів завдань в процесі функціонування та управління СКІ, у тому числі в умовах воєнного стану. Таким чином, відеоресурс для існуючих умов життєдіяльності держави набирає чинності державного ВІР [16; 17].

Звідси слідує, що забезпечення безпеки ВІР є невід'ємною складовою загального комплексу завдань щодо підвищення обороноздатності держави. Тут одними з вагомих категорій із забезпечення безпеки відеоресурсів, у тому числі з використанням інфокомунікаційних технологій, є доступність і цілісність.

В кризових умовах та умовах воєнного стану найбільш значимим джерелами загроз постають ті, що зумовлені дією зовнішніх факторів. Сюди перш за все потрібно віднести руйнівні дії противника (протидіючої сторони). В той же час, окрім зовнішніх факторів, загрози втрати доступності

цілісності ВІР можуть виникати безпосередньо в процесі його обробки та передачі з використанням ІКС під час управління в СКІ. Цьому сприяють порушення роботи служб підтримки відео сервісів та умов функціонування ІКС [11; 12; 18 – 20; 29; 50].

Зазначені фактори зумовлені :

- зростаючими вимогами щодо якісних характеристик ВІР (повнота ВІР, розміри відеокадрів, кадрова частота), зниження часових затримок, збільшення складності їх обробки;

- обмеженістю часу, який витрачається на сеанс відеозв'язку або передачі ВІР.

В той же час за допомогою сучасних ІКС створюються можливості щодо забезпечення доступності ВІР згідно з відповідними вимогами лише у разі, якщо відеокадри відповідають форматам CIF, ED, а швидкість передачі не менш ніж 2 Мбіт/с та для форматів HD зі швидкістю їх передачі не менш ніж 10 Мбіт/с. Але у разі, якщо ВІР утворюється відеокадрами з високою деталізацією (формат 4К та більше), то загальні часові затримки в процесі забезпечення доступності ВІР сягають десятків або сотень секунд [12; 14; 50].

Таким чином, діючі ІКС не в змозі повною мірою створити умови для забезпечення доступності ВІР з урахуванням сучасних вимог щодо повноти та цілісності інформації. Отже, враховуючи наявність кризових ситуацій та умову воєного стану, можна стверджувати те, що у разі використання існуючих та перспективних ІКС існують загрози втрати безпеки ВІР за категоріями доступності і цілісності. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що розробка методу кодування для підвищення доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних систем під час управління та функціонування систем критичної інфраструктури складає **актуальне наукове завдання**.

Дослідження складових часових затримок, які виникають в процесі забезпечення доступності ВІР, дозволяють встановити, що ключовим чинником тут є збільшення бітового об'єму відеокадрів. Звідси для

вирішення наукового завдання *пропонується* використовувати технології стиску (зменшення бітового об'єму ВІР).

Питанням розробки методів кодування відеоресурсів для забезпечення їх інформаційної безпеки за категоріями цілісності та доступності присвятило увагу багато вчених. Серед них вітчизняними є : Бараннік В.В., Корченко О.Г, Корольов А.В., Лукін В.В., Толюпа С.В., Хорошко В.О., Юдін О.К. До іноземних вчених слід віднести таких : Вудс Р., Гонсалес Р., Претт У.К., Шеннон К. та інші.

Водночас існуючі стандартизовані технології стиску не створюють повною мірою можливості щодо забезпечення доступності ВІР в умовах збереження достатнього рівня цілісності інформації, а саме [5; 7; 11; 12; 14] :

1) використання стандартизованих технологічних рішень забезпечує рівень стиснення, який може перевищувати 30 - 40 разів. Однак з іншого боку тут відбуваються найбільші спотворення, аж до повної руйнації відеокадру (*втрата цілісності ВІР*);

2) додаткове визначення інших видів надмірності. Тут маються на увазі види надмірності, які не впливають на виникнення помилок. Але застосування їх в стандартизованих процесах на етапі кодування даних в спектральному просторі виявило те, що їх роль в загальній технології має певні обмеження. Відповідно зниження об'єму відносно загального рівня не перевищує 22 %, а для насичених відеокадрів – 7 %. Це є чинником, який призводить до значних сумарних часових затримок t_{total} в процесі забезпечення доступності ВІР з використанням інфокомунікаційних мереж в умовах забезпечення достатнього рівня цілісності ВІР, який за PSNR визначається оцінкою в 35 дБ.

Подальший розвиток технологій стиску пропонується проводити базуючись на стандартизовані концепції. Такий підхід полегшує процес подальшої верифікації інноваційних реалізацій. В цьому напрямку *пропонується* в процесі стандартизованої обробки відеокадрів додатково враховувати нерівномірність розподілу рівня насиченості деталізуючої

інформації [3; 4; 13; 15; 73]. Такий етап дозволить створити умови для подальшого встановлення наступних технологічних реалізацій, а саме щодо визначення ділянок відеокадру :

- з незначним впливом на ЗСЦ ВІР (достатній рівень цілісності ВІР).

Для таких ділянок утворюються можливості відносно : по-перше, виключення етапу пов'язаного з виконанням ДКП-перетворення; по-друге, досягнення найбільшого рівня зниження бітового об'єму. Узагальнюючі наведені можливості, можна стверджувати те, що з'являється потенціал щодо зниження сумарних часових затримок по обробці та передачі кодованих ділянок з достатнім рівнем їх цілісності;

- з суттєвим впливом на ЗСЦ ВІР. Відповідно до цього, для таких ділянок створюються умови для забезпечення потрібного рівня цілісності інформації. Ділянкам відеокадру з означеними властивостями характерні певні особливості щодо структурних та статистичних обмежень, які враховуються стандартизованими процесами кодування. Відповідно, утворюється потенціал для удосконалення методів кодування даних в спектральному просторі, які пов'язані з встановленням структурно-статистичних властивостей та скороченням кількості надмірності відповідного типу. Тобто тут з'являється можливість встановлення більш адекватних моделей опису реальним СС властивостям визначених ділянок відеокадру.

При цьому для зниження кількості арифметичних операцій, які додатково потрібно витратити на типізацію ділянок відеокадру *пропонується* використовувати властивості СС характеру на основі встановлення та параметризації ОДК. В тому числі тут розуміються області незначної зміни значень елементів яскравісної або кольорових складових [3; 4; 13; 15; 73]. Відповідно, зміна рівня насиченості ділянки деталізуючою інформацією буде зумовлювати адекватну зміну розмірів ОДК.

Таким чином, *тематика дисертаційних досліджень*, пов'язана з розробкою методу кодування для підвищення доступності та семантичної цілісності відеоресурсів, є *актуальною*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у рамках: Закону України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 01.01.2022 № 75/98-ВР; Закону України «Про електронні комунікації» від 29.07.2023 № 1089-ІХ; положення «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» (затверджено Кабінетом Міністрів України від 15 травня 2013 р.). Дисертаційні дослідження проводились згідно з планами науково-технічної діяльності Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Харківського національного університету Повітряних Сил, у рамках яких були виконані НДР «Дослідження та розробка моделей, методів і засобів захисту від кібератаки в інформаційних системах та мережах» (№16КП064-03), ДРН №0121U113248 та шифр «Руна» (№0118U000678), в яких автор дисертації був виконавцем.

Мета і задача досліджень. Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні доступності відеоресурсів на основі врахування рівня впливу їхніх сегментів на збереження семантичної цілісності.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Обґрунтувати та розробити метод кількісного оцінювання для типізації сегментів за їх впливом щодо збереження семантичної цілісності ВІР.

2. Обґрунтувати та розробити концепцію створення технології кодування сегментів за диференційованим підходом з врахуванням їх структурно-статистичної насиченості.

3. Розробити метод кодування сегментів відеокадру в залежності від якісного та кількісного їх змісту мікросегментами з різним рівнем структурно-статистичної насиченості та впливу на збереження семантичної цілісності.

4. Здійснити порівняльну оцінку розробленого та існуючих методів за їх характеристиками кодового уявлення відносно забезпечення доступності та цілісності відеоресурсу.

Об'єкт дослідження. Процеси підвищення доступності та цілісності ВІР з використанням інфокомунікаційних систем.

Предмет дослідження. Методи кодування для підвищення доступності ВІР в умовах збереження потрібного рівня їх семантичної цілісності в інфокомунікаційних системах.

Методи дослідження. Обґрунтування необхідності підвищення інформаційної безпеки відеоінформації під час управління в системах критичної інфраструктури за категоріями доступності та цілісності на основі методів стиску базувалося на положеннях теорії інформаційних воєн та методів забезпечення інформаційної безпеки, а також на положеннях теорії оцінки ефективності складних систем. Розробка методу типізації сегментів відеокадру виконувалась із застосуванням теорії фільтрації, цифрової обробки зображень та методів теорії інформації. Розробка методів кодування для підвищення доступності відеоресурсу з врахуванням рівня значимості сегментів на збереження семантичної цілісності проводилося на основі методів структурного та статистичного аналізу відео послідовностей, положень теорії універсального кодування. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів здійснювалася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Удосконалено метод класифікації мікросегментів за трьома типами на основі врахування їх структурно-статистичних властивостей. Базові відмінності методу полягають у тому, що кількісна оцінка рівня структурно-статистичної насиченості мікросегменту здійснюється квадратичною метрикою з використанням параметричної інформації про області допустимої корекції, які встановлюються для його ділянок за допомогою локальної ознаки, що дозволяє виявити локальні нерівномірні структурно-статистичні

залежності в прорідженому двовимірному просторі за зигзаговим напрямком. Це дозволяє створити умови для підвищення достовірності результатів процесу ідентифікації сегментів з позиції їх впливу на ЗСЦ ВІР.

2. Вперше розроблено метод диференційної обробки сегментів в залежності від якісних та кількісних характеристик їх мікросегментів за рівнем структурної та статистичної насиченості. Відмінності: процес усунення надмірності та їх типи обираються в залежності від наявності мікросегментів з різним рівнем структурно-статистичної насиченості; враховується наявність зайвої кількості біт у кодограмах ланцюгів допустимої корекції масивів спектральних компонент; заповнення зайвої кількості біт в кодограмах ланцюгів допустимої корекції масивів спектральних компонент здійснюється в залежності від значимості впливу сегменту на збереження семантичної цілісності відеоресурсу. Це дозволяє забезпечити збільшення рівня доступності до ВІР в заданих умовах відносно забезпечення його семантичної цілісності.

3. Вперше розроблено метод зменшення бітового об'єму для значимих за впливом на ЗСЦ ВІР сегментів на основі усунення надмірності в значимих компонентах ЛДК масивів спектральних компонент. Відмінність методу полягає в тому, що: кодова конструкція компактного представлення будується на основі послідовності кодограм для значимих компонент, після розміщення в їх зайвих бітах складових єдиної кодограми сукупності довжин ЛДК, за допомогою кодової диз'юнкції; єдине кодове представлення для послідовності довжин ЛДК формується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину ЛДК. Це дозволяє скоротити надмірність у кодограмах ЛДК та додатково зменшити бітовий об'єм значимих сегментів відеокадрів без втрати їх семантичної цілісності та втрати стійкості їх кодограм до мережевих помилок.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю в положеннях теорії і практики методів кодування для підвищення доступності та цілісності відеоресурсів.

Практичне значення отриманих результатів досліджень.

Реалізація розробленого методу ідентифікації сегментів за характером їх впливу на ЗСЦ ВІР дозволяє виявити в середньому 90 % значимих сегментів відносно їх загальної кількості у відеокадрі (помилка першого роду не перевищує 10 %); кількість не значимих сегментів, які було помилково визначено, як значимі, не перевищує 13 %. Це створює умови для збільшення рівня доступності ВІР в умовах збереження їх семантичної цілісності.

Для розробленого методу кодування в умовах його інтеграції зі стандартизованими платформами для обробки відеокадрів, що насичені деталізуючою інформацією, забезпечується :

- рівень зменшення бітового об'єму в залежності від кількісного показника PSNR в межах від 3,2 до 33,5 разів;

- додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиснення) в порівнянні з існуючими методами кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага досягається у разі забезпечення рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа PSNR для достатнього рівня цілісності відеоресурсу). Додаткове збільшення значення коефіцієнту стиснення сягає 17 %;

- зниження переваги спостерігається при PSNR на рівні менш ніж 25 дБ;

- за рахунок додаткового зменшення бітового об'єму відеоресурсу створюються умови для відповідного додаткового (у порівнянні з існуючими методами) скорочення на 10 % часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності. У той же час, у разі фіксованого рівня зниження бітового об'єму, наприклад, у 15 разів, досягається додаткове збільшення показника PSNR на 3 дБ.

Відповідно, можна стверджувати, що для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, створюються умови для збільшення рівня цілісності при обраному рівні доступності відеоресурсу.

Часова затримка для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, які використовуються для стандартизованих платформ, в зазначених умовах скорочується, в середньому, на 15 %. Отже розроблений метод кодування ВІР створює умови для збільшення рівня його доступності (в середньому на 15 %) при забезпеченні потреб за рівнем цілісності (рівень PSNR = 35 дБ).

Результати досліджень реалізовані при виконанні дослідно-конструкторських робіт в Державному науково-дослідному інституті МВС України (акт реалізації від 22.06.2023 р.).

Особистий внесок автора. Всі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: в працях [6; 68] – обґрунтовано та розроблено метод компактного синтаксичного представлення сегментів відеокадрів, які: є значимими за впливом на збереження СЦ ВІР; не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень СС насиченості; в праці [8] – розроблено метод зменшення бітового об’єму значимих за ЗСЦ ВІР сегментів, що мають змішаний вміст мікросегментів з різним рівнем СС насиченості; будується технологічна складова, яка полягає у розробці та використанні процесу виключення зайвих біт кодограм ЛДК значимих мікросегментів шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм не значимих мікросегментів; в праці [9] – обґрунтовуються вимоги щодо формування кодових конструкцій для їх передачі в інфокомунікаційних мережах в умовах збереження потрібного рівня цілісності; в працях [10; 76] – проводиться аналіз та обґрунтування умов формування способу контролю бітової інтенсивності в технологіях кодування динамічного потоку на основі врахування статичної надмірності; в працях [12; 50] – проводиться аналіз проблемних аспектів інформаційного забезпечення функціонування систем критичної інфраструктури; в працях [13; 15; 73] – обґрунтовуються напрямки

підвищення безпеки інформаційних ресурсів на основі використання технологій компресійного кодування; в праці [22] – побудовано метод для створення синтаксичного опису компактного представлення сегментів, які не впливають на втрату семантичної цілісності ВІР; в працях [23; 71] – проведено аналіз можливості скорочення статистичної надмірності в послідовностях спектральних компонент; в праці [49] – обґрунтовуються напрямки та будується спосіб скорочення кодової надмірності; в праці [51] – розробляється методика оцінки рівня доступності відеоінформаційного ресурсу; в працях [69; 75] – розроблено метод класифікації мікросегментів трьома типами в залежності від їх структурно-статистичних властивостей.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і були схвалені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах: проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS): матеріали 3 наук.-практ. конф., (Київ 2–3 квітня. 2020 р.); “Development of technology analys for the content semantics,” in Engineer of XXI Century - We Design the Future, Bielsko-Biała, Poland: ATH, 2020; XX Міжнародна науково-технічна конференція “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”, ВОТТП-2020, (Одеса 26-29 червня 2020 року); перспективні напрямки захисту інформації: матеріали IV Наук. практ. конф., (Одеса, 2 - 6 вересня 2020 р.). Одеса: ОНАЗ; 20 Міжн. наук.-практ. конф. "Проблеми информатики и моделирования (ПИМ-2020): (Харків - Одеса, 9 – 14 вересня 2020 р.); VI Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)», (Київ, 27 квітня 2023 р.). Київ: Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка; IEEE 4rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (IEEE AICT 2021); 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine; VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv; IEEE 2nd International

Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковані у 21 науковій праці, серед яких: *одна* колективна монографія у закордонному фаховому виданні, яке індексується в міжнародній базі Scopus, 11 статей, зокрема 3 одноосібних статті, 2 статті, що індексуються в міжнародній базі Scopus, 9 статей опубліковано в фахових журналах категорії Б. Апробація результатів дисертації відображена у 9 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях. Зокрема 3 апробації на конференціях, які входять до складу міжнародної організації IEEE.

Виражаю щиру вдячність професору *Баранніку Володимиру Вікторовичу* за підтримку і наставництво в процесі проведення науково-прикладних досліджень, а також спрямування і підтримку наукових досліджень, що проводились мною в рамках дисертаційних досліджень.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ВІДЕОРЕСУРСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОДУВАННЯ

В першому розділі надано обґрунтування того, що питання забезпечення обороноздатності держави, стабільного функціонування різних її галузей та, в першу чергу, систем критичної інфраструктури пов'язані з ефективним налагодженням та всебічною організацією інформаційного забезпечення. Показано, що одним із затребуваних видів інформаційного ресурсу є відеоінформація або відеоресурс. Встановлено, що одні з вагомих властивостей забезпечення безпеки відеоресурсів, в тому числі з використанням інфокомунікаційних технологій, є доступність та цілісність. Досліджено, що, окрім суттєвих зовнішніх факторів, загрози втрати доступності та цілісності ВІР можуть виникати безпосередньо в процесі його обробки та передачі з використанням ІКС під час управління в СКІ. Отже, враховуючі наявність кризових ситуацій та умов воєнного стану, можна стверджувати, що у разі використання існуючих та перспективних ІКС існують загрози втрати безпеки ВІР за категоріями доступності та цілісності.

За результатами досліджень встановлено, що існуючі стандартизовані технології стиску не створюють повною мірою умов для забезпечення доступності ВІР. Подальший розвиток технологій стиску пропонується проводити базуючись на стандартизованих концепціях. Такий підхід полегшує процес подальшої верифікації інноваційних реалізацій. В цьому напрямку пропонується в процесі стандартизованої обробки відеокадрів додатково враховувати нерівномірність розподілу рівня насиченості деталізуючої інформації.

1.1. Обґрунтування необхідності підвищення рівня доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікацій для управління в системі критичної інфраструктури

Питання щодо забезпечення обороноздатності держави, стабільного функціонування різних її галузей та, в першу чергу, систем критичної інфраструктури пов'язані з ефективним налагодженням та всебічною організацією інформаційного забезпечення [1; 12; 18 – 20; 29; 50].

Головним тут є своєчасне забезпечення авторизованих користувачів необхідною і достовірною інформацією в потрібному обсязі та якістю семантичного змісту. Вирішення цього завдання стає вкрай важливим особливо в кризових ситуаціях та умовах воєнного стану [5; 7; 11; 14].

Одним із затребуваних видів інформаційного ресурсу є відеоінформація або, далі, ВІР. Цьому факту сприяють переваги відеоінформаційної взаємодії над іншими видами обміну інформації в процесі управління в СКІ. Таке обумовлено тим, що [12; 50] :

- відеоінформація формує та надає найбільш повне та концентроване представлення про об'єкти в СКІ;
- в умовах невизначеності ситуації надає можливість найбільш оперативно та адекватно реалізувати функції ідентифікації та розпізнавання;
- створює умови для реалізації окремих функцій щодо прийняття рішень в автоматичному та автоматизованому режимах.

Відповідно, використання відеоресурсів створює умови для реалізації ключових функцій управління в СКІ, в тому числі в кризових ситуаціях та умовах воєнного стану (рис. 1.1).

Найбільш затребуваними складовими ВІР є статична та динамічна відеоінформація. Тут базовою компонентою є відеокадр (відеозображення).



Рис. 1.1. Основні функції управління в системі критичної інфраструктури із залученням відеоресурсів

Частіш за все відеокадр представляє собою повнокольорове відеозображення у форматі RGB [25; 27; 30; 32; 33; 38 – 41; 44 – 48; 52 – 54; 56 – 65].

Для забезпечення потреб процесу функціонування та управління СКІ використовуються різні формати відеокадрів, а саме : HD, 2K або FullHD, 4K, 8K (8192 × 8192), 10K (10240 × 5760), 12K (11520 × 6480). Розміри відеокадрів в Мріх можуть сягати відповідно від 2 Мріх (формат FullHD) до 75 Мріх (формат 12K). Зрозуміло, що при обробці відеопотоку (динамічної послідовності відеокадрів) кількість пікселів зростає до порядку 10^4 Мріх. Наведений діапазон розмірів відеокадрів обумовлений необхідністю забезпечити інформацією з потрібним рівнем повноти (деталізації) для вирішення різних класів завдань в процесі функціонування та управління СКІ, в тому числі в умовах воєнного стану.

Таким чином, відеоресурс для існуючих умов життєдіяльності держави набирає чинності державного ВІР. Отже, звідси слідує, що забезпечення безпеки ВІР є невід'ємною складовою загального комплексу завдань щодо підвищення обороноздатності держави. Основними категоріями інформаційної безпеки є конфіденціальність, доступність та цілісність інформаційного ресурсу. Питання забезпечення конфіденціальності вирішуються шляхом застосування комплексних мір по захисту інформації на таких рівнях : організаційному, технічному, інформаційному [7; 11; 12; 18 – 20; 29; 50].

Тому розглянемо такі складові забезпечення безпеки відеоресурсів як доступність та цілісність. Відносно безпеки ВІР пропонується використовувати такі визначення доступності та цілісності.

Цілісність відеоресурсу (англ. integrity) – здатність зберігати синтаксичний та/або семантичний зміст відеоінформації, в умовах : заданих (діючих) характеристик інфокомунікаційних систем, які використовуються для організації доступності відеоінформації; наявності множини дестабілізуючих факторів та загроз.

Доступність відеоресурсу (англ. availability) – здатність за необхідністю (у разі виникнення потреби) забезпечити своєчасний безперешкодний доступ (отримання) та інформаційний обмін між авторизованими користувачами в умовах виконання вимог щодо : встановлених часових термінів та незалежності від територіальної віддаленості джерел інформації та її споживачів; застосування реально-діючих інфокомунікаційних систем; наявності множини дестабілізуючих факторів та загроз.

Підґрунтям для поширеного застосування відеоінформаційної взаємодії в процесі управління СКІ є розвиток та впровадження ІКС. Базова функція ІКС полягає в створенні умов для забезпечення процесу доступності ВІР, що стосується таких складових, як формування ВІР, підготовка та передача синтаксичного опису ВІР, обробка ВІР, семантичний аналіз ВІР. Одним з ключових етапів в процесі забезпечення доступності ВІР є його передача між абонентами або доставка від джерела інформації до споживачів. Для цього на даний час використовуються різні ІКТ. Приклад сучасних ІКТ наведено в табл. 1.1 [21; 27; 37; 42; 43; 55].

Таблиця 1.1 –

Приклад сучасних інфокомунікаційних технологій для доставки ВІР

ІКТ	Пропускна спроможність, SP	Дальність дії	Середовище передачі
IMT2020/5G	порядку 10 Гбіт/с	0,5-1 км	Бездротові, радіоканал
LTE-A	порядку 1 Гбіт/с	0,5-1 км	
WiMax2	порядку 1 Гбіт/с	0,5-1 км	
HSPA/HSPA+	21,6 Мбіт/с	10-15 км	
UMTS	2 Мбіт/с	10-15 км	
WiFi	150 Мбіт/с	до 3,5 км	
ADSL	24 Мбіт/с	до 0,9 км	

У разі забезпечення процесів доступності та цілісності ВІР в управлінні СКІ з використанням ІКМ встановлюються вимоги, які представлено в

табл. 1.2. Вимоги до складових доступності та цілісності залежать від класу завдань та типу відеоінформаційної взаємодії.

В загальному випадку порушення категорій безпеки ВІР (доступності, цілісності) під час управління та функціонування СКІ в умовах кризових ситуацій та воєнного стану можуть бути обумовлені трьома видами загроз в залежності від їх джерела (рис. 1.2). Тут слід навести такі загрози, що зумовлені [11; 12; 18 – 20; 29] :

- діями суб'єктів доступу (антропогенні погрози);
- технічними засобами (техногенні погрози);
- стихійними джерелами (стихійні загрози).

В кризових умовах та умовах воєнного стану найбільш значимим джерелами загроз постають ті, що зумовлені дією зовнішніх факторів. Сюди перш за все потрібно віднести руйнівні дії противника (протидіючої сторони).

Окрім зовнішніх факторів, загрози втрати доступності та цілісності ВІР можуть виникати безпосередньо в процесі його обробки та передачі з використанням ІКС під час управління в СКІ. Цьому сприяють порушення роботи служб підтримки відео сервісів та умов функціонування ІКС.

Означені фактори зумовлені:

- зростаючими вимогами щодо якісних характеристик ВІР (повнота ВІР, розміри відеокадрів, кадрова частота), зниження часових затримок, збільшення складності їх обробки;
- обмеженістю часу, який витрачається на сеанс відеозв'язку або передачі ВІР.

Для оцінювання можливостей сучасних ІКС щодо створення умов з забезпечення доступності та цілісності ВІР розглянемо залежність загальних часових затримок t_{total} (затримки на обробку та передачу даних) від об'ємів відеокадрів V .

Таблиця 1.2. –

Вимоги до складових забезпечення процесів доступності та цілісності VIP в управлінні СКІ з використанням ІКМ

Тип відеоінформаційної взаємодії	Середньоквадратичні показники відхилення, дБ	Коефіцієнт втрат пакетів k_{loss}	Джитер g	Затримка доставки пакетів Δt
Інтерактивне відео	32 – 45	<1%	<30 мсек	<150 мсек
Потокове відео	32 – 45	<2%	-	4-5 сек
Голосовий зв'язок VoIP	32 – 45	<0,25%	<10 мсек	<150 мсек
Файлообмін та електронний документообіг	Залежить від категорії додатка			
Веб-серфінг	Залежить від категорії додатка			
Команди управління	Відхилення дорівнює 0	→ min	→ min	→ min
Службові дані, опит стану	Відхилення дорівнює 0	→ min	→ min	→ min

Відповідна залежність величини t_{total} від об'ємів відеокадрів V з використанням різних за швидкістю SP передачі ІКС, наведено у вигляді діаграм на рис. 1.3.



Рис. 1.2. Класи загроз ВІР під час управління СКІ в залежності від їх джерела

З аналізу наведених на рис. 1.3 діаграм можна заключити те, що :

За допомогою сучасних ІКС створюються можливості для забезпечення доступності ВІР згідно з відповідними вимогами лише у разі, якщо відеокадри відповідають форматам CIF, ED, а швидкість передачі не менш ніж 2 Мбіт/с та для форматів HD зі швидкістю їх передачі не менш ніж 10 Мбіт/с;

У разі, якщо ВІР утворюється відеокадрами з високою деталізацією (формат 4К та більше), загальні часові затримки в процесі забезпечення доступності ВІР сягають десятків або сотень секунд.

Звідси, діючи ІКС не в змозі повною мірою створити умови для забезпечення доступності ВІР з врахуванням сучасних вимог щодо повноти

та цілісності інформації. Отже, враховуючі наявність кризових ситуацій та умов воєнного стану, можна стверджувати, що у разі використання існуючих та перспективних ІКС існують загрози втрати безпеки ВІР за категоріями доступності та цілісності.

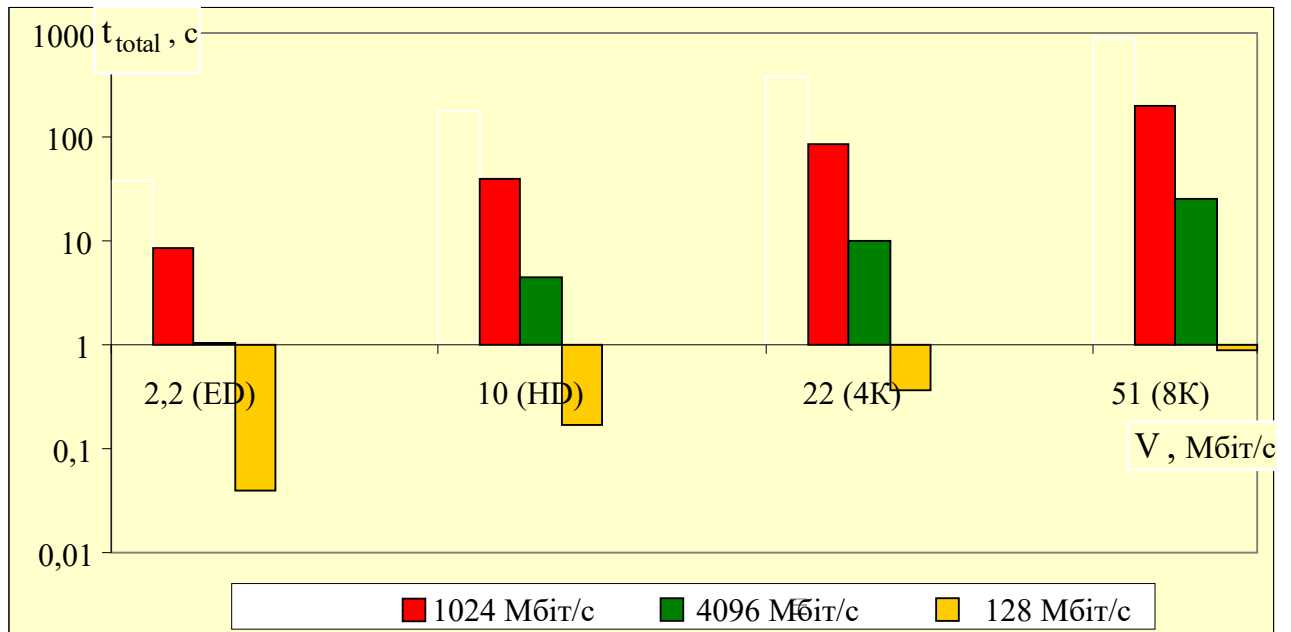


Рисунок 1.3. – Діаграми залежності величини t_{total} від об'ємів відеокадрів V з використанням різних за швидкістю передачі SP ІКС

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що розробка методу кодування для підвищення доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних систем під час управління та функціонування систем критичної інфраструктури складає **актуальне наукове завдання**.

1.2. Встановлення характеристик процесу зменшення бітового об'єму, що мають вплив на доступність та цілісність відеоресурсу

Для вирішення *наукового завдання* **пропонується** розглянути (дослідити) складову загального процесу забезпечення доступності

відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних мереж, яка стосується його обробки та передачі.

В цьому напрямку вагомий вплив на категорію доступності мають часові затримки t_{proc} , t_{trans} , які відповідно виникають в процесі обробки та передачі ВІР інфокомунікаційними мережами. Зазначені часові затримки залежать від множини Ω_{fact} факторів. До основних тут належать наступні :

1) бітові об'єми V_{vres} ВІР, які в свою чергу визначаються за формулою :

$$V_{vres} = \begin{cases} v_{pix} \cdot Q(X) = v_{pix} M \cdot N, & \rightarrow v_{cadr} = 1; \\ v_{cadr} \cdot v_{pix} \cdot Q(X) = v_{cadr} \cdot v_{pix} M \cdot N, & \rightarrow v_{cadr} \geq 2. \end{cases}$$

В цьому виразі прийняті наступні позначення :

$Q(X)$ - розмір відеокадру X , в кількості пікселей, $Q(X) = M \cdot N$;

M, N - кількість рядків та стовбців у відеокадрі X ;

v_{pix} - кількість біт в кодовому описі пікселя;

v_{cadr} - кількість кадрів, що може складати відеоресурс.

2) швидкість SP передачі даних мережами з врахуванням класу інфокомунікаційних технологій, які для цього застосовуються;

3) продуктивність PR обчислювальних систем, які використовуються для реалізації алгоритмічних процесів по обробці відеоданих.

Відповідно, залежності часових затримок t_{proc} , t_{trans} в процесі обробки та передачі відеокадрів мають наступний характер :

$$t_{trans} = \varphi_{trans}(\Omega_{fact}) = \varphi_{trans}(V_{vres}; SP; PR);$$

$$t_{proc} = \varphi_{proc}(\Omega_{fact}) = \varphi_{proc}(V_{vres}; SP; PR).$$

В умовах заданих класів та типів інфокомунікаційних мереж (існуючі або перспективні, тобто задані характеристики SP та PR) на часові t_{proc} ,

t_{trans} затримки, а отже й на загальний рівень доступності ВІР, може вплинути зміна об'єму V_{vres} відеоресурсу в бітах. Це можна описати наступним чином :

$$t_{\text{proc}}, t_{\text{trans}} \sim V_{\text{vres}}.$$

Звідки слідує те, що підвищення рівня доступності ВІР за рахунок зменшення часових затримок в процесі його надання користувачам з використанням ІКМ, можна досягти на основі впровадження технологій скорочення бітового об'єму відеокадрів. Такі технології також позначають як технології стиску відеоданих [3; 4; 13; 15; 73]. Показником, що визначає рівень зниження бітового об'єму за рахунок застосування відповідної технології, є коефіцієнт κ_{comp} стиску. Він задається виразом :

$$\kappa_{\text{comp}} = V_{\text{vres}} / V_{\text{cod}},$$

де V_{cod} - об'єм синтаксичного представлення кодованого ВІР, в бітах.

Відповідно, на цілісність відеоресурсу впливають похибки, які виникають в процесі їх обробки та передачі інфокомунікаційними мережами. Такі похибки можуть бути обумовлені особливостями застосованих технологій обробки відеоданих, та/або мережевими помилками.

В нашому випадку пропонується досліджувати вплив технологій стиску на рівень доступності ВІР. Отже, потрібно розглянути, яким чином процес зменшення бітового об'єму V_{vres} може вплинути на цілісність ВІР. Такий вплив може здійснюватись шляхом внесення помилок в процесі кодування (обробки) відеокадрів та/або впливом на рівень стійкості кодових конструкцій та процесу відновлення щодо дії мережеских помилок. Для кількісного оцінювання рівня такого впливу використовуються ряд показників, а саме :

- кількість v'_{pix} пікселей, які відновлено на приймаючій стороні з похибками. Причому похибки можуть бути обумовлені процесом обробки відеокадрів та мережевими помилками під час його передачі каналами;

- максимальна різниця ΔX_{max} між пікселями початкового X та відновленого X_{rec} відеокадрів

$$\Delta X_{\text{max}} = \max_{\substack{1 \leq i \leq M \\ 1 \leq j \leq N}} |x_{i,j} - x_{i,j}^{(\text{rec})}|,$$

де $|x_{i,j} - x_{i,j}^{(\text{rec})}|$ - різниця за модулем між значеннями пікселей $x_{i,j}$, $x_{i,j}^{(\text{rec})}$ на позиції $(i; j)$ відповідно у початковому та відновленому відеокадрах;

- усереднене середньо квадратичне відхилення (deviation) σ_{dev} значень пікселів відновленого відеокадру щодо початкового

$$\sigma_{\text{dev}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - x_{i,j}^{(\text{rec})})^2}{M \cdot N} \right)^{1/2};$$

- логарифмічна оцінка – пікове відношення сигнал/шум PSNR, в дБ. Оцінюється як десятичний логарифм відношення пікового значення пікселя x_{max} до усередненого середньо квадратичного відхилення σ_{dev} , тобто :

$$\text{PSNR} = 20 \lg \frac{x_{\text{max}}}{\sigma_{\text{dev}}}.$$

Найчастіше, в якості значення x_{max} обирається величина максимального значення пікселя. Відповідно, якщо відома величина v_{pix} , то

$$x_{\text{max}} = 2^{v_{\text{pix}}}. \text{ Наприклад, для } v_{\text{pix}} = 8 \text{ буде } x_{\text{max}} = 256.$$

Відповідно, рівень вносимих помилок, який оцінюється за означеними показниками, визначає рівень втрат інформації, а отже впливає на зниження рівня цілісності ВІР.

Загальна схема впливу характеристик процесу зниження бітового об'єму відеоресурсу на рівень його доступності та цілісності наведено на рис. 1.4 [3 – 5; 7; 13 – 15; 73].

Отже, зменшення бітового об'єму V_{vres} ВІР ще не означає забезпечення підвищення його інформаційної безпеки. Це обумовлено тим, що, як правило, між рівнем κ_{comp} зменшення бітового об'єму та рівнем PSNR втрат цілісності існує зворотна залежність :

$$\kappa_{comp} \sim 1/PSNR .$$

Звідки, слідує те, що зріст величини κ_{comp} , а отже зменшення об'єму V_{cod} може :

- з одного боку, створити умови для зниження часових затримок в процесі забезпечення доступності ВІР;
- з іншого боку, сприяти зниженню величини PSNR до такого рівня, для якого настає втрата інформації.

Відповідно, досягнення потрібного рівня доступності ВІР може призвести до критичного (*critical*) зниження рівня його цілісності.

Звідси, необхідно таким чином здобути зменшення бітового об'єму V_{vres} ,

$$V_{cod} \rightarrow \min \quad \text{або} \quad V_{cod} < V_{vres} ,$$

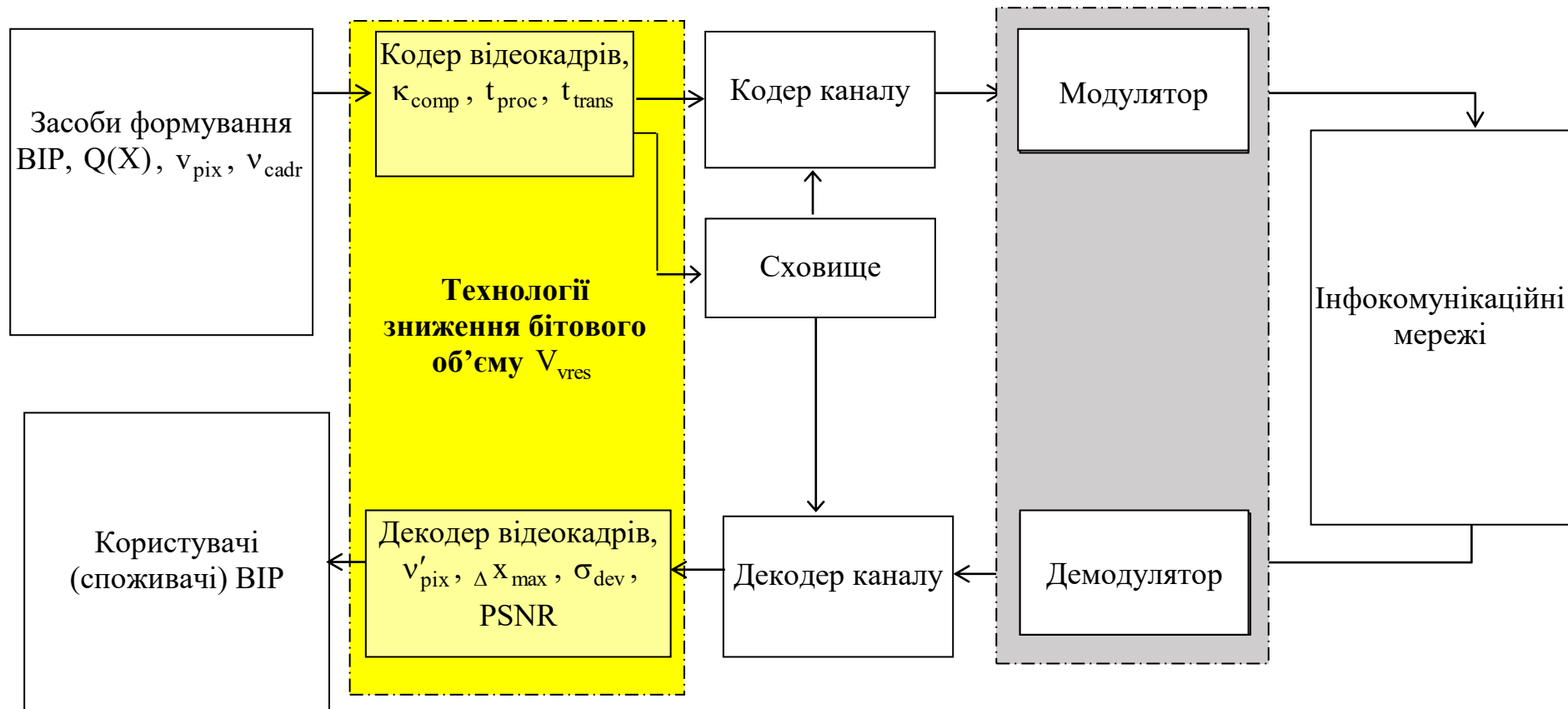


Рисунок 1.4 – Структурна схема процесу обробки та передачі VIP для забезпечення його доступності та цілісності з використанням інфокомунікаційних мереж

що б забезпечити при цьому необхідний рівень цілісності, шляхом виключення втрат інформації, що визначається відповідними вимогами $PSNR_{crit}$ на показник PSNR, тобто

$$PSNR \geq PSNR_{crit}.$$

Тому потрібно провести дослідження різних підходів та класів побудови технологій, методів стиску відеокадрів стосовно створення умов щодо *забезпечення доступності VIP для заданого рівня його цілісності*.

1.3. Обґрунтування варіанту зменшення бітового об'єму відеоресурсів для забезпечення їх доступності та цілісності

В основі процесів зниження бітових об'ємів відеокадрів лежить такий аспект, як встановлення їхніх властивостей та скорочення відповідної кількості надмірності. В загальному випадку може виникати потреба у виявленні різних властивостей відеокадрів. В залежності від цього визначається вид надмірності [5; 7; 11; 14]. В сучасній теорії кодування та обробки відеозображень існує багато класифікацій методів стиску. Найчастіше використовують класифікацію за двома класами в залежності від наявності в процесі обробки механізмів усунення психовізуальної надмірності (врахування особливостей зорової системи щодо сприйняття відеозображень) [44 – 48; 52 – 54; 56 – 65; 114 – 131; 133 – 139]. Тому з позиції вирішення балансу доступність/цілісність VIP ключову роль відіграє процес встановлення виду надмірності та її кількості у відеокадрі. Найбільший вплив тут має надмірність, яка враховує особливості зорової системи. Така надмірність враховується для таких стандартизованих технологій, як платформи кодових сімейств JPEG, JPEG2000 [66; 67; 89 – 112].

Відповідні оцінки за системою «об'єм/спотворення» представлено на рис. 1.5. На цьому рисунку наведені залежності величин $\{V_{cod}; PSNR\}$ для

трьох типів відеокадрів. Тут типи відеокадрів визначаються ступенем їх насиченості деталізуючою інформацією [26; 31; 34 – 36; 70; 72; 74; 77 – 88; 113; 132]. Отже маємо наступні класи: перший, другий та третій, які характеризуються як такі, що містять ділянки відповідно з високою, середньою та низькою концентрацією деталізуючої інформації. На цьому рисунку також наведені відмітки критичних рівнів $PSNR_{crit}$, для яких відбуваються втрати інформації, тобто часткова або повна руйнація відеокадрів.

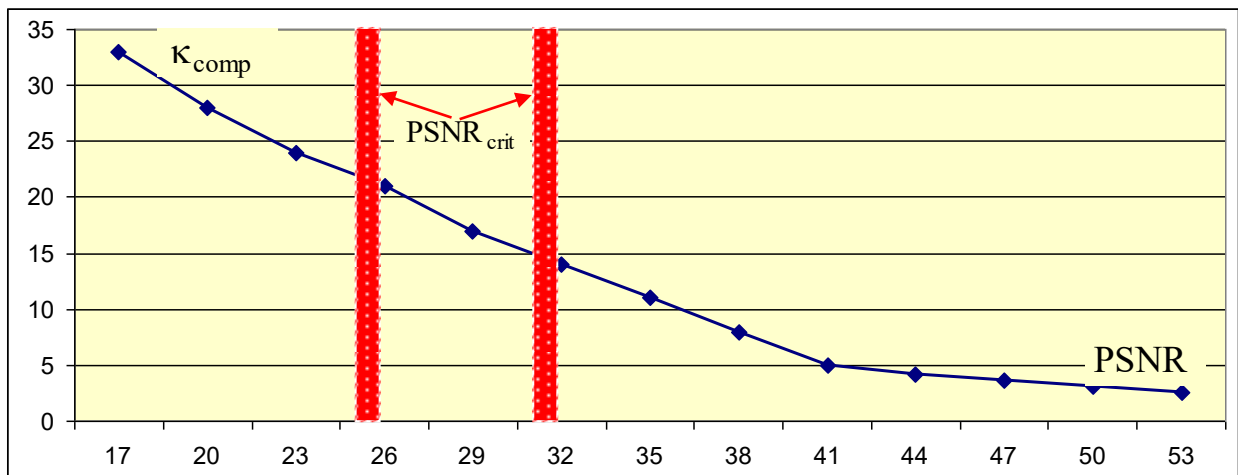


Рисунок 1.5. – Графіки залежності κ_{comp} від PSNR для відеокадрів різного ступеня насиченості деталізуючою інформацією

З одного боку, з використанням стандартизованих концептів можливий найбільший рівень зниження бітового об'єму серед інших методів (методів іншого класу, які не вносять спотворень до VIP). Відповідно, може досягатись такий рівень зниження часових затримок при передачі мережами, який створює умови для забезпечення потрібного рівня доступності VIP.

Як показано на рис. 1.5, рівень стиснення може перевищувати 30 - 40 разів. Однак, з іншого боку, тут проявляється найбільші спотворення, аж до повної руйнації відеокадру (*втрата цілісності VIP*). Це показано на рисунку відповідним зниженням рівня PSNR до рівня нижчого за критичний $PSNR_{crit}$.

Отже, одночасно з врахуванням психовізуальних особливостей потрібно визначати інші види надмірності, а саме такі, що не впливають на виникнення

помилки. До таких відносяться структурні та статистичні види надмірності. Відповідно для цього застосовуються методи [16; 17; 24; 25; 27; 30; 32; 33] :

- 1) методи статистичного кодування (СК), в тому числі метод Хаффмана, метод арифметичного кодування;
- 2) методи, які усувають надмірність, що обумовлена нераціональністю виділення рівномірної кількості біт (кодограми рівномірної довжини (МРК));
- 3) методи кодування за виявленими структурними ланцюгами, а саме : методи LZ-сімейства або LZW-платформи), метод довжин серій (ВМР).

Наведені методи використовуються як складові стандартизованих процесів обробки відеокадрів. Оцінка їх ефективності щодо свого внеску у вирішення балансу об'єм/спотворення представлено у вигляді діаграм на рис. 1.6. Тут наводяться відповідні оцінки у разі використання зазначених кодеків в складі стандартизованих технологій, у тому числі у разі застосування їх до кодування даних в спектральному просторі.

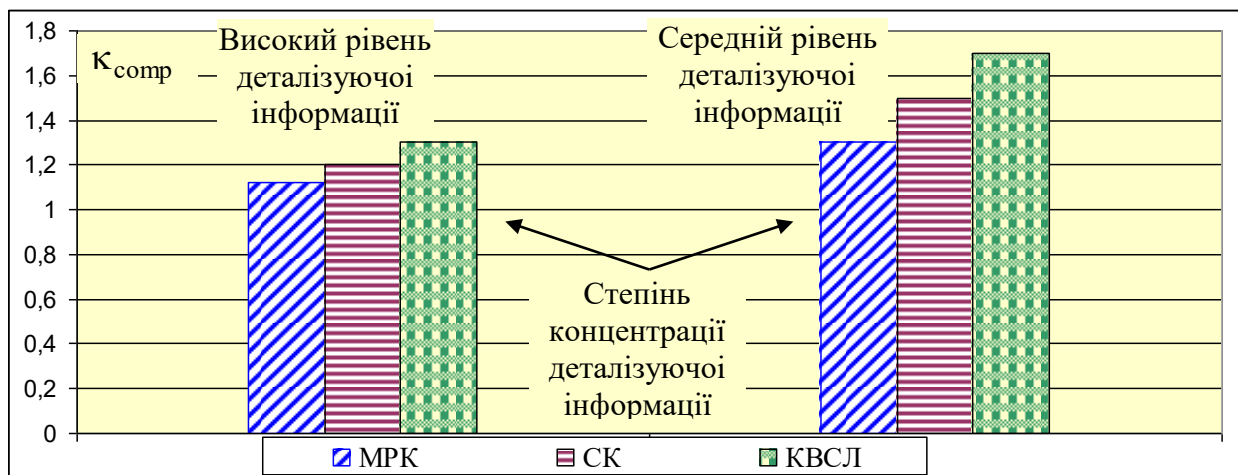


рис. 1.6 – Діаграми залежності K_{comp} для різних методів, які не спотворюють відеоінформацію, відносно спектрального простору

З аналізу даних діаграм можна заключити, що їх роль в загальній стандартизованій технології має певні обмеження. Відповідно, зниження об'єму відносно загального рівня не перевищує 30 %, а для насичених відеокадрів – 10 %.

Це є чинником, який призводить до значних сумарних часових затримок t_{total} в процесі забезпечення доступності VIP з використанням інфокомунікаційних мереж в умовах забезпечення достатнього рівня цілісності VIP, який за PSNR визначається оцінкою в 35 дБ.

Відповідні оцінки щодо часових затримок наведено у вигляді діаграм на рис. 1.7.

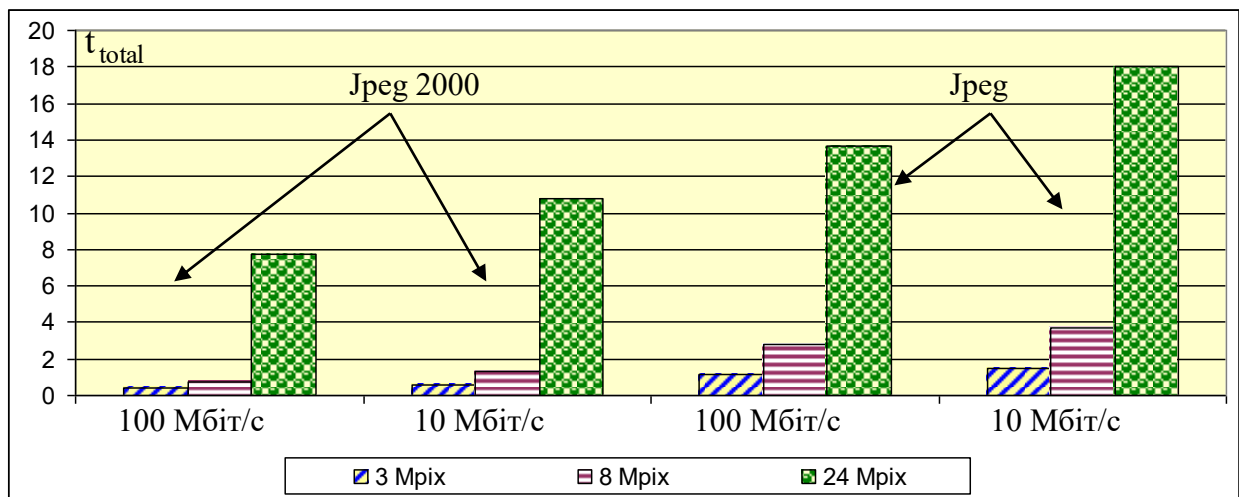


Рисунок 1.7. – Діаграма залежності оцінок сумарних часових затримок t_{total} від величин $Q(X)$ та κ_{comp} з врахуванням характеристик SP, PR сучасних ІКМ для PSNR = 35 дБ

Звідки слідує те, що затримки за сумарним часом t_{total} , який є ключовим для забезпечення доступності VIP, значно перевищують рівень, який визначено з боку користувачів інформації. Наприклад, як наведено на рис. 1.7 часові затримки для доступу до VIP, який визначається бітовим об'ємом в 3 – 24 М біт з використанням сучасних ІКМ (табл. 1.1) складають в середньому від декількох до десятків секунд. Перевищення щодо рекомендованих значень становить від 10 до 60 %.

Причини таких часових затримок в умовах забезпечення достатнього рівня цілісності полягають в наступному :

1. Обмеженість значення коефіцієнту стиску κ_{comp} в режимі усунення обмеженої кількості психовізуальної надмірності. Збільшення бітового об'єму

синтаксичного опису призводить до збільшення часових затримок на передачу даних інфокомунікаційними мережами.

2. Часові затримки в процесі обробки ВІР (кодування та декодування), вага яких зростає зі збільшенням швидкості передачі даних мережними технологіями (до 80 % відносно загальної часової затримки для $SP = 100$ Мбіт/с. Саме в умовах обмеженого скорочення психовізуальної надмірності зменшується кількість даних, які відкидаються (тобто збільшується кількість даних, що поступають на подальшу обробку). З іншого боку, сам по собі процес стандартизованої обробки характеризується певною складністю. Переважно, вона викликана процесом, який пов'язано з виконанням ДКП-перетворення. Складність такого процесу визначається кількістю арифметичних операцій, які потрібні для здійснення перетворення. Розподіл кількості різних типів арифметичних операцій для відеокадру розміром $Q(X)=M \times N$ сегментованого на локальні ділянки розміром $(n \times n)$ наведено в табл. 1.3. Тут розглядаються варіанти різних алгоритмічно-апаратних реалізацій ДКП та хвильових перетворень.

Таблиця 1.3. -
Кількість арифметичних операцій на реалізацію ДКП та хвильового
перетворення

Тип перетворення / тип операцій	Кількість операцій	
	Операції додавання / віднімання	Операції множення / поділу
ДКП (на універсальних обчислювальних пристроях) / речові	$2(n-1)(n)^2$	$2(n)^3$
Швидке ДКП (спец пристрої) / речові	$2n^2 \log_2 n$	$2n^2 \log_2 n$
Хвильове перетворення / частково речові	$\sum_{h=0}^{H-1} \left(\frac{n' \cdot n'}{2^h} - 1 \right)$	$\sum_{h=0}^{H-1} \left(\frac{n' \cdot n'}{2^h} - 1 \right)$

Отже, за наведеними даними в табл. 1.3 слідує, що зі збільшенням розміру ділянок, які трансформуються, кількість арифметичних операцій

зростає за порядком $(n)^3$. Використання швидких алгоритмів перетворення дозволяє поліпшити ситуацію лише на 30 %. Тому часові затримки обробки одного відеокадру, розмір якого становить порядок не менш ніж 16 Мріх, сягають в середньому від декілька секунд до десятки секунд.

Звідки за викладеним матеріалом робиться підсумок стосовно того :

- існуючі стандартизовані технології стиску не створюють повною мірою умов для забезпечення доступності ВІР відповідного розміру відеокадру порядком не менш ніж 16 Мріх для достатнього рівня цілісності інформації;
- існуючі технології стиску відеокадрів потребують свого подальшого вдосконалення.

1.4. Постановка завдань на дослідження

Подальший розвиток технологій стиску пропонується проводити базуючись на стандартизовані концепції. Такий підхід полегшує процес подальшої верифікації інноваційних реалізацій.

В цьому напрямку *пропонується* в процесі стандартизованої обробки відеокадрів додатково враховувати нерівномірність розподілу рівня насиченості деталізуючої інформації. Такий етап дозволить створити умови для подальшого встановлення наступних технологічних реалізацій, а саме щодо визначення ділянок відеокадру :

- з незначним впливом на ЗСЦ ВІР (достатній рівень цілісності ВІР). Для таких ділянок утворюються можливості відносно : по-перше, виключення етапу пов'язаного з виконанням ДКП-перетворення; по-друге, досягнення найбільшого рівня зниження бітового об'єму. Узагальнюючі наведені можливості, можна стверджувати те, що з'являється потенціал для зниження сумарних часових затримок по обробці та передачі кодованих ділянок з достатнім рівнем їх цілісності;

- з суттєвим впливом на ЗСЦ ВІР. Відповідно, для таких ділянок створюються умови для забезпечення потрібного рівня цілісності інформації. Ділянкам відеокадру з зазначеними властивостями характерні певні особливості щодо структурних та статистичних обмежень, які враховуються стандартизованими процесами кодування. Відповідно, з'являється потенціал для удосконалення методів кодування даних в спектральному просторі, який пов'язано з встановленням СС властивостей та скороченням кількості надмірності відповідного типу. Тобто тут з'являється можливість створення більш адекватних моделей опису реальним СС властивостям визначених ділянок відеокадру.

При цьому для зниження кількості арифметичних операцій, які додатково потрібно виконати для типізації ділянок відеокадру, *пропонується* використовувати властивості СС характеру на основі встановлення та параметризації ОДК, в тому числі тут розуміються області незначної зміни значень елементів яскравісної або кольорових складових [3; 4; 13; 15; 73]. Відповідно, зміна рівня насиченості ділянки деталізуючою інформацією буде зумовлювати адекватну зміну розмірів ОДК.

Перевага тут полягає у :

- зменшенні складності процесу обробки, та, відповідно, використання обмеженої кількості арифметичних операцій, яка визначається лінійною залежністю від розміру ділянок

- виключені таких складних операцій, як операції множення та поділу

- обробка лише параметрів ОДК для ділянок з незначним впливом на ЗСЦ ВІР забезпечує скорочення кількості даних, що використовуються для подальшої обробки.

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні доступності відеоресурсів на основі врахування рівня впливу їхніх сегментів на збереження семантичної цілісності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати та розробити метод кількісного оцінювання для типізації сегментів за їх впливом щодо збереження семантичної цілісності ВІР.

2. Обґрунтувати та розробити концепцію створення технології кодування сегментів за диференційованим підходом з врахуванням їх структурно-статистичної насиченості.

3. Розробити метод кодування сегментів відеокадру в залежності від якісного та кількісного їх змісту мікросегментами з різним рівнем структурно-статистичної насиченості та впливу на збереження семантичної цілісності.

4. Здійснити порівняльну оцінку розробленого та існуючих методів за їх характеристиками кодового уявлення відносно забезпечення доступності та цілісності відеоресурсу.

Таким чином, діючі ІКС не в змозі повною мірою створити умови для забезпечення доступності ВІР з урахуванням сучасних вимог щодо повноти та цілісності інформації. Отже, враховуючі наявність кризових ситуацій та умов воєнного стану, можна стверджувати, що у разі використання існуючих та перспективних ІКС існують загрози втрати безпеки ВІР за категоріями доступності та цілісності. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що розробка методу кодування для підвищення доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних систем під час управління та функціонування систем критичної інфраструктури складає *актуальне наукове завдання*.

Висновки

На основі науково-прикладних досліджень, проведених в першому розділі дисертації можна зробити такі висновки :

1. Одним із затребуваних видів інформаційного ресурсу є відеоінформація або ВІР. Для забезпечення потреб процесу функціонування та

управління СКІ використовуються різні формати відеокадрів, а саме : HD, 2K або FullHD, 4K, 8K (8192 × 8192), 10K (10240 × 5760), 12K (11520 × 6480). Найвищий діапазон розмірів відеокадрів обумовлено необхідністю забезпечити інформацією з потрібним рівнем повноти (деталізації) для вирішення різних класів завдань в процесі функціонування та управління СКІ, в тому числі в умовах запровадження воєнного стану.

2. Одні з вагомих категорій забезпечення безпеки відеоресурсів, в тому числі з використанням інфокомунікаційних технологій, є доступність та цілісність. В кризових умовах та умовах воєнного стану найбільш значимими джерелами загроз постають ті, що зумовлені дією зовнішніх факторів. Сюди перш за все потрібно віднести руйнівні дії противника (протидіючої сторони). В той же час, окрім зовнішніх факторів, загрози втрати доступності та цілісності ВІР можуть виникати безпосередньо в процесі його обробки та передачі з використанням ІКС під час управління в СКІ. Цьому сприяють порушення роботи служб підтримки відео сервісів та умов функціонування ІКС.

3. За допомогою сучасних ІКС створюються можливості для забезпечення доступності ВІР згідно відповідних вимог лише у разі, якщо відеокадри відповідають форматам CIF, ED, а швидкість передачі не менш ніж 2 Мбіт/с та для форматів HD зі швидкістю їх передачі не менш ніж 10 Мбіт/с. У разі, якщо ВІР утворюється відеокадрами з високою деталізацією (формат 4K та більше), то загальні часові затримки в процесі забезпечення доступності ВІР сягають десятків або сотень секунд.

Отже, враховуючі наявність кризових ситуацій та умов воєнного стану, можна стверджувати, що у разі використання існуючих та перспективних ІКС існують загрози втрати безпеки ВІР за категоріями доступності та цілісності. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що розробка методу кодування для підвищення доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних систем під час управління та функціонування систем критичної інфраструктури складає *актуальне наукове завдання*.

4. За результатами досліджень встановлено, що існуючі стандартизовані технології стиску не створюють повною мірою умов щодо забезпечення доступності VIP відповідного розміру відеокадру порядком не менш ніж 16 Мріх для достатнього рівня цілісності інформації, а саме :

1) використання стандартизованих технологічних рішень забезпечує рівень стиснення, який може перевищувати 30 - 40 разів. Однак з іншого боку тут відбуваються найбільші спотворення, аж до повної руйнації відеокадру (*втрата цілісності VIP*);

2) додаткове визначення інших видів надмірності, саме таких, що не впливають на виникнення помилок, та застосування їх в стандартизованих процесах на етапі кодування даних в спектральному просторі виявило те, що їх роль в загальній стандартизованій технології має певні обмеження. Відповідно зниження об'єму відносно загального рівня не перевищує 30 %. А для насичених відеокадрів – 10 %. Це є чинником, який призводить до значних сумарних часових затримок t_{total} в процесі забезпечення доступності VIP з використанням інфокомунікаційних мереж в умовах забезпечення достатнього рівня цілісності VIP, який за PSNR визначається оцінкою в 35 дБ.

2. Подальший розвиток технологій стиску пропонується проводити базуючись на стандартизовані концепції. Такий підхід полегшує процес подальшої верифікації інноваційних реалізацій. В цьому напрямку **пропонується** в процесі стандартизованої обробки відеокадрів додатково враховувати нерівномірність розподілу рівня насиченості деталізуючої інформації.

При цьому для зниження кількості арифметичних операцій, які додатково потрібно виконати для типізацію ділянок відеокадру **пропонується** використовувати властивості СС характеру на основі встановлення та параметризації ОДК, в тому числі тут розуміються області незначної зміни значень елементів яскравісної або кольорових складових. Відповідно, зміна рівня насиченості ділянки деталізуючою інформацією буде зумовлювати адекватну зміну розмірів ОДК.

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні доступності відеоресурсів на основі врахування рівня впливу їхніх сегментів на збереження семантичної цілісності.

Результати досліджень, які представлено в цьому розділі, опубліковано та апробовано в наступних наукових працях [3; 4; 13; 15; 12; 50; 73].

РОЗДІЛ 2

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ, ЯКІ ЗБЕРІГАЮТЬ СЕМАНТИЧНУ ЦІЛІСНІСТЬ ВІДЕОРЕСУРСУ, В УМОВАХ НЕОБХІДНОГО РІВНЯ ДОСТУПНОСТІ

Викладається розробка методу виявлення значимих сегментів з позиції ЗСЦ відеоресурсу на основі використання системи правил для прийняття рішення по інформації щодо структурно-статистичних властивостей мікросегментів, які належать до яскравішої складової кольоро-різницевого представлення відеокадру.

Обґрунтовується, що для класифікації мікросегментів відеокадрів і виявлення локальних закономірностей в умовах середнього рівня насиченості відеозображень структурними деталями, більша ефективність досягається у разі застосування формату, який використовує виявлення областей когерентності.

Викладаються основні етапи розробки методу класифікації мікросегментів за рівнем їх структурно-статистичної насиченості за трьома класами. Для кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості всього мікросегменту використовується квадратична метрика. При цьому, здійснюється виявлення та параметризація областей допустимої корекції, які проріджені за локальною ознакою в двовимірному просторі в напрямку зігзагової розгортки.

На основі проведених експериментів показано, що побудований метод ідентифікації ділянок відеокадрів дозволяє автоматично визначати області відеоресурсу, які значимі з позиції збереження семантичної цілісності. Підтверджується достовірність отриманих результатів досліджень.

2.1. Створення методологічної бази для виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу

Досягнення необхідного рівня доступності інформації в умовах збереження показників її цілісності на заданому рівні *пропонується* організувати на основі забезпечення достовірності структурних компонент відповідних об'єктів інтересу. Для цього *пропонується* провести *типізацію* сегментів $S(X)_{i,j}$ відеокадру за ступенем їх значимості з позиції збереження необхідного рівня цілісності об'єктів інтересу. Даний процес дозволяє встановити інформаційну роль кожного сегменту відеокадру з позиції його *інформаційно-вагового внеску* в збереження семантичної цілісності. При цьому інформаційна значимість сегменту повинна враховувати його насиченість структурними характеристиками, які є складовими об'єктів інтересу. Тоді процес ідентифікації сегментів дозволяє виявити значимі сегменти $S'(X)_{i,j}$ з позиції ЗСЦ відеоресурсу. Зрозуміло, що такі сегменти несуть в собі найбільшу семантичну і структурну інформативність. Причому ідентифікацію сегментів пропонується проводити за яскравісною складовою. Це пояснюється тим, що яскравісна складова несе основне інформаційне навантаження серед інших колірних складових в кольорорізницевій моделі представлення відеокадру.

Тут потрібно враховувати, що сегмент є ділянкою відеозображення, який в загальному випадку може містити в собі області (мікро-ділянки) з різними структурно-статистичними характеристиками. В цьому випадку усереднення за всіма характеристиками призведе до отримання грубих оцінок щодо наявності інформаційної значимості всього сегменту (всієї ділянки відеокадру) з позиції формування семантичного образу. У зв'язку з чим, *пропонується* процес ідентифікації здійснювати для локалізованих ділянок відеокадру, що характеризуються більшою однорідністю своїх структурно-статистичних властивостей. Тому, з методологічної позиції, пропонується проводити оцінку інформаційного вкладу сегменту за результатами обробки чотирьох його

мікросегментів (рис. 2.1). Це підвищує ефективність та адекватність таких кількісних оцінок.

В цьому випадку сегменти $S(X)_{i,j}$ поділяються на чотири мікросегменти $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $u = \overline{1, 4}$, а саме:

$$S(X)_{i,j} = \bigcup_{u=1}^{U=4} S(X)_{i,j}^{(u)},$$

для яких здійснюється виявлення структурно-статистичних характеристик.

В свою чергу, мікросегменти $S(X)_{i,j}^{(u)}$, залежно від їх інформаційної значимості (інформаційно-вагового навантаження), **пропонується** класифікувати на три типи. Тут використовується виявлення кількісних оцінок структурно-статистичних характеристик в двійково-синтаксичному описі. Отже тоді маємо наступну класифікацію мікросегментів :

1) мікросегменти з високим рівнем кількісної оцінки структурно-статистичної насиченості. Мікросегменти такого типу відрізняються наявністю значної кількості контрастних яскравісних перепадів між елементами відеопослідовності;

2) мікросегменти із середнім рівнем структурно-статистичної насиченості. Такі сегменти характеризуються наявністю незначної кількості яскравісних перепадів. При цьому амплітуда таких перепадів є відносно не значимою з позиції візуального сприйняття відеокадрів Також для таких мікросегментів характерна наявність областей з плавною зміною яскравості між елементами;

3) мікросегменти з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості. В цьому випадку мікросегменти відрізняються відсутністю різких змін в яскравості між елементами. Такі ділянки відеокадру є однорідними за яскравісним фоном.

Надалі процес виявлення значимих сегментів $S'(X)_{i,j}$ організовується як інтеграція (суперпозиція) кількісних оцінок його мікросегментів. В цьому випадку інтеграційний процес здійснюється за сукупністю результатів кількісної оцінки структурно-статистичних властивостей чотирьох мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $u = \overline{1, 4}$. Це створює умови для ЗСЦ відеоресурсу.

m	n							
	1	2	5	9	1	2	5	9
	3	4	7	12	3	4	7	12
	6	8	11	15	6	8	11	15
	10	13	16	14	10	13	16	14
	1	2	5	9	1	2	5	9
	3	4	7	12	3	4	7	12
	6	8	11	15	6	8	11	15
10	13	16	14	10	13	16	14	

Рисунок 2.1. – Схема структуризації сегмента на чотири локальних області (мікросегменти)

Для організації інтеграційного процесу щодо встановлення рівня значимості сегменту відеозображення з позиції його ЗСЦ, необхідно розробити відповідну *систему вирішальних правил*. Така система повинна надавати оцінку щодо рішення про узагальнене інформаційне навантаження сегменту. Саме тут *пропонується* використовувати кількісні оцінки $\delta(x;u)$ відносно структурно-статистичних властивостей мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(u)}$. Тут $\delta(x;u)$ кількісна оцінка структурно-статистичних властивостей u -мікросегменту.

В основу такої системи вирішальних правил *пропонується* закладати двоструктуровану *диференційно-інтегровану* концепцію з використанням порогового методу визначення класу мікросегменту за кількісною ознакою $\delta(x;u)$ його характеристики. *Диференційно-інтегрована* концепція за дворівневою структурованістю полягає у прийнятті рішень за ієрархічним принципом в залежності від кількості мікросегментів, що мають диференційні структурно-статистичні ознаки. Пороговий метод визначення класу мікросегменту полягає у послідовному порівнянні значення ознаки $\delta(x;u)$ з відповідними межами δ_{\max} та δ_{\min} (граничними значеннями) діапазону значимості. Під діапазоном значимості розуміється такий діапазон $[\delta_{\min}; \delta_{\max}]$, який відповідає значенням кількісних оцінок $\delta(x;u)$ (таких, що $\delta(x;u) \in [\delta_{\min}; \delta_{\max}]$), що визначають мікросегмент як значимий. Відповідно граничні піддіапазони $\delta(x;u) > \delta_{\max}$ та $\delta(x;u) < \delta_{\min}$ містять оцінки величини $\delta(x;u)$, які встановлюють клас мікросегменту відповідно як високо насичений та низько насичений. Величини δ_{\max} та δ_{\min} - встановлюють відповідно верхню та нижню межі діапазону значимості щодо оцінки структурно-статистичної насиченості мікросегменту за яскравісною складовою кольорорізнисцевого опису відеозображення. Прийнята відповідність між рівнем насиченості та позиціонуванням величини $\delta(x;u)$ відносно меж δ_{\max} та δ_{\min} створює адекватне асоціативне сприйняття. Тобто, чим вище рівень насиченості, тим більшим повинно бути значення показника $\delta(x;u)$, та навпаки [3; 69; 75].

Отже, в цьому випадку маємо наступні технологічно-реалізуючи етапи *диференційно-інтегрованої* концепції за дворівневою структурованістю :

1) на першому рівні створюється система ієрархічних порівнянь значення показника $\delta(x;u)$, що встановлює оцінку структурно-статистичної насиченості u -го мікросегменту, з межами δ_{\min} і δ_{\max} діапазону значимості. Відповідно до позиціонування величини $\delta(x;u)$ відносно порогових значень δ_{\min} і δ_{\max} буде

прийматися рішення щодо рівня структурно-статистичної насиченості мікросегменту;

2) на другому рівні будується система вирішальних правил щодо інтегрованої оцінки рівня значимості всього сегменту з позиції ЗСЦ відеоресурсу. При цьому використовується інформація про кількість мікросегментів з різним рівнем структурно-статистичної насиченості (принцип диференційованості).

Розглянемо метод диференційовано-інтегрованого визначення (виявлення) рівня значимості сегментів за інтегрованою оцінкою в умовах, що задовольняють потребам відносно ЗСЦ відеоресурсу. Отже, це другий рівень ієрархічної диференційної концепції. Тут *пропонується* встановлювати наступний принцип ідентифікації сегментів в залежності від кількості та якісної оцінки його мікросегментів за рівнем структурно-статистичної насиченості. Тоді маємо такі операції[3; 69; 75] :

1. Сегмент $S(X)_{i,j}$ якравісної складової відеокадру буде ідентифікуватись як значимий, тобто:

$$S'(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}$$

з позиції ЗСЦ в двох випадках, якщо сегмент містить в собі не менше :

1.1. Одного мікросегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ з високим рівнем структурно-статистичної насиченості, $v_{hl} \geq 1$, а саме:

$$S'(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}, \text{ якщо } v_{hl} \geq 1;$$

1.2. Двох мікросегментів із середнім рівнем семантичної та структурної насиченості (структурно-статистичної насиченості), $v_{ml} \geq 2$, тобто:

$$S'(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}, \text{ якщо } v_{ml} \geq 2.$$

2. У всіх інших випадках сегмент буде ідентифікуватись як незначний для збереження семантичної цілісності відеоресурсу, тобто $S''(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}$.

Узагальнюючи *диференційно-інтегровані* вирішальні правила, отримаємо наступну систему співвідношень, які описують процес ідентифікації сегменту $S(X)_{i,j}$, а саме :

$$S(X)_{i,j} = \begin{cases} S'(X)_{i,j} & \rightarrow v_{hl} \geq 1 \vee v_{ml} \geq 2; \\ S''(X)_{i,j} & \rightarrow v_{hl} = 0 \vee v_{ml} < 2 \vee v_{ll} = 4. \end{cases}$$

Або, через узагальнене співвідношення з використанням знакової функції sign , система виразів буде мати наступний вигляд :

$$\begin{aligned} S(X)_{i,j} := & \text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1)) \cdot S'(X)_{i,j} + \\ & + (1 - \text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1))) \cdot S''(X)_{i,j}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

В цьому виразі оператор $\text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1))$ використовується як фільтр для всіх випадків, коли сегмент встановлюється як значимий з позиції впливу на ЗСЦ відеоресурсу. До речі, вказані випадки визначаються за кількісною оцінкою чотирьох мікросегментів щодо приналежності їх до одного з класів за рівнем структурно-статистичної насиченості. Отже:

$$\text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1)) = \begin{cases} 1 & \rightarrow v_{hl} \geq 1 \vee v_{ml} \geq 2; \\ 0 & \rightarrow v_{hl} = 0 \vee v_{ml} < 2 \vee v_{ll} = 4. \end{cases}$$

Процес послідовності операцій для виявлення значимих сегментів $S'(X)_{i,j}$ за яскравісною складовою організується так (рис. 2.2) [3; 69] :

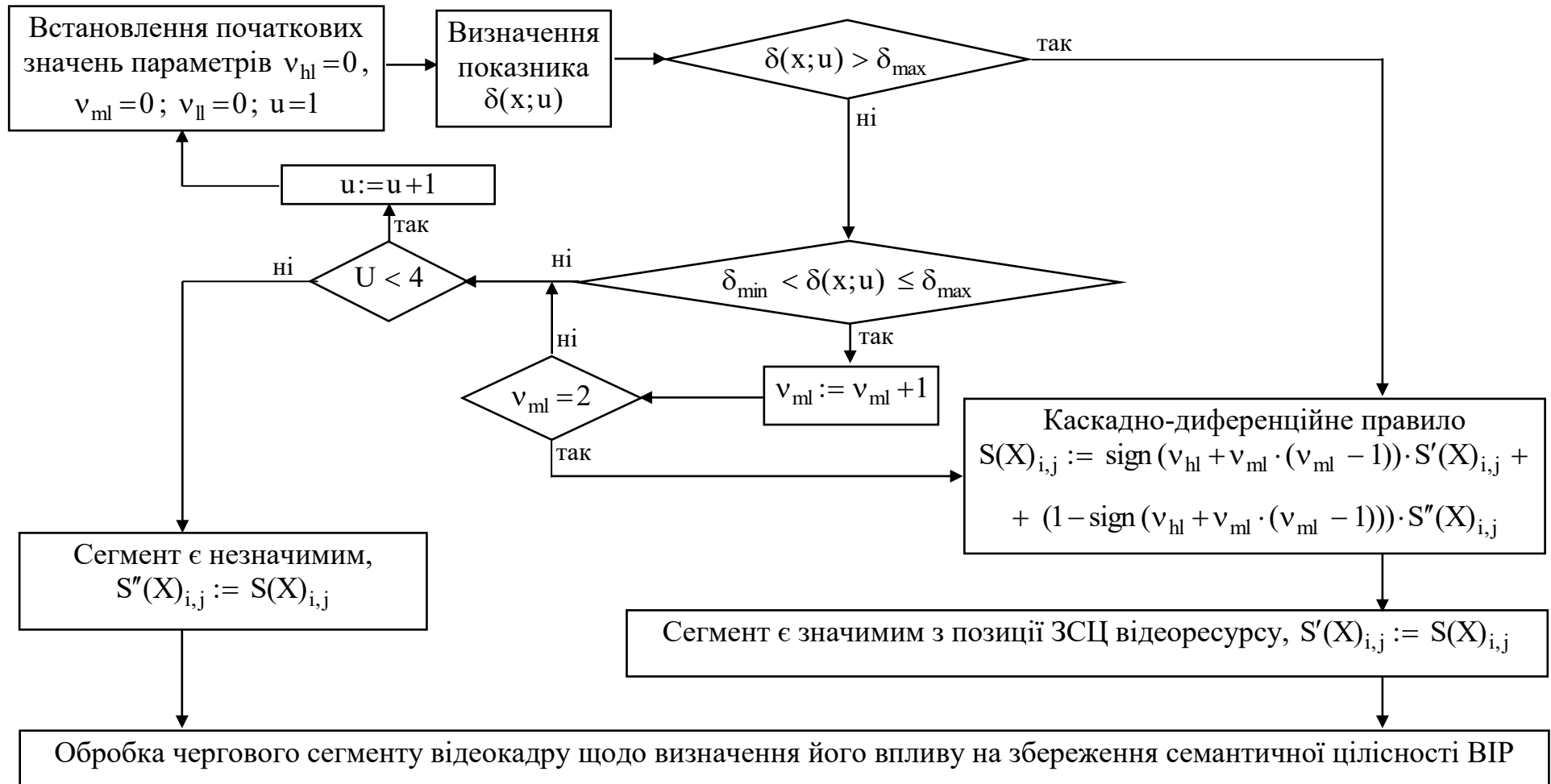


Рисунок 2.2. – Структурно-функціональна схема процесу ідентифікації сегментів на основі кількості мікросегментів з різним рівнем структурно-статистичної насиченості (двох структурований *диференційно-інтегрований* метод)

1. На початковому етапі значення величин v_{hl} , v_{ml} і v_{ll} , які вказують на кількість мікросегментів, що характеризуються відповідно високим, середнім і низьким рівнями структурно-статистичної насиченості, встановлюються рівними нульовому значенню, тобто $v_{hl}=0$, $v_{ml}=0$ і $v_{ll}=0$. Відповідно, величина індексу u поточного мікросегменту встановлюється в початкове значення, $u=1$.

2. Для поточного мікросегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ проводиться визначення показника $\delta(x;u)$ і порівняння його значення з верхнім граничним рівнем δ_{max} . Тут можливі такі варіанти:

2.1. Якщо виконується нерівність $\delta(x;u) > \delta_{max}$, то u -й мікросегмент характеризується як ділянка відеокадру з високим рівнем структурно-статистичної насиченості (виконується умова $v_{hl} \geq 1$). Тоді, відповідно до прийнятих правил ідентифікації, весь сегмент буде значимим з позиції ЗСЦ відеоресурсу, тобто $S'(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}$. Процес ідентифікації вважається завершеним.

2.2. Якщо виконується нерівність $\delta(x;u) < \delta_{max}$, але $\delta(x;u) > \delta_{min}$ або, в загальному випадку, $\delta_{min} < \delta(x;u) \leq \delta_{max}$, то поточний мікросегмент належить до типових ділянок відеокадру, що відрізняються середнім рівнем структурно-статистичної насиченості. В цьому випадку $v_{ml} := v_{ml} + 1$, тобто поточна кількість мікросегментів даного типу збільшується на одиницю. Тоді також можливі два варіанти.

Перший варіант, коли величина буде приймати значення не менше двох, тобто $v_{ml} \geq 2$. Виконання такої умови, згідно з прийнятою системою ідентифікації сегментів, вказує на те, що він є значимим з позиції ЗСЦ, $S'(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}$. Відповідно, процес ідентифікації завершується.

Другий варіант, коли $v_{ml} = 1$, то для ідентифікації $(i;j)$ -го сегменту потрібно організувати обробку наступного мікросегменту. Проводиться перехід до третього етапу процесу обробки.

2.3. Якщо для значення показника $\delta(x;u)$ виконується нерівність $\delta(x;u) < \delta_{\min}$, то поточний мікросегмент визначається як мікросегмент с низьким рівнем структурно-статистичної насиченості.

Тоді для ідентифікації сегменту необхідно провести обробку його наступного мікросегменту. Отже обробка переходить до третього етапу процесу ідентифікації.

2.4. Якщо виконується одна з двох умов, а саме:

$$v_{ml} = 1 \text{ або } \delta(x;u) < \delta_{\min},$$

і, в той же час, для індексу мікросегменту виконується умова (тобто поточний мікросегмент є останнім для сегменту), тобто :

$$u = U=4,$$

то $(i;j)$ -й сегмент є незначимим з позиції ЗСЦ відеоресурсу. Звідки, $S''(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}$. Відповідно, процес ідентифікації поточного сегменту завершується. Обробка переходить до наступного сегменту відеокадру.

3. На третьому етапі величина індексу мікросегменту збільшується на одиницю, тобто $u := u+1$. На обробку надходить наступний мікросегмент $S(X)_{i,j}^{(u+1)}$. Після чого повторюється процедура обробки другого етапу процесу ідентифікації.

За викладеним матеріалом можна зробити такі висновки.

Розроблено метод виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу на основі використання системи вирішальних правил щодо кількісної оцінки структурно-статистичних властивостей мікросегментів яскравісної складової кольорорізнісцевого представлення відеокадру. Система правил з ідентифікації сегментів відеокадру за рівнем їх значимості з позиції збереження необхідного рівня цілісності об'єктів інтересу з урахуванням інформаційної значимості локальних ділянок

(мікросегментів) відеокадру, що характеризуються більшою однорідністю своїх структурно-статистичних властивостей, базується на **диференційно-інтегрований** концепції, яка реалізується наступними технологічно-операційними етапами :

1) на першому рівні створюється ієрархічна система порівнянь значення показника, що кількісно характеризує рівень структурно-статистичної насиченості мікросегментів, з верхню та нижню межами діапазону значимості. Тут встановлюється один із трьох типів мікросегменту, що характеризується відповідно високим, середнім або низьким рівнем структурно-статистичної насиченості на синтаксичному рівні опису;

2) на другому етапі будується **диференційно-інтегрована** система вирішальних правил для оцінки рівня значимості всього сегменту з позиції ЗСЦ відеоресурсу на основі використання інформації про кількість та якісні оцінки мікросегментів із різними структурно-статистичними властивостями.

Це дозволяє з більшою адекватністю оцінити роль кожного сегменту відеокадру з позиції його інформаційно-вагового внеску у збереження семантичної цілісності та скоротити часові затримки на обробку (ідентифікацію). Тут інформаційна значимість сегмента враховує його насиченість структурними характеристиками, які є складовими об'єктів інтересу.

Часові затримки на обробку тут скорочуються внаслідок того, що процес ідентифікації проводиться лише за яскравісною компонентою кольорорізнестевого представлення відеокадру. При цьому враховується те, що яскравісна складова несе основне інформаційне навантаження серед інших колірних складових.

Наукова новизна.

Отримав подальшого розвитку метод ідентифікації сегментів відеокадру за їх значимістю щодо збереження цілісності інформації. Відмінною характеристикою методу є те, що за допомогою порогових рівнів враховується інформаційна значимість локальних ділянок (мікросегментів) відеокадру, які

характеризуються більшою однорідністю своїх структурно-статистичних властивостей, і попередньо класифікуються за трьома типами рівнів насиченості. Це дозволяє з більшою адекватністю оцінити роль кожного сегменту відеокадру з позиції його інформаційно-вагового внеску у збереження семантичної цілісності та скоротити часові затримки на обробку (ідентифікацію).

2.2. Розробка методу класифікації мікросегментів за рівнем їх структурно-статистичної насиченості

Класифікація мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(u)}$ за рівнем їх структурно-статистичної насиченості проводиться на першому етапі *ієрархічної вирішальної* системи щодо надання оцінки відносно ідентифікації всього сегменту $S(X)_{i,j}$. Така класифікація полягає у встановленні належності мікросегменту до одного з трьох типів залежно від рівня його структурно-статистичної насиченості. Класифікація мікросегменту в загальному випадку може здійснюватись в спектрально-просторовому або просторово-часовому представленні сегменту [34; 35; 115]. Переваги спектрально-просторового представлення для класифікації ділянок відеокадру розглядаються в таких наукових працях як [34; 35; 115]. Таки підходи полягають у можливості використання перерозподілу енергії та її концентрації в обмеженій кількості компонент (спектральних складових) трансформанти. Для отримання трансформованого представлення початкового сегменту відеокадру в існуючих технологіях найчастіше використовуються ортогональні перетворення, в тому числі дискретно-косинусне перетворення, перетворення Уолша, Хаара та Адамара. Найбільш обґрунтованим для отримання спектрально-просторового опису сегментів є застосування ДКП. Суть таких підходів зводиться до визначення показників на основі використання інформації по низькочастотним

спектральним складовим. Це обґрунтовується тим, що такі компоненти містять значну кількість інформації про початковий сегмент (мікросегмент).

В той же час, такі підходи для ідентифікації мають певні недоліки, які обумовлені саме використанням спектрально-просторового представлення для отримання інформації відносно побудови метрики та безпосередньої класифікації сегментів (мікросегментів). Основними недоліками тут є наступні [3; 69; 75]:

- руйнується структура синтаксичного представлення, що відповідає семантичному сприйняттю інформації вихідного відеокадру;

- у загальному випадку спектрально-просторовий опис створює усереднене уявлення про структурно-статистичні особливості вихідного мікросегменту. Тоді можливі помилки у прийнятті рішення щодо рівня інформаційного навантаження мікросегменту, особливо в області середньої та високої насиченості структурними елементами об'єктів інтересу;

- існує складність виділення меж між зонами трансформанти, які містять відповідно низькочастотні та високочастотні спектральні складові. Отже, в процесі визначення інтегрованого показника може знижуватись його адекватність щодо реального рівня структурно-статистичної насиченості сегменту (мікросегменту). Особливо такий недолік проявляється у випадку збільшення рівня насиченості початкового відеосегменту;

- відсутня можливість враховувати в процесі ідентифікації сегментів просторово-часову структуру об'єктів інтересу. Це знижує можливість використання технологій, які пов'язані з інтелектуальною обробкою відеозображень не тільки для ідентифікації присутності та рівня складності об'єктів, але і для ідентифікації власне об'єктів інтересу;

- не враховуються локальні зміни всередині мікросегменту. Наприклад, імпульсний сплеск серед області плавної зміни яскравості у спектрально-просторовому представленні буде визначатися як підвищення значень високочастотних складових трансформанти. Тоді помилково приймається рішення про наявність насиченості мікросегменту структурними деталями;

- існує складність класифікації мікросегментів, для яких одночасно проявляються такі властивості: з одного боку середній рівень насиченості структурними елементами, а з іншого боку - відносно низька контрастність щодо основного фону яскравості. Для такого варіанту структурно-просторове представлення може не показати зростання енергетичної складової в області високих частот трансформанти;

Саме на перетворення мікросегменту в просторово-спектральний опис потрібно витратити досить значну кількість арифметичних операцій. Наприклад, у разі використання дискретно-косинусного перетворення потрібно витратити кількість операцій такого порядку, як : n^3 операцій множення та n^3 операцій складання/віднімання. Такі значення можуть становити до 80% від загальної кількості операцій, що витрачається на всю обробку відеокадру. Крім того не досягається можливість щодо попереднього скорочення кількості даних, які поступають на подальше кодування, в умовах ЗСЦ ВІР. Отже, створюються умови для втрати доступності всього відеоресурсу у зв'язку з виникненням суттєвих часових затримок на обробку відеокадру.

Тому існує необхідність організувати класифікацію мікросегментів відеокадру в його просторово-часовому описі. Одним із ефективних підходів тут є використання технологічних механізмів, пов'язаних із виявленням та параметризацією областей, які дозволяють здійснювати корекцію в умовах ЗСЦ ВІР. Надалі будемо використовувати поняття ОДК.

Під *областю допустимої корекції* розуміється локальна ділянка $X(u)^{(\alpha)}$ мікросегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ відеокадру, значення елементів $x(u)_{\alpha,\gamma+\tau}$ якого знаходяться в межах попередньо визначеної локальної ознаки δ_{loc} , яка характеризує допустимі зміни їх значень с позиції відсутності втрат семантичної цілісності відеоресурсу (рис. 2.3). У загальному випадку область допустимої корекції утворюється елементами, що задовольняють заданому порядку послідовності, але не обов'язково є суміжними за розташуванням у мікросегменті (рис. 2.1).

Тут можливі наступні окремі варіанти [3; 69; 75] :

- якщо $\delta_{loc} = 0$, то така область допустимої корекції визначається, як область яскравісної серії;

- якщо $\delta_{loc} < \varepsilon$, де $\varepsilon > 0$ та $\varepsilon \rightarrow \min$, то така область визначається, як область яскравісної однорідності, або область когерентності (coherence region).

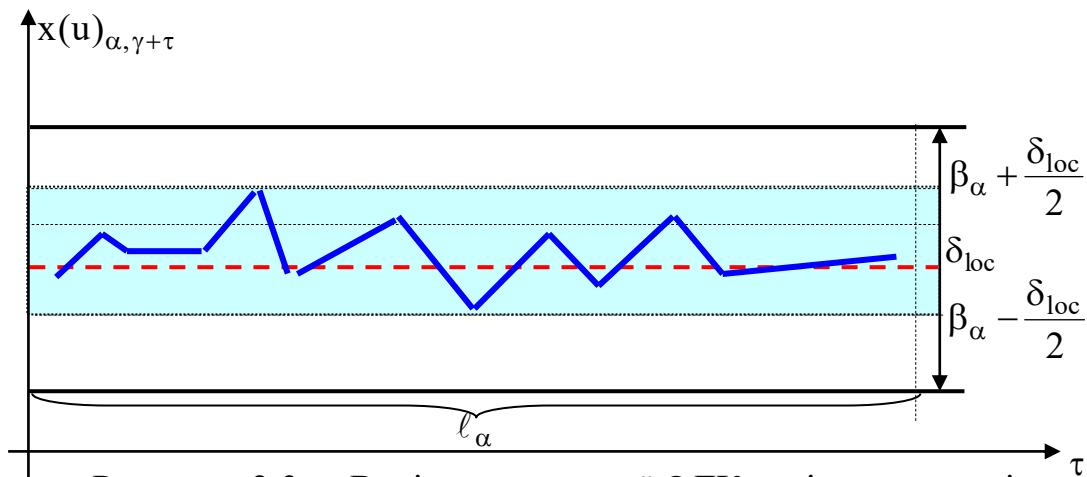


Рисунок. 2.3. – Варіант виявленої ОДК в мікросегменті

Тоді α - область допустимої корекції $X(u)^{(\alpha)}$ для u -го мікросегменту с позиції локальної ознаки δ_{loc} в загальному випадку описується наступним чином :

$$\varphi(\delta_{loc})_{cr} : X(u)^{(\alpha)} = \{x(u)_{\alpha, \gamma}; \dots; x(u)_{\alpha, \gamma + \tau}; \dots; x(u)_{\alpha, \gamma + \ell_{\alpha} - 1}\}, \quad (2.2)$$

$$x(u)_{\alpha, \gamma + \tau} \in [\beta_{\alpha} - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_{\alpha} + \frac{\delta_{loc}}{2}], \quad \tau = \overline{0, \ell_{\alpha} - 1}.$$

Причому послідовність $\{x(u)_{\alpha, \gamma}; \dots; x(u)_{\alpha, \gamma + \tau}; \dots; x(u)_{\alpha, \gamma + \ell_{\alpha} - 1}\}$ складається з елементів, які, в загальному випадку, можуть бути розташовані на різних позиціях у мікросегменті.

В формулі (2.2) прийняти такі позначення :

$\varphi(\delta_{loc})_{cr}$ - функціонал виявлення областей допустимої корекції с позиції завідомо встановленої локальної ознаки δ_{loc} ;

β_α - початкове значення області допустимої корекції або базовий рівень ОДК;

$[\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]$ - діапазон допустимих значень для елементів ОДК;

$x(u)_{\alpha, \gamma+\tau}$ - τ -й елемент α -ї області допустимої корекції для u -го мікросегменту.

ℓ_α - кількість елементів в області допустимої корекції.

Зрозуміло, що якщо для поточного елемента $x(u)_{\alpha, \gamma+\tau}$ області визначеності мікросегменту буде виконуватись друга умова загальної системи :

$$x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} = \begin{cases} x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha}, & \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \in [\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]; \\ x(u)_{\alpha+1, \gamma}, & \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \notin [\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}] \end{cases}$$

то він є першим елементом наступної $(\alpha + 1)$ -ї ОДК, тобто $x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha} = x(u)_{\alpha+1, \gamma}$.

У цьому випадку на основі використання даної системи умов забезпечується виявлення ОДК та їх параметризація (формування параметрів опису). Відповідно, формуються кількісні параметри структурно-статистичних властивостей локальних ділянок мікросегменту з врахуванням диференційності їх насиченості деталями об'єктів інтересу. В загалі виявлення ОДК та їх параметризація дозволяє наступне [3; 69; 75] :

1) провести кількісну оцінку властивостей ділянок мікросегменту стосовно наявності областей кореляції. Такі області характеризуються та встановлюються за допомогою нормованого коефіцієнту кореляції. Наприклад, збільшення значення нормованого коефіцієнта кореляції свідчить про незначну зміну яскравості на цій ділянці, та навпаки. Відповідна плавна зміна яскравості

елементів ділянки мікросегменту свідчить про відсутність структурних деталей об'єктів інтересу. Однак нормований коефіцієнт кореляції не дозволяє ефективно враховувати наявність психовізуальної надмірності у відеозображеннях;

2) встановити ділянки, на яких зміни яскравості не є суттєвими з позиції семантичного сприйняття відеоресурсу (аналізу відеоінформації для визначення об'єктів інтересу). Такі властивості обумовлені наявністю психовізуальної надмірності окремих ділянок відеокадрів. Для опису незначимих яскравісних перепадів з позиції втрат семантичної цілісності відеоресурсу пропонується використовувати локальну ознаку δ_{loc} . Величину δ_{loc} можна трактувати як масштабуючий коефіцієнт. За його допомогою встановлюється послідовність елементів мікросегменту відеокадру, для якої з позиції візуального сприйняття допускається апроксимація значень в сторону збільшення нормованого коефіцієнту кореляції. При цьому, чим більша кількість ℓ_α елементів, для яких утворюється загальна область допустимої корекції, тим менша ймовірність знаходження в мікросегменті структурних компонентів, що описують об'єкти інтересу, і навпаки.

Такий варіант виявлення та параметризації структурно-статистичних властивостей мікросегменту враховує його локальні нерівномірні структурні властивості одночасно з позиції збереження семантичної цілісності, наявності психовізуальної надмірності та внутрішніх кореляційних залежностей для різних класів реалістичних відеокадрів.

Для врахування двовимірного характеру структурно-статистичних та семантичних зв'язків між елементами в зображенні *пропонується* здійснювати обхід елементів в мікросегментах для виявлення областей допустимої корекції за діагональним принципом, як показано на рис. 2.1. В цьому випадку створюється можливість врахувати просторові закономірності відеозображень. Як видно з рис. 2.1 послідовність $X(u)^{(\alpha)}$ може створюватись елементами, які будуть знаходитись в мікросегменті на несуміжних координатах. Такий принцип дозволяє :

1) створити умови для збільшення розмірів області допустимої корекції, тобто збільшити кількість елементів, які є когерентними за локальною ознакою δ_{loc} , у випадку, коли обхід мікросегменту проводиться по рядках або по стовпцях;

2) обмежити зони виявлення областей допустимої корекції локальними ділянками (мікросегментами) відеокадрів для збільшення можливості виявлення саме мікр властивостей.

Базовими параметрами виявлення структурно-статистичних властивостей мікросегменту з використанням формування областей допустимої корекції є локальна ознака δ_{loc} та кількість елементів l_α в ОДК.

За рахунок виявлення ОДК, забезпечується локалізація властивостей відеокадрів у просторовій області. До таких властивостей відносяться статистичні, структурні залежності та психовізуальні особливості візуального сприйняття зображень. Тому опис відеокадру множиною $\Omega_{ст}$, виявлених ОДК, дозволяє :

- кількісно оцінити структурно-статистичні закономірності ділянок мікросегменту;
- класифікувати мікросегмент за ступенем насиченості структурними деталями окремих його ділянок;
- створити умови для оцінки кількості різних видів надмірності (статистичної, структурної та психовізуальної).

Розглянемо формування метрики кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості всього мікросегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ з використанням виявлення та параметризації областей когерентності за локальною ознакою δ_{loc} у двовимірному просторі у напрямку діагональної розгортки.

Тут необхідно враховувати, що метрика має бути адекватною, чутливою та задовольняти вимогам щодо її асоціативної відповідності реальній насиченості мікросегменту структурними компонентами об'єктів інтересу.

Під адекватністю розуміється встановлення безпомилкової відповідності між величиною метрики та рівнем структурно-статистичної насиченості мікросегменту в умовах ЗСЦ.

Під чутливістю будемо розуміти властивість, яка полягає в тому, що зміни реального рівня насиченості мікросегменту повинні відображатися у відповідній зміні (зміні як кількісного значення метрики, так і напрямку зміни такого значення) значення метрики.

Під асоціативною відповідністю розуміється пряма пропорційна залежність між значенням показника та фізичним змістом того процесу, для кількісної оцінки якого він розробляється. Тобто, якщо рівень насиченості збільшується, то й значення показника теж повинне зростати.

У зв'язку з чим пропонується використовувати залежність, що характеризує інформаційну значимість мікросегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ щодо збереження семантичної цілісності в умовах виявлення структурно-статистичних властивостей ділянок на основі формування областей допустимої корекції. Тоді, з позиції запропонованого підходу для виявлення та параметризації структурно-статистичних властивостей, буде наступна відповідність [3; 69; 75] :

1) мікросегменти з високим рівнем структурно-статистичної насиченості відрізняються наявністю значної кількості ділянок, для яких присутні такі властивості :

- значимі яскравісні перепади, які встановлюються також у разі збільшення значення ознаки $\delta_{\text{юс}}$, наприклад $\delta_{\text{юс}} \geq 16$;

- з одного боку, зменшення середньої довжини $\bar{\ell}(u)_\alpha$ ОДК, тобто скорочення кількості її елементів., наприклад, їх кількість $\bar{\ell}(u)_\alpha$ в середньому не перевищує 4, $\bar{\ell}(u)_\alpha \leq 4$. З іншого боку збільшення кількості ділянок, які описуються як ОДК, тобто їх середня кількість $\bar{v}_{\text{ld}}^{(u)}$ буде не менш, ніж 3,

$\bar{v}_{\text{ld}}^{(u)} \geq 3$;

2) мікросегменти, які мають властивість щодо середнього рівня структурно-статистичної насиченості, характеризуються тим, що :

- яскравісні перепади визначаються в умовах, коли $\delta_{\text{loc}} \leq 8$;
- довжина $\bar{\ell}(u)_{\alpha}$ ОДК збільшується відносно попереднього випадку до рівня, коли $3 \leq \bar{\ell}(u)_{\alpha} \leq 8$;
- середня кількість $\bar{v}_{\text{ld}}^{(u)}$ областей допустимої корекції навпаки буде зменшуватись, тобто $2 \leq \bar{v}_{\text{ld}}^{(u)} \leq 3$;

3) мікросегменти з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості відрізняються від двох попередніх випадків тим, що :

- яскравісні перепади можна виявити в основному для значення ознаки δ_{loc} , яке не перевищує рівня $\delta_{\text{loc}} \leq 4$;
- довжина $\bar{\ell}(u)_{\alpha}$ ОДК в середньому буде не менш ніж $\bar{\ell}(u)_{\alpha} > 8$, а їх кількість $\bar{v}_{\text{ld}}^{(u)}$ в середньому скорочується до рівня $\bar{v}_{\text{ld}}^{(u)} \leq 2$.

Отже адекватним буде варіант, коли значення рівня структурно-статистичної насиченості мікросегменту збільшується зі зростанням кількості областей допустимої корекції та зниженням їх довжин. Відповідно, чим більше буде кількість та значимість яскравісних перепадів (переходів), тим більше рівень інформаційного внеску даного мікросегменту у збереження необхідної міри семантичної цілісності всього відеоресурсу. Навпаки, якщо мікросегмент містить області, для яких кількість яскравісних перепадів (переходів) зменшується, а отже збільшується довжина $\bar{\ell}(u)_{\alpha}$ ОДК, та зменшується їх кількість $\bar{v}_{\text{ld}}^{(u)}$, то його роль відносно збереження семантичної цілісності відеоресурсу знижується.

Звідки слідує те, що ключовою складовою мікросегменту є поняття площі двовимірної області. Тобто, необхідно враховувати співвідношення між площею мікросегменту зі значними яскравісними перепадами і площею незначних змін яскравості з позиції локальної ознаки δ_{loc} . Відповідно, чим

більша частота яскравісних перепадів (переходів), та площа, яка відводиться під дрібні деталі та контурні перепади, тим вище рівень структурної та семантичної інформативності.

Тому величина метрики $\delta(x;u)$ повинна залежати від $\ell(u)_\alpha$ і $v_{ld}^{(u)}$. При цьому потрібно забезпечити її чутливість щодо зміни значень величин $\ell(u)_\alpha$ і $v_{ld}^{(u)}$ та ефективну інтерпретацію площі двовимірних областей. Звідси, можливі наступні варіанти :

Перший варіант. Тут можна використовувати квадратичну залежність міри $\delta(x;u)$ від величин $\ell(u)_\alpha$, тобто :

$$\delta(x;u) \sim \ell(u)_\alpha^2.$$

Квадратична метрика дозволяє збільшити відстань між сусідніми рівнями структурно-статистичної насиченості мікросегментів. Тоді метрику $\delta(x;u)$ пропонується оцінювати за такою формулою :

$$\delta(x;u) = \frac{\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_\alpha^2}{v_{ld}^{(u)} \cdot n^2}, \quad (2.3)$$

де $(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_\alpha^2) / v_{ld}^{(u)}$ - середня площа області допустимої корекції;

n^2 - кількість елементів у мікросегменті;

$\ell(u)_\alpha^2$ - оцінка площі α -ї області допустимої корекції;

$v_{ld}^{(u)}$ - кількість ОДК, які виявлені для u -го мікросегменту.

З врахуванням чого величину $(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2) / v_{ld}^{(u)} \cdot n^2$ можна трактувати як середню площу області допустимої корекції, що припадає на один елемент мікросегменту.

Співвідношення (2.3) задає метрику для кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості мікросегменту з використанням виявлення та параметризації областей допустимої корекції з позиції локальної ознаки δ_{loc} та збереження семантичної цілісності.

Розглянемо типове правило класифікації (класифікатор) для встановлення відповідності між рівнем структурно-статистичної насиченості мікросегменту та його класом із позиції обраних порогових значень δ_{min} и δ_{max} . Відповідний

класифікатор за величиною $(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2) / v_{ld}^{(u)} \cdot n^2$ в залежності від $v_{ld}^{(u)}$ та послідовності $\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_{\alpha}^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$ представлено в табл. 2.1.

Дані в табл. 2.1 є усередненими значеннями, які отримані для величин $v_{ld}^{(u)}$ та $\ell(u)_{\alpha}$. Тут параметри ОДК є статистичними даними, отриманими для більшої кількості мікросегментів, які належать відеокадрам з різним ступенем насиченості об'єктами інтересу. Кількість відеокадрів в експерименті було обрано порядку 300. Тобто, кількість мікросегментів, розміром $n=8$ складає порядок 10^8 . В табл. 2.1 класи мікросегментів виділені відповідним забарвленням. Найбільш темне забарвлення відповідає параметрам, які отримані для мікросегментів з високим рівнем структурно-статистичної насиченості та, отже, значним впливом на збереження семантичної цілісності.

Навпаки, відсутність забарвлення відповідає параметрам мікросегменту, що характеризується низьким рівнем структурно-статистичної насиченості. З аналізу табл. 2.1 слідує, що як порогові значення допускається вибирати наступні рівні: $\delta_{max} = 5$ та $\delta_{min} = 2$.

Таблиця 2.1.

Класифікація мікросегментів за величинами $(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2) / v_{ld}^{(u)} \cdot n^2$ в залежності від $v_{ld}^{(u)}$ та послідовності $\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_{\alpha}^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$

$(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2) / v_{ld}^{(u)} \cdot n^2$	$(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2) / v_{ld}^{(u)}$	$\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_{\alpha}^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$	$v_{ld}^{(u)}$
16	16	16; 0	1
7	14,12	15; 1	2
6,2	12,5	14; 2	2
5,5	11	13; 3	2
4	8	8; 8	2
2,4	7,3	10; 3; 3	3
1	4	4; 4; 4; 4	4
0,65	3,25	3; 3; 3; 3; 4	5
0,25	2	2; 2; 2; 2; 2; 2; 2; 2	8

Отже, показник $\delta(x; u)$, який визначається за формулою (2.3), відповідає вимогам щодо адекватності та чутливості реальному рівню структурно-статистичної насиченості. Але не відповідає вимозі щодо асоціативного сприйняття. Це витікає з того, що для високо насиченого рівня виконується наступна умова $\delta(x; u) < \delta_{\min}$, а для рівня низької насиченості мікросегменту - $\delta(x; u) > \delta_{\max}$. Тобто, збільшення значення показника відповідає зниженню рівня реальної насиченості мікросегменту.

Тому для забезпечення асоціації пропонується використовувати другий варіант для визначення показника, а саме, коли враховується зворотна залежність між величинами міри $\delta(x; u)$ та $\ell(u)_{\alpha}$, тобто :

$$\delta(x; u) \sim 1 / \ell(u)_{\alpha}^2.$$

В цьому випадку квадратична метрика визначається наступною формулою :

$$\delta(x; u) = v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / \sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2. \quad (2.4)$$

Показник $\delta(x; u)$ оцінюється як усереднена кількість елементів мікросегменту на одиницю площини області допустимої корекції. Чим більшою буде така величина, тим більше різнорідних яскравісних значимих перепадів знаходиться в мікросегменті. Отже, тим більшим буде рівень насиченості. Тим більше кількість різнорідних областей допустимої корекції буде в мікросегменті, тобто буде зменшуватись середня довжина області, для якої допустима корекція (тобто там де можна встановити допустимий для корекції рівень однорідності). Та навпаки.


Відповідний класифікатор за величиною $v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / \sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2$ в залежності від $v_{ld}^{(u)}$ та послідовності $\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_{\alpha}^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$ представлено в табл. 2.2.

З аналізу співвідношення (2.4) для визначення показника $\delta(x; u)$ та аналізу даних в табл. 2.2, можна заключити, що виконується вимога щодо його асоціативності. Тут для мікросегментів, що мають високий рівень насиченості за структурно-статистичними характеристиками, які визначаються за допомогою локальної ознаки δ_{loc} , відповідає нерівність $\delta(x; u) > \delta_{max}$. Та навпаки, якщо такий рівень насиченості зменшується, то буде виконуватись умова $\delta(x; u) < \delta_{min}$.

Таблиця 2.2.

Класифікація мікросегментів за величинами $v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / \sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_\alpha^2$ в залежності від $v_{ld}^{(u)}$ та послідовності $\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_\alpha^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$

$v_{ld}^{(u)}$	1	2	2	2	2	3	4	5	8
$\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_\alpha^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$	16; 0	15; 1	14; 2	13; 3	8; 8	10; 3; 3	4; 4; 4; 4	3; 3; 3; 3; 4	2; 2; 2; 2; 2; 2; 2; 2
$v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / (\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_\alpha^2)$	0,0625	0,14	0,16	0,18	0,24	0,4	1	1,54	4


 Напрямок збільшення рівня насиченості мікросегменту за показником $\delta(x; u)$, який оцінюється шляхом врахування його структурно-статистичних характеристик

За викладеним матеріалом можна зробити висновок:

1) обґрунтовано, що для класифікації мікросегментів відеокадрів та виявлення локальних закономірностей в умовах середнього рівня насиченості відеозображень структурними деталями, ефективніше використовувати формат виявлення областей допустимої корекції в просторово-часовому представленні відеокадру порівняно з використанням просторово-спектрального його опису;

2) створено метод класифікації мікросегментів за рівнем їх структурно-статистичної насиченості трьома класами на основі формування квадратичної метрики для кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості всього мікросегменту з використанням виявлення та параметризації областей допустимої корекції за локальною ознакою ділянок у двовимірному просторі в діагональному напрямку. Базовими параметрами виявлення структурно-статистичних властивостей мікросегменту з використанням формування областей допустимої корекції є :

- локальна ознака незначимості перепадів яскравості з позиції відсутності впливу на втрати семантичної цілісності відеоресурсу; кількість елементів у виявлених областях допустимої корекції;

- кількість областей допустимої корекції мікросегменту;

3) розроблений підхід щодо виявлення та параметризації структурно-статистичних властивостей мікросегменту враховує його локальні нерівномірні структурні властивості у двовимірному просторі одночасно з позиції збереження семантичної цілісності, наявності психовізуальної надмірності та внутрішніх кореляційних залежностей для різних класів реалістичних відеокадрів.

Наукова новизна.

Удосконалено метод класифікації мікросегментів на основі обліку їх структурно-статистичної насиченості. Базові відмінності методу полягають у тому, що для кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості мікросегменту формується квадратична метрика з використанням параметризації виявлених областей допустимої корекції за локальною ознакою,

прорідженими у двовимірному просторі у напрямку діагональної розгортки. Це дозволяє врахувати локальні нерівномірні структурні властивості мікросегменту у двовимірному просторі одночасно з позиції збереження семантичної цілісності, наявності психовізуальної надмірності та внутрішніх кореляційних залежностей для різних класів реалістичних відеокадрів.

2.3. Побудова методу ідентифікації ділянок відеокадру на основі класифікації мікросегментів за рівнем структурно-статистичної насиченості

Метод ідентифікації ділянок відеокадру на основі класифікації мікросегментів за рівнем структурно-статистичної насиченості для виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу базується на таких методологічних аспектах (рис. 2.4) [3; 69; 75] :

1) визначення синтаксичного опису відеокадру, для якого здійснюється виявлення структурно-статистичних особливостей. Виявлення структурно-статистичних властивостей ділянок мікросегменту проводиться в сегментованому просторово-часовому просторі з використанням яскравісної складової кольорорізницевої моделі опису відеокадру;

2) встановлення технологічних механізмів для виявлення та параметризації структурно-статистичних властивостей (області незначних яскравісних перепадів) ділянок мікросегменту. Тут врахуванням попередньо встановленого значення локальної ознаки δ_{loc} виявляється та формується область допустимої корекції. Після чого здійснюється її параметризація, а саме визначаються такі кількісні характеристики, як: кількість елементів $\{\ell(u)_1^2; \dots; \ell(u)_\alpha^2; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}^2\}$ в областях допустимої корекції, кількість $v_{ld}^{(u)}$ областей допустимої корекції мікросегменту. Відповідно, структурно-статистичні властивості формуються з використанням такого синтаксичного

опису, як послідовність областей допустимої корекції, що будується за локальною ознакою δ_{loc} з проріджуванням у двовимірному просторі по зігзаговій розгортці;

3) формування метрики для кількісної оцінки рівня структурно-статистичної насиченості всього мікросегменту для встановлених форм їх виявлення та параметризації. Тут використовується квадратична метрика за сукупністю довжин областей допустимої корекції, фізичний зміст якої визначається як усереднена кількість значимих яскравісних перепадів мікросегменту, яка припадає на одиницю його площі. Ця метрика враховує співвідношення між площею мікросегменту зі значимими яскравісними перепадами і площею незначних яскравісних змін в межах локальної ознаки δ_{loc} . Це забезпечує вимоги щодо її адекватності та асоціативності реальному структурно-семантичному змісту сегментів відеокадрів;

4) класифікації мікросегментів для встановлення відповідності між рівнем його структурно-статистичної насиченості та відповідним класом з позиції обраних порогових значень;

5) застосування системи вирішальних правил для оцінки значимості всього сегменту з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу за допомогою узагальненого співвідношення за *диференційно-ієрархічним* принципом на основі використання інформації про кількість мікросегментів із різним рівнем структурно-статистичної насиченості.

Структурно-функціональна схема методу ідентифікації ділянок відеокадру шляхом виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу з врахуванням параметрів сукупності областей допустимої корекції представлена на рис. 2.4.

Основні операції, які лежать в основі реалізації методу ідентифікації, описуються наступними функціоналами :

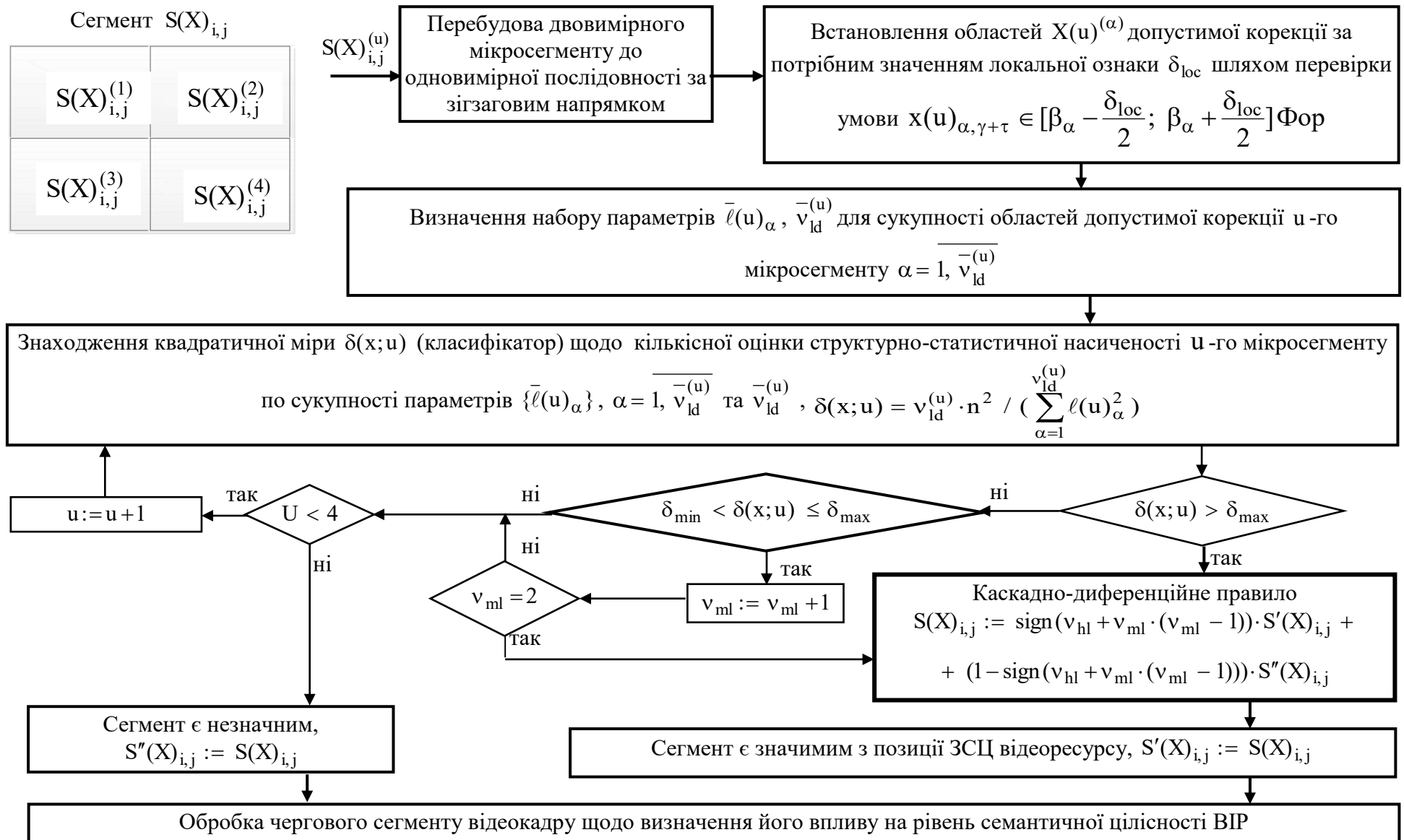


Рисунок 2.4. - Структурна схема методу ідентифікації сегментів відеокадру щодо визначення їх значимості з позиції збереження семантичної цілісності VIP

1. Поточний сегмент $S(X)_{i,j}$ з координатами $(i; j)$ у відеокадрі структурується чотирма мікросегментами, тобто : $S(X)_{i,j} = \{S(X)_{i,j}^{(u)}\}$, $u = \overline{1, 4}$, як показано на рис. 2.4.

2. Для кожного сегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$ надається кількісна оцінка рівня його структурно-статистичної насиченості. Для цього використовується локальна ознака δ_{loc} , за допомогою якої встановлюється та параметризується область допустимої корекції. Це ділянка мікросегменту, для якої допускається нормування (корекція) значень елементів без втрат якості (семантичної цілісності) з позиції візуального сприйняття відеокадру. Для цього виконуються наступні дії :

2.1. Мікросегмент переструктурується з двовимірного представлення в одновимірний в зігзаговому напрямку.

2.2. Встановлення ОДК $X(u)^{(\alpha)}$ за потрібним (заздалегідь обраним) значенням локальної ознаки δ_{loc} . Тут використовується відповідний функціонал $\varphi(\delta_{loc})_{сг}$, який задається наступною системою виразів :

$$x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} = \begin{cases} x(u)_{\alpha, \gamma+\ell_\alpha}, & \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \in [\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]; \\ x(u)_{\alpha+1, \gamma}, & \rightarrow x(u)_{\alpha, \gamma+\tau} \notin [\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]; \end{cases}$$

$$\tau = \overline{0, \ell_\alpha - 1}.$$

Тут ℓ_α - кількість елементів в області допустимої корекції; β_α - початкове значення області допустимої корекції або базовий рівень ОДК; $[\beta_\alpha - \frac{\delta_{loc}}{2}; \beta_\alpha + \frac{\delta_{loc}}{2}]$ - діапазон допустимих значень для елементів ОДК.

Згідно з чим, поточний τ -й елемент $x(u)_{\alpha, \gamma+\tau}$ ділянки u -го мікросегменту належить α -ї області допустимої корекції у разі, якщо виконується перша умова наведеної системи. І навпаки, якщо буде

виконуватися друга умова, то поточний елемент буде першим для формування наступної ОДК.

Отже в результаті таких дій будується ОДК $X(u)^{(\alpha)}$, тобто :

$$\varphi(\delta_{loc})_{cr} : X(u)^{(\alpha)} = \{x(u)_{\alpha,\gamma}; \dots; x(u)_{\alpha,\gamma+\tau}; \dots; x(u)_{\alpha,\gamma+\ell_{\alpha}-1}\}.$$

Після чого визначаються параметри ОДК, а саме їх довжина $\bar{\ell}(u)_{\alpha}$ та загальна кількість $\bar{v}_{ld}^{(u)}$ областей допустимої корекції для всього мікросегменту.

2.3. Формування сукупності ОДК та їх параметрів $\bar{\ell}(u)_{\alpha}$, $\alpha = 1, \bar{v}_{ld}^{(u)}$ та $\bar{v}_{ld}^{(u)}$ для всього мікросегменту, дозволяє перейти до встановлення рівня його структурно-статистичної насиченості, тобто класифікації за трьома класами. Для цього використовується квадратична міра $\delta(x; u)$ (класифікатор), яка задається наступною формулою :

$$\delta(x; u) = v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / \left(\sum_{\alpha=1}^{\bar{v}_{ld}^{(u)}} \ell(u)_{\alpha}^2 \right).$$

2.4. Знайдену кількісну оцінку $\delta(x; u)$ співвідносять з межами δ_{max} , δ_{min} діапазону значимості, а саме :

$$\delta_{min} < \delta(x; u) \leq \delta_{max}.$$

Цим задається *перший етап системи вирішального правила для визначення якісної характеристики мікросегменту*.

У разі виконання такої умови поточний мікросегмент визначається як значимий за середнім рівнем структурно-статистичної насиченості (другий

клас). Якщо величина $\delta(x; u)$ не перевищує нижню межу δ_{\min} , $\delta(x; u) < \delta_{\min}$, то мікросегмент визначається як такий що має низький рівень структурно-статистичної насиченості та належить до третього класу. У разі, коли $\delta_{\max} < \delta(x; u)$, мікросегмент вважається таким, що має високий рівень насиченості (перший клас).

2.5. Другим *етапом системи вирішального правила є обчислення кількості мікросегментів кожного типу (диференціація)*, які входять до поточного сегменту $S(X)_{i,j}$. Даний етап виконується після того, як визначено рівень структурно-статистичної насиченості всіх (чотирьох) мікросегментів. Такий етап реалізується використанням наступного узагальненого співвідношення з *фільтрами*, а саме :

$$S(X)_{i,j} := \text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1)) \cdot S'(X)_{i,j} + \\ + (1 - \text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1))) \cdot S''(X)_{i,j}.$$

В цьому виразі оператор $\text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1))$ використовується як фільтр для всіх випадків, коли сегмент встановлюється як значимий з позиції впливу на ЗСЦ відеоресурсу.

Таке співвідношення дозволяє здійснити оцінку щодо ідентифікації сегменту $S(X)_{i,j}$ за якісними та кількісними характеристиками його мікросегментів за рівнем їх структурно-статистичної насиченості. Ідентифікація сегменту проводиться з позиції оцінки його впливу на ЗСЦ ВІР, та визначається двома станами : значимий вплив або не значимий.

Звідси, якщо виконується одна з двох умов : $v_{hl} \geq 1$ або $v_{ml} \geq 2$, то сегмент $S(X)_{i,j}$ має значимий вплив на семантичну цілісність ВІР, тобто $S'(X)_{i,j} := S(X)_{i,j}$. Тут v_{hl} - кількість мікросегментів з високим рівнем структурно-статистичної насиченості; v_{ml} - кількість сегментів, що мають середній рівень структурно-статистичної насиченості.

3. Після чого, здійснюється ідентифікація наступного сегменту відеокадру.

2.4. Експериментальне оцінювання розробленого методу ідентифікації сегментів відеокадру для визначення їх значимості з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу

Розглянемо експериментальне оцінювання ефективності функціонування методу ідентифікації ділянок відеокадру для виявлення значимих сегментів $S'(X)_{i,j}$ з позиції їх впливу на рівень семантичної цілісності відеоресурсу. Для обробки використовуються відеокадри, які можуть становити відомчий ВІР. В якості прикладу приводяться два відеокадри з різним рівнем насиченості об'єктами, що можуть складати відомчий інтерес, а саме :

1) відеокадр (ВК1) «Літак в небі», що відноситься до типу відеозображень з низьким рівнем насиченості об'єктами інтересу (рис. 2.5);

2) відеокадр (ВК2) «Літак над населеним пунктом», що відноситься до типу відеозображень з високим рівнем насиченості об'єктами інтересу (рис. 2.6).

Отже два відеокадри ВК1 та ВК2 є прикладами відомчого відеоресурсу, які можуть використовуватися в системах критичної інфраструктури. Дані відеокадри подаються на обробку експертами на предмет визначення реальних сегментів, що мають значимий вплив на рівень семантичної цілісності ВІР. Тобто такі сегменти, що включають до себе складові об'єктів інтересу.



Рисунок 2.5. – Початковий відеокадр (BK1) «Літак в небі»

Визначені таким чином сегменти приймаються в якості еталона. Приклади відеокадрів з виділеними сегментами різних типів для відеокадрів BK1 та BK2 представлено відповідно на рис. 2.7, рис. 2.8.



Рисунок 2.6. – Початковий відеокадр (BK2) «Літак над населеним пунктом»

На рис. 2.7, 2.8. використовуються наступні позначення :

☒ - сегменти зі значимим впливом на рівень семантичної цілісності (СЦ) відеокадру, що містять мікросегменти з високим рівнем структурно-статистичної насиченості (мікросегменти першого класу);

☑ - сегменти зі значимим впливом на рівень СЦ відеокадру, що містять значимі мікросегменти за рівнем структурно-статистичної насиченості (мікросегменти другого класу);

☐ - сегменти, що не впливають втрати СЦ відеокадру, та містять мікросегменти з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості (мікросегменти третього класу).

Розглянемо тепер оцінку достовірності (адекватності) та ефективності розробленого методу автоматичної ідентифікації сегментів за рівнем їх впливу на збереження СЦ [3; 69; 75].



Рисунок 2.7. – Відеокадр (ВК1) «Літак в небі» з виділеними в результаті експертної обробки сегментами різного впливу на рівень СЦ ВІР

Для цього з використанням відповідної програмної моделі пропонується провести наступну обробку :

1) здійснюється обробка більш ніж 300 відеокадрів з різним ступенем насиченості об'єктів інтересу.

На прикладі обраних відеокадрів здійснюється початкова сегментація зі структуруванням їх на мікросегменти;



Рисунок 2.8. – Відеокадр (ВК2) «Літак над населеним пунктом» з виділеними в результаті експертної обробки сегментами різного впливу на рівень СЦ ВІР

2) за допомогою розробленого методу проводимо ідентифікацію сегментів за рівнем ЗСЦ ВІР на основі кількісного оцінювання їх мікросегментів за рівнем структурно-статистичної насиченості. Тут у процесі ідентифікації використовуються наступні межі діапазону значимості: $\delta_{\max} = 5$, $\delta_{\min} = 2$, а величина локальної ознаки δ_{loc} щодо незначимих яскравісних перепадів обирається рівною 8, тобто $\delta_{\text{loc}} = 8$;

3) проводимо порівняння двох підходів для ідентифікації сегментів, а саме з використанням експертного оцінювання та розробленого методу. Таке порівняння виконується за кількістю сегментів які безпомилково визначено, як значимі та кількістю сегментів які були помилково визначені як значимі;

4) для візуалізації отриманих результатів застосовується наступна методика :

- для обробки відеокадрів використовується поширена технологія на платформі JPEG. При цьому регулювання втрат якості відеокадру (семантичної цілісності VIP) забезпечується шляхом зміни значення фактора (кроку) квантування. Для досягнення більшої візуальної наочності крок квантування обирається диференційовано та з розмежуванням в залежності від типу мікросегменту;

- сегменти, які мають значимий вплив на СЦ VIP та містять мікросегменти першого типу кодуються з кроком квантування на рівні від 1 до 2;

- сегменти, що мають значимий вплив на СЦ VIP та містять мікросегменти другого типу кодуються з кроком квантування на рівні від 4 до 6;

- сегменти, які на впливають на втрату СЦ VIP та містять мікросегменти третього типу кодуються з кроком квантування на рівні від 10 до 15.

В цьому випадку мікросегменти, які мають значимий рівень структурно-статистичної насиченості, будуть оброблятися без внесення втрат якості з позиції візуального сприйняття. Навпаки, мікросегменти з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості кодуються з найбільшим внесенням втрат якості (розмиття або руйнування змісту мікросегменту). Причому крок квантування обирається на такому рівні, який дозволяє внести вагомі втрати якості та СЦ VIP. Такий факт буде чітко встановлено за результатами візуального оцінювання відновлених відеокадрів.

Усереднені оцінки метрики $\delta(x;u)$ виділених ділянок відеокадру ВК2 зведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Значення усередненої метрики $\delta(x;u)$ у відібраних ділянках відеокадру ВК2

Назва виділеної ділянки відеокадру	Усереднене значення $\delta(x;u)$
область хмар	0,55
область річки	0,76
окрас літака	0,77
зона опори мосту	3,5
зона річного судна	3,7
зона цифрового маркеру літаку	4,5

Аналіз даних у табл. 2.3 показує, що вибрані значення порогів $\delta_{\max} = 5$ та $\delta_{\min} = 2$ забезпечують адекватне виявлення значимих сегментів з використанням розробленого методу їх ідентифікації відповідно до результатів, отриманих за допомогою експертного оцінювання.

Відповідні результати обробки відеокадрів ВК1 та ВК2 з використанням зазначеної методики наведено відповідно на рис. 2.9 та 2.10.

Отже, за результатами обробки та аналізу відновлених відеокадрів, які наведено на рис. 2.9 та 2.10 можна зробити наступні висновки :

- кількість сегментів, які мають значимий вплив на збереження семантичної цілісності відеокадру сягає до 40% для ВК1 та не менш ніж 80 % для відеокадру ВК2;

- візуальне оцінювання відеокадрів ВК1 та ВК2 вказує на те, що в основному всі об'єкти, які можуть складати відомчий інтерес, відновлено без втрат семантичної цілісності та без суттєвих втрат якості. Це свідчить про те, що мікросегменти, які є значимими за рівнем структурно-статистичної насиченості оброблялись з обмеженим кроком квантування. Саме такі значення кроку квантування обираються для значимих мікросегментів за вимогами методики, що використовується для експерименту.



Рисунок 2.9. – Відновлений відеокадр (VK1) «Літак в небі» після кодування з використанням JPEG-платформи в диференційованому режимі щодо вибору кроку квантування для мікросегментів



Рисунок 2.10. – Відновлений відеокадр (VK2) «Літак над населеним пунктом» після кодування з використанням JPEG-платформи в диференційованому режимі щодо вибору кроку квантування для мікросегментів

Звідси, можна стверджувати те, що ідентифікація сегментів є достовірною з позиції візуальної оцінки відновлених відеокадрів, а отже відповідно розроблений метод є адекватним;

- кількість встановлених значимих сегментів відносно реально існуючої кількості сегментів такого типу (які попередньо встановлено в результаті експертної оцінки) сягає 90 %, тобто помилка першого роду в середньому знаходиться на рівні 10 %;

- кількість сегментів, які встановлено як такі, що мають вагомий інформативний вплив на ЗСЦ ВІР, а насправді, навпаки, є незначимими (сегменти, що не впливають на втрати інформації) не перевищує 13 % (помилки другого роду).

Отже, можемо стверджувати наступне.

Достовірність отриманих результатів (адекватність методу ідентифікації сегментів за їх впливом на ЗСЦ) ґрунтується на : збігу практичних результатів щодо визначення інформативних сегментів в процесі обробки відеокадрів з використанням розробленого методу та результатів, які отримані за допомогою експертних оцінок (вважаються еталонними результатами); запроваджені плану проведення експериментів з використанням більш ніж 300 відеозображень, що мають різний характер структурної та семантичної насиченості об'єктами інтересу або відомостями про них; результатах візуальної оцінки відновлених відеозображень з врахуванням попереднього визначення саме інформативних сегментів з використанням розробленого методу їх ідентифікації.

Ґрунтуючись на представленому матеріалі, а саме за експериментальними результатами обробки відеокадрів, які містять об'єкти, що можуть мати відомчий інтерес (тобто є ВІР), можна зробити такі висновки :

1. Показано (в результаті попередньої експертної оцінки), що кількість сегментів, які мають значимий вплив на збереження семантичної цілісності відеокадру сягає від 40 до 80 %. Це підтверджує важливість застосування

технологічного механізму для виявлення та оцінки сегментів за їх впливом на ЗСЦ ВІР. З одного боку, коли кількість інформативних сегментів знаходиться на рівні 40 % створюються умови для додаткового зменшення бітового об'єму відеокадрів, тобто забезпечення умови доступності ВІР за часом його доставки або отримання користувачами (замовниками). З іншого боку, у разі, якщо кількість інформативних сегментів у відеокадрі збільшується до 80 %, то, відповідно, формуються умови для уникнення втрат цілісності ВІР.

2. Експериментальна обробка відеокадрів з використанням програмної моделі для створеної диференційної концепції визначення значимих сегментів з позиції ЗСЦ ВІР показала наступні результати :

- кількість коректно встановлених інформативних сегментів відносно реально існуючої кількості сегментів такого типу (які попередньо встановлено в результаті експертної оцінки) сягає 90 %, тобто помилка першого роду в середньому знаходиться на рівні 10 %;

- кількість сегментів, які встановлено як такі, що мають вагомий інформативний вплив на ЗСЦ ВІР, а насправді, навпаки, є незначимими (сегменти, що не впливають на втрати інформації) не перевищує 13 % (помилки другого роду).

Отже, можемо стверджувати наступне.

Достовірність отриманих результатів (адекватність методу ідентифікації сегментів за їх впливом на ЗСЦ) ґрунтується на : збігу практичних результатів щодо визначення інформативних сегментів в процесі обробки відеокадрів з використанням розробленого методу та результатів, які отримані за допомогою експертних оцінок (вважаються еталонними результатами); запроваджені плану проведення експериментів з використанням більш ніж 300 відеозображень, що мають різний характер структурної та семантичної насиченості об'єктами інтересу або відомостями про них; результатах візуальної оцінки відновлених відеозображень з врахуванням попереднього визначення саме інформативних сегментів з використанням розробленого методу їх ідентифікації.

Висновки за другим розділом

1. Розроблено метод виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу на основі використання вирішальної системи правил для оцінки структурно-статистичних властивостей мікросегментів за яскравісною складовою кольорорізнисцевого представлення відеокадру. Система правил з ідентифікації сегментів відеокадру на основі встановлення інформаційної значимості його локальних ділянок (мікросегментів) з врахуванням впливу на збереження необхідного рівня цілісності об'єктів інтересу, базується на такій концепції :

1) на першому рівні створюється система визначення позиціонування значення кількісного показника (метрики) оцінки структурно-статистичної насиченості ділянок мікросегменту відносно меж діапазону допустимої значимості за рівнем впливу на ЗСЦ відеокадру. Тут встановлюється приналежність поточного мікросегменту до одного з трьох типів, які диференціюються відповідно за високим, середнім або низьким рівнем структурно-статистичної насиченості;

2) на другому рівні будується система вирішальних правил для оцінки значимості всього сегменту з позиції ЗСЦ відеоресурсу на основі використання інформації про кількість мікросегментів із різним рівнем структурно-статистичної насиченості.

Для визначеного процесу досягається скорочення потрібної кількості арифметичних операцій в порівнянні з підходами, які використовують метрики в спектрально-просторовому представленні сегментів. Таке забезпечується тим, що :

по-перше, зменшується кількість елементів мікросегменту, які використовуються для визначення метрики. Це обумовлено виявленням ОДК та її опису з використанням значення відповідної довжини;

по-друге, виключається попередній етап обробки, який пов'язаний з трансформуванням початкового сегменту, тобто отриманням його опису в

спектрально-просторовому просторі (наприклад, з використанням дискретно-косинусного перетворення);

по-третє, для оцінки метрики задіється лише одна з трьох складових кольорорізнесцевої моделі опису відеокадру, а саме яскравісної складової.

2. Розроблено метод класифікації мікросегментів за трьома класами за рівнем їх впливу на ЗСЦ на основі формування квадратичної метрики для кількісної оцінки рівня його структурно-статистичної насиченості з використанням виявлення та параметризації областей допустимої корекції за локальною ознакою ділянок, які *проріджені* у двовимірному просторі в діагональному напрямку. Базовими параметрами виявлення структурно-статистичних властивостей мікросегменту з використанням формування областей допустимої корекції є :

- локальна ознака сплеску яскравості елементів ділянок, корекція яких є допустимою з точки зору відсутності впливу на семантичний зміст мікросегменту (сегменту, відеоресурсу). Така ознака, як правило, встановлюється заздалегідь в залежності від класу прикладних завдань, що вирішуються з використанням відеоресурсу;

- кількість елементів (довжина) виявлених областей допустимої корекції;

- кількість областей допустимої корекції для мікросегменту.

3. Розроблений метод ідентифікації ділянок відеокадрів на основі виявлення та параметризації областей допустимої корекції дозволяє автоматично визначати області відеоресурсу, які мають виражені контрастні, структурні та яскравісні перепади. Залежно від встановлених порогових значень, що визначають рівень семантичної складності, досягається адекватне виділення значимих областей відеокадру. Це створює умови для :

- збереження семантичної цілісності відеоресурсу саме за рахунок визначення сегментів (мікросегментів), які мають на це вагомий вплив;

- зменшення бітового об'єму синтаксичного (кодованого) представлення відеоресурсу саме шляхом встановлення сегментів

(мікросегментів), які не впливають на втрати семантичної цілісності відеоресурсу.

4. Показано (в результаті попередньої експертної оцінки), що кількість сегментів, які мають значимий вплив на збереження семантичної цілісності відеокадру сягає від 40 до 80 %. Це підтверджує вагомість застосування технологічного механізму для виявлення та оцінки сегментів за їх впливом на ЗСЦ ВІР. З одного боку, коли кількість інформативних сегментів знаходиться на рівні 40 % створюються умови для додаткового зменшення бітового об'єму відеокадрів, тобто забезпечення умови доступності ВІР за часом його доставки або отримання користувачами (замовниками). З іншого боку, у разі, якщо кількість інформативних сегментів у відеокадрі збільшується до 80 %, то, відповідно, формуються умови для уникнення втрат цілісності ВІР.

Експериментальна обробка відеокадрів з використанням програмної моделі для створеної *диференційно-інтегрованої* концепції визначення значимих сегментів з позиції ЗСЦ ВІР показала наступні результати :

- кількість коректно встановлених інформативних сегментів відносно реально існуючої кількості сегментів такого типу (які попередньо встановлено в результаті експертної оцінки) сягає 90 %, тобто помилка першого роду в середньому знаходиться на рівні 10 %;

- кількість сегментів, які встановлено як такі, що мають вагомий інформативний вплив на ЗСЦ ВІР, а насправді, навпаки, є незначимими (сегменти, що не впливають на втрати інформації) не перевищує 13 % (помилки другого роду).

Отже, можемо стверджувати наступне.

Достовірність отриманих результатів (адекватність методу ідентифікації сегментів за їх впливом на ЗСЦ) ґрунтується на : збігу практичних результатів для визначення інформативних сегментів в процесі обробки відеокадрів з використанням розробленого методу та результатів, які отримані за допомогою експертних оцінок (вважаються еталонними результатами); проведенні експериментів з використанням більш ніж 300

відеозображень, що мають різний характер структурної та семантичної насиченості об'єктами інтересу або відомостями про них; результатах візуальної оцінки відновлених відеозображень з врахуванням попереднього визначення саме інформативних сегментів з використанням розробленого методу їх ідентифікації.

Наукова новизна.

1. Удосконалено метод класифікації мікросегментів за трьома типами на основі врахування їх структурно-статистичних властивостей. Базові відмінності методу полягають у тому, що кількісна оцінка рівня структурно-статистичної насиченості мікросегменту здійснюється квадратичною метрикою з використанням параметричної інформації про області допустимої корекції, які встановлюються для його ділянок за допомогою локальної ознаки, що дозволяє виявити локальні нерівномірні структурно-статистичні залежності в прорідженому двовимірному просторі за зигзаговим напрямком. Це дозволяє створити умови для підвищення достовірності результатів процесу ідентифікації сегментів з позиції їх впливу на ЗСЦ ВІР.

2. Отримав подальший розвиток метод ідентифікації сегментів відеокадру для визначення їх значимості з позиції збереження семантичної цілісності ВІР. Відмінною характеристикою методу є те, що за допомогою узагальненого співвідношення реалізується два рівня структурованості (мікросегмент - сегмент) для встановлення інформаційно-вагового впливу сегменту на ЗСЦ ВІР на основі диференційно-інтегрованого принципу, а саме в залежності від кількості та типу значимості мікросегментів за їх структурно-статистичною насиченістю. Це дозволяє створити умови для одночасного збереження семантичної цілісності ВІР та підвищення його доступності (формується можливість для скорочення часових затримок на обробку відеокадру та додаткове зменшення його бітового об'єму).

Практична значимість

Програмна реалізація розробленого методу ідентифікації сегментів щодо характеру їх впливу на ЗСЦ ВІР дозволяє виявити в середньому 90 %

значимих сегментів відносно їх загальної кількості у відеокадрів (помилка першого роду не перевищує 10 %); кількість не значимих сегментів, які було помилково визначено, як значимі не перевищує 13 %. Це створює умови для збільшення рівня доступності ВІР в умовах збереження їх семантичної цілісності.

Основні науково-прикладні результати, які викладено в другому розділі дисертації апробовано та опубліковано в таких наукових працях [3; 69; 75].

РОЗДІЛ 3

МЕТОД СИНТАКСИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ ВІДЕОКАДРУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЦІЛІСНОСТІ ТА ДОСТУПНОСТІ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ

Обґрунтовано необхідність використання технологічного рішення сімейства JPEG у якості базової стандартизованої платформи. Це утворює концептуальну платформу для обробки та побудови формату представлення відеоресурсу для підвищення доступності та цілісності. Викладаються основні етапи побудови методу для створення синтаксичного опису компактного представлення сегментів, які не впливають на втрату семантичної цілісності ВІР. Надається обґрунтування та приводяться основні етапи розробки методу компактного синтаксичного представлення сегментів відеокадрів, які є значимими за впливом на збереження СЦ ВІР та не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень СС насиченості. Показується, що зменшення бітового об'єму досягається на основі скорочення в процесі кодування кількості надмірності наступних видів: структурної за обмеженням на максимальну довжину ЛДК в МСК; кодової за наявності зайвої кількості старших біт в кодограмах значимих компонент. Розроблюється метод зменшення бітового об'єму значимих за ЗСЦ ВІР сегментів, що мають змішаний вміст мікросегментів з різним рівнем СС насиченості. Базова технологічна складова тут полягає у розробці та використанні процесу виключення зайвих біт кодограм ЛДК значимих мікросегментів шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм не значимих мікросегментів.

3.1. Обґрунтування концептуальних складових створення формату представлення відеоресурсу для підвищення доступності та цілісності

Створення формату представлення ВІР *пропонується* організувати з врахуванням того, що [10; 23; 49; 71; 76] :

1. Необхідно використовувати базову технологію однієї із стандартизованих платформ для обробки відеокадрів. Це дозволить зменшити складність інтеграції розробленого методу в існуючі інфокомунікаційні системи та використовувати для його реалізації існуючу базову апаратно-програмну платформу.

2. Попередньо отримана інформація щодо рівня впливу їх сегментів на ЗСЦ. Відповідно, відомою є наступна інформація про сегменти $S(X)_{i,j}$ (де $i=1, \overline{M/m}$, $j=1, \overline{N/n}$) відеокадру :

- оцінка типів значимості мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $u = \overline{1, 4}$ за рівнем їх насиченості за СС залежностями, які встановлюються за допомогою локальної ознаки δ_{loc} , виявлення та параметризації ОДК $X(u)^{(\alpha)}$. А саме : сегмент $S'(X)_{i,j}$, що значимо впливає на збереження СЦ ВІР, та сегмент $S''(X)_{i,j}$, який не впливає на втрати СЦ. Тут $X(u)^{(\alpha)}$ - α -а область допустимої корекції для u -го мікросегменту з позиції локальної ознаки δ_{loc} :

$$X(u)^{(\alpha)} = \{x(u)_{\alpha,\gamma}; \dots; x(u)_{\alpha,\gamma+\tau}; \dots; x(u)_{\alpha,\gamma+l_{\alpha}-1}\};$$

$x(u)_{\alpha,\gamma+\tau}$ - τ -й елемент α -ї області допустимої корекції для u -го мікросегменту;

l_{α} - кількість елементів в області допустимої корекції;

β_{α} - початкове значення (*базовий рівень*) області допустимої корекції або базовий рівень ОДК;

- сукупність $\{\delta(x;u)\}$ значень квадратичних показників для чотирьох мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $u = \overline{1, 4}$, що дозволяють зробити їх відповідне кількісне оцінювання;

- кількість v_{hl} , v_{ml} та v_{ll} мікросегментів, які характеризуються відповідно високим, середнім і низьким рівнями структурно-статистичної насиченості;

- сукупність параметрів $v_{ld}^{(u)}$, $\{\ell(u)_1; \dots; \ell(u)_\alpha; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}}\}$ та $\{\beta(u)_1; \dots; \beta(u)_\alpha; \dots; \beta(u)_{v_{ld}^{(u)}}\}$ областей $X(u)^{(\alpha)}$ допустимої корекції, які встановлюються за допомогою локальної ознаки δ_{loc} , та кількісно описують характер структурно-статистичних залежностей кожного мікросегменту $S(X)_{i,j}^{(u)}$, $u = \overline{1, 4}$. Тут $\ell(u)_\alpha$ - довжина α -ї області допустимої корекції для u -го мікросегменту, а $v_{ld}^{(u)}$ - відповідно їх кількість.

Розглянемо обґрунтування вибору базової концепції для створення диференційованої обробки сегментів відеокадру з різним інформаційним навантаженням з позиції ЗСЦ відеоресурсу. Тут потрібно врахувати якісні та кількісні характеристики мікросегментів щодо рівня структурно-статистичної надмірності.

Для зниження розмірів відеоресурсу в процесі забезпечення його доступності в інфокомунікаційних системах використовують кілька десятків технологічних рішень (стандартизованих платформ) [26; 31; 34 – 36; 70; 72; 74; 77 – 88; 113; 114 – 131; 132]. Найбільш поширеними є платформи, які створюють можливості щодо балансування між показниками часу доступу до ВІР, та його цілісністю. Такий потенціал досягається завдяки використанню технологічних етапів, які направлені на (рис. 3.1) :

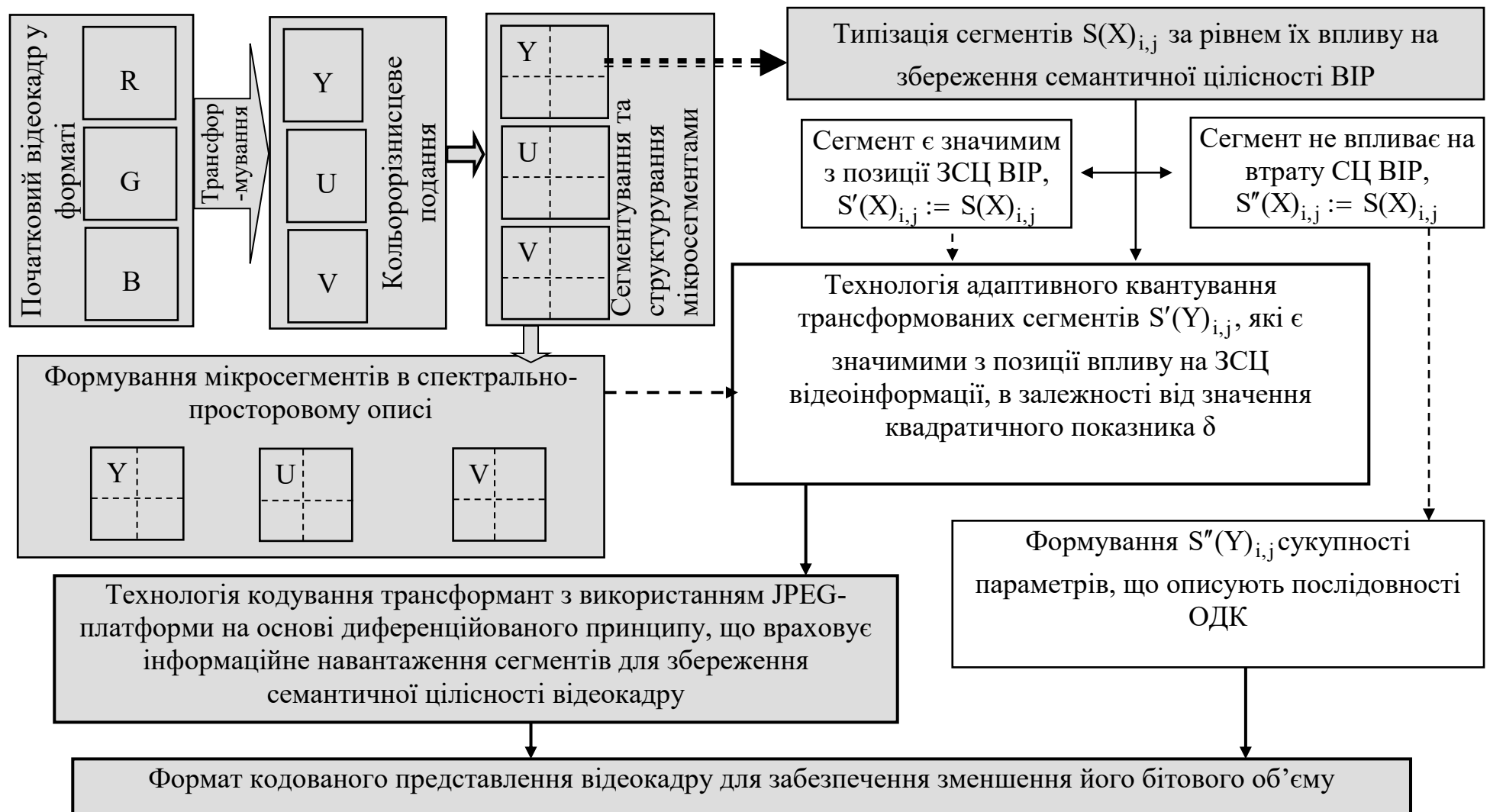


Рис. 3.1. Структурно-функціональна схема концептуального рішення диференційної обробки segmentів з урахуванням їх інформаційної значимості для збереження семантичної цілісності відеоресурсу на основі використання технологічного ядра JPEG-платформи

а) усунення кількості психовізуальної надмірності. Даний вид надмірності обумовлено особливостями зорової системи до сприйняття відеоінформації;

б) скорочення декількох видів надмірності, які не впливають на втрату цілісності ВІР, в часовому та спектральному просторах.

Найбільш поширеним та апробованим є стандартизоване технологічне рішення на базі JPEG платформи (рис. 3.1). Таке концептуальне рішення має суттєві *властивості*, які забезпечують *узгодженість* з попереднім технологічним етапом щодо типізації сегментів відеокадрів за впливом на збереження їх СЦ. Тут можна навести наступні :

1. Лежить в основі систем кодування, які використовують для обробки як статичних відеокадрів, так і їх потоків (кадрів різних типів в окремих групах загального відеопотоку).

2. Базовою структурною одиницею для обробки є сегмент, що відповідно структурується чотирма мікросегментами. *Отже створюється можливість для виявлення локально-когерентних властивостей (встановлення та параметризація областей допустимої корекції за локальною ознакою) та врахування рівня їх впливу на ЗСЦ в процесі подальшого диференційного адаптивного кодування.*

3. Реалізує перетворення «модель **RGB** → модель **YCrCb**» та використовує диференційну обробку для складових кольорорізнисцевої моделі (модель YCrCb) відеозображення. Наявність такого технологічного етапу створює можливість для *типізації* сегментів, де оцінка рівня структурно-статистичної насиченості мікросегментів здійснюється для яскравісної складової кольорорізнисцевої моделі. *Отже, можна зробити висновок, що цей технологічний етап JPEG платформи є сумісним з технологією типізації сегментів.*

4. Вихідне представлення (синтаксис формату кодованого представлення відеокадру) будується на основі кодування, яке скорочує кількість різних видів надмірності в спектральному просторі. При цьому

потрібно локалізувати такий *недолік*, як виконання значної кількості арифметичних операцій, яка може сягати 70 % від загальної кількості арифметичних операцій на процес обробки сегменту. Відповідно, в процесі узгодженості *пропонується* виключати етап виконання ДКП-перетворення для сегментів, що не впливають на втрату СЦ ВІР.

5. Забезпечується можливість усунення психовізуальної надмірності на різних етапах обробки відеокадру, в тому числі в просторово-часовому та спектральному просторах. А саме :

5.1. Внесення більшої наскрізної візуальної корекції в процесі обробки кольорових складових CrCb.

5.2. Передискретизації спектрального простору (діапазону значень елементів МСК ДКП) шляхом скалярного квантування. Тут зменшуються початкові значення елементів МСК на величину компоненти матриці квантування.

Завдяки чому, визначається наявність умов для досягнення балансу або навпаки його відсутність (дисбаланс) між такими категоріями інформаційної безпеки, як: з одного боку часові затримки щодо отримання доступу до ВІР (категорія доступності ВІР), а з іншого боку рівень цілісності ВІР.

В той же час, потрібно враховувати залежність між підвищенням доступності та втратою цілісності відеоресурсу шляхом встановлення значення фактора f , який в свою чергу залежить від рівня структурно-статистичної насиченості мікросегментів. Чим більший такий рівень, тим менше значення f , для якого можливе досягнення балансу між доступністю та цілісністю відеоресурсу, і навпаки.

Отже це створює умови для адаптації рівня корекцій якості в залежності від типу сегментів за їх впливом на ЗСЦ відеоресурсу.

6. Передбачається для усунення структурної та статистичної надмірності в МСК використовувати декілька стандартизованих технологій.

Зрозуміло, що це створює можливості для охоплення значної кількості різних властивостей в МСК, які враховуються в процесі скорочення надмірності.

В результаті чого, отримується остаточний компактний синтаксичний опис мікросегменту, як компоненти загального формату представлення ВІР.

В основі таких технологій лежать стандартизовані методи кодування для усунення кількості надмірності, що, як правило, не призводить до додаткових втрат інформації. В процесі кодування досягається виключення структурної та статистичної надмірності.

Найбільш апробованим є варіант застосування стандартизованих методів кодування на основі виявлення властивостей структурної та статистичної природи. В цьому випадку базовою компонентою є структурна пара – кортеж $\{\ell(y;u)_\alpha^{(i;j)}; k(y;u)_\alpha^{(i;j)}\}$. Такий кортеж складається з довжини $\ell(y;u)_\alpha^{(i;j)}$ ЛДК та відповідних їм значимих компонент $k(y;u)_\alpha^{(i;j)}$. Сукупність таких компонент формують відповідні сукупності $L(y;u)_{i,j}$, $K(y;u)_{i,j}$.

Частіше за все, перші $\ell(y;u)_1^{(i;j)}$, $k(y;u)_1^{(i;j)} = DC$ та останні $\ell(y;u)_{v(u)}^{(i;j)}$, $k(y;u)_{v(u)}^{(i;j)} = 0$ компоненти послідовностей $L(y;u)_{i,j}$, $K(y;u)_{i,j}$ обробляються окремо.

До речі, стандартизовані методи кодування базуються переважно на виявленні статистичних (ймовірнісних) властивостей в елементах сукупностей $L(y;u)_{i,j}$ та $K(y;u)_{i,j}$.

Загальними характерними недоліками наведених методів є :

а) низька ефективність кодування (зменшення значення коефіцієнту стиску) у разі обробки послідовностей $L(y;u)_{i,j}$, $K(y;u)_{i,j}$ ЛДК МСК, які відповідають мікросегментами з високим рівнем структурно-статистичної насиченості;

б) недостатня стійкість до мережевих помилок, що впливає на посилення дисбалансу між доступністю та цілісністю відеоресурсу.

В той же час використання інформації про типізацію сегментів створює умови для :

- визначення випадків, коли можна виключити етап ДКП-перетворення із загального технологічного процесу;
- створення адаптивних процесів кодування сегментів (мікросегментів) в залежності від рівня їх СС насиченості та впливу на збереження семантичної цілісності ВІР. Наприклад, для використання властивостей кодового опису компонент $\ell(y;u)_\alpha^{(i;j)}$ та $k(y;u)_\alpha^{(i;j)}$.

У зв'язку з чим, як базову технологічну концепцію кодування сегментів відеокадрів в умовах їх диференційної обробки з урахуванням інформаційної ролі в ЗСЦ ВІР *пропонується* використовувати JPEG орієнтовані технології. Це обґрунтовується тим, що :

1) обробка сегментів відеокадру організовується послідовно в двох просторах. В тому числі у часовому та просторово-спектральному поданні з використанням таких механізмів, як :

- обробка сегментів відеокадру організовується з використанням технологій корекції синтаксичного опису з урахуванням візуального сприйняття. Це створює умови для обробки у режимі збереження семантичної цілісності відеоресурсу;
- облік структурно-статистичних та психовізуальних закономірностей. Це створює умови для усунення кількості різних видів надмірності і зниження розміру відеоресурсу для забезпечення його доступності.

2) забезпечується узгодження процесу типізації сегментів відеокадру з базовими технологічними етапами стандартизованої платформи JPEG. Це дозволяє підвищити доступність ВІР при виконанні вимог щодо його семантичної цілісності.

Отже, за викладеним матеріалом можна зробити наступні висновки. Обґрунтовано необхідність використання в якості базової стандартизованої платформи технологічного рішення сімейства JPEG. Це утворює концептуальну платформу для обробки та побудови формату представлення

відеоресурсу для підвищення доступності та цілісності. Ключовими тут є наступні складові :

1) створюються умови для диференційної обробки сегментів відеокадру з урахуванням їх попередньої типізації в залежності від значимості з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсів. Це досягається на основі використання технологій корекції синтаксичного опису відповідно до моделі візуального сприйняття шляхом управління кроком втрат якості у процесі квантування елементів МСК в залежності від структурно-статистичної насиченості мікросегментів;

2) забезпечується сумісність процесів типізації сегментів з основними технологічними етапами платформи JPEG, а саме можливість використання (рис. 3.1) :

- яскравісної складової одночасно для типізації сегментів та проведення їх диференційної обробки;

- сегментів як локальних ділянок відеокадру для виявлення більш адекватних властивостей та проведення їх трансформування з застосуванням ДКП-перетворення;

- адаптивного режиму передискретизації діапазону значень елементів МСК в залежності від рівня впливу на ЗСЦ ВІР;

- стандартизованих процесів кодування масивів спектральних компонент з встановленням та параметризацією ділянок допустимої корекції з врахуванням локалізації таких вразливих факторів, як : зменшення виразності структурно-статистичних характеристик МСК; збільшення кількості операцій для виконання ДКП-перетворення сегментів, що не впливають на втрати СЦ.

3.2. Побудова методу кодування сегментів не значимих за своїм впливом на втрату семантичної цілісності відеоресурсу

Розглянемо сегменти $S''(X)_{i,j}$, які не впливають на втрати СЦ відеоресурсу. Це відповідає *першому варіанту* загальної концепції створення формату представлення відеокадрів для збільшення їх цілісності та доступності. На цьому етапі формування синтаксичного опису відеокадру можна врахувати те, що для таких сегментів допускається виключення етапу, який пов'язано з виконанням ДКП-перетворення. З одного боку, це обумовлено необхідною та достатньою виразністю СС властивостей для встановлення ОДК. З іншого боку, це дозволяє скоротити часові затримки як складової забезпечення доступності відеоресурсу [22].

В цьому разі мікросегменти $S(X)_{i,j}^{(u)}$ відрізняються обмеженою кількістю $v_{ld}^{(u)}$ ОДК та збільшенням їх довжин $\ell(u)_\alpha$. В найгіршому випадку величина $\ell(u)_\alpha$ може дорівнювати кількості елементів всього мікросегменту. Наприклад, $\ell(u)_\alpha = n^2$. Для таких мікросегментів допускається додаткова корекція областей яскравісної когерентності (плавної зміни яскравості) з позиції психовізуальних особливостей їх сприйняття. Звідси *пропонується* [22]:

а) організувати кодове представлення мікросегментів вказаного типу в просторово-часовому просторі;

б) сукупність $\{\beta(u)_1; \dots; \beta(u)_\alpha; \dots; \beta(u)_{v_{ld}^{(u)}}\}$ початкових значень $\beta(u)_\alpha$

для α -ї ОДК для кожного u -го мікросегменту описувати їх середнім значенням $\beta(u)$. Для цього використовується вираз :

$$\beta(u) = \sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \beta(u)_\alpha .$$

Досягається :

- зменшення кількості арифметичних операцій (зниження часових затримок на доступ та отримання ВІР), що є наслідком усунення етапу, який пов'язаний з виконанням дискретно-косинусного перетворення;
- скорочення кількості даних (параметрів), які використовуються для опису мікросегментів, а отже зменшується загальний бітовий об'єм кодового представлення всього сегменту.

Структурно-функціональна схема методу кодування сегментів з низьким рівнем кількісної оцінки структурно-статистичної насиченості наведено на рис. 3.2.

Сукупність даних та розподіл кількості біт на їх кодове представлення пропонується обирати наступним чином :

1) максимальна довжина ОДК може дорівнювати загальній кількості елементів в мікросегменті. В той же час :

- їх кількість $v_{ld}^{(u)}$ є обмеженою;
- такі дані мають найбільший вплив з позиції якості візуального сприйняття і забезпечення завадостійкості.

Тому кількість $v(\ell)$ біт для представлення величин $\ell(u)_\alpha$, $\alpha = 1, \overline{v_{ld}^{(u)}}$ пропонується обирати рівномірною для всього сегменту, та такою, що дорівнює 6 біт, $v(\ell) = 6$;

2) величини $\beta(u)$ не мають істотного впливу на забезпечення завадостійкості та якості візуального сприйняття. Тому пропонується їх кодовий опис здійснювати із залученням 6 біт. Тут молодші два біти усуваються. З іншого боку, при відновленні сегменту, два біти додаються. Отже, кількість $v(\beta)$ біт для представлення величин $\beta(u)$ є рівномірною та такою що визначається формулою $v(\beta) = 6$.

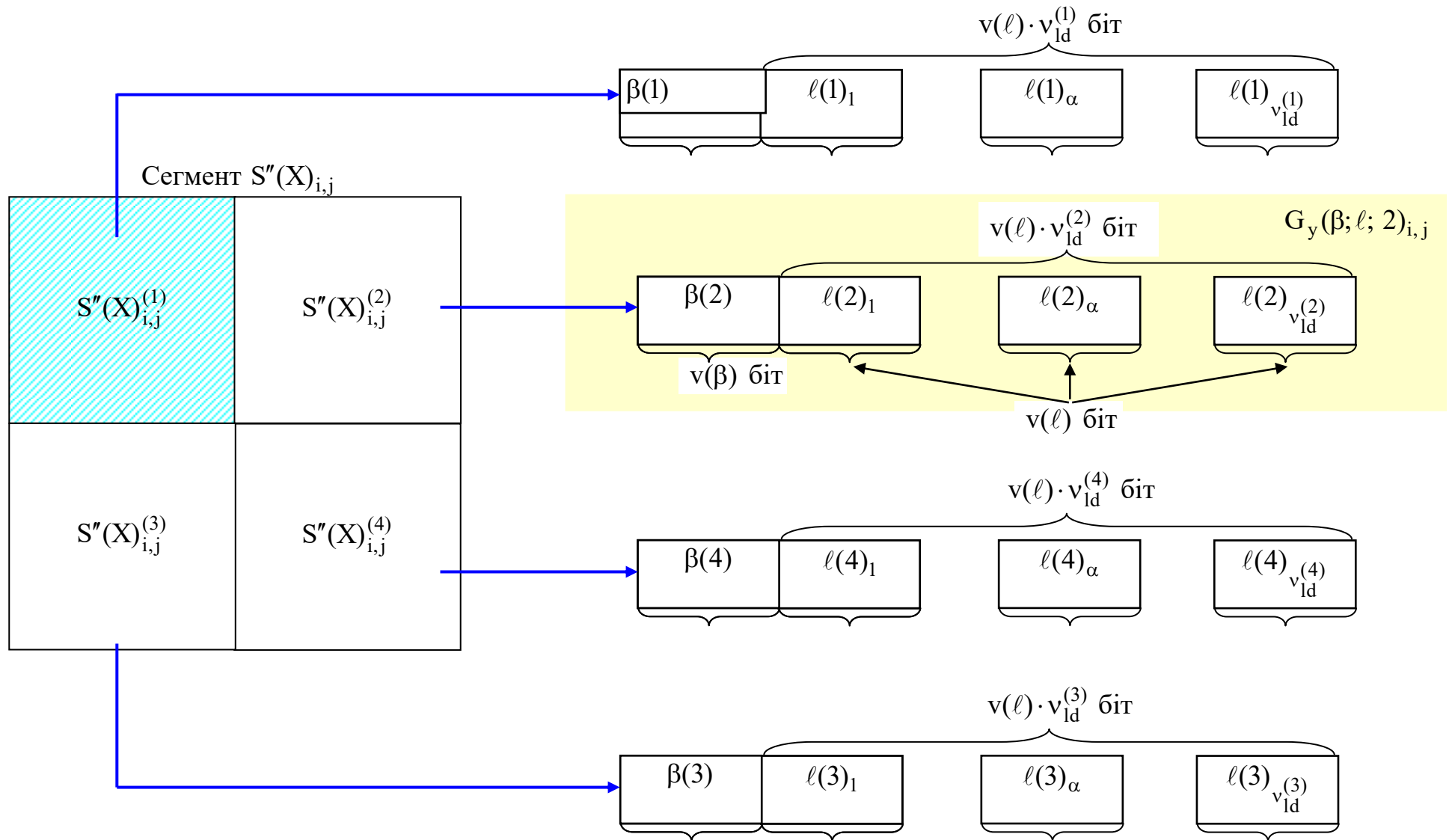


Рисунок 3.2. – Структурно-функціональна схема методу обробки сегментів, які не впливають на втрату СЦ

Загальний бітовий об'єм $V(S''(X)_{i,j})$ сегментів, які не впливають на втрату СЦ ВІР визначається виразом [22] :

$$V(S''(X)_{i,j}) = 4v(\beta) + v(\ell) \cdot \sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u)},$$

де $\sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u)}$ - загальна кількість ОДК в сегменті.

Синтаксичний опис мікросегменту $S''(X)_{i,j}^{(u)}$ представляється кодовою конструкцією $G_y(\beta; \ell; u)_{i,j}$, тобто :

$$S''(X)_{i,j}^{(u)} \rightarrow G_y(\beta; \ell; u)_{i,j} = \{ \beta(u); \ell(u)_\alpha; \dots; \ell(u)_{v_{ld}^{(u)}} \}.$$

На основі наведеного матеріалу можна зробити наступні висновки. Побудовано метод для створення синтаксичного опису компактного представлення сегментів, які не впливають на втрату семантичної цілісності ВІР. Для забезпечення стійкості до мережних помилок, використання обмеженої складності обчислювального процесу та досягнення найбільшого рівня зменшення бітового об'єму **пропонується** проводити наступні етапи обробки, враховуючі відсутність впливу на втрату СЦ ВІР, а саме [22] :

1) виключати кількість психовізуальної надмірності в часовому просторі на основі :

- виявлення областей допустимої корекції за локальним показником δ_{loc} ;

- округляти базові елементи ОДК до 6 старших біт (тобто виключити два молодших біти)

2) усувати структурну надмірність на основі формування параметрів для опису ОДК.

3.3. Розробка методу синтаксичного представлення цілком значимих сегментів, мікросегменти яких мають суттєвий рівень структурно-статистичної насиченості

В процесі створення компактного синтаксичного представлення цілком значимих за впливом на ЗСЦ сегментів потрібно враховувати те, що для збільшення стійкості кодограм, які несуть інформацію про довжини $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК МСК необхідно використовувати або рівномірні кодові конструкції, або такі, довжини яких можна контролювати. Такі конструкції не потребують використання механізму префіксності. Їхнє маркування повинне досягатись шляхом використання тільки тієї інформації, що використовується безпосередньо в процесі формування кодограм. Одним з таких напрямків є побудова блочних кодограм $G_y(\ell; u)_{i, j}$. Блочні кодограми формуються для всієї послідовності даних. В нашому випадку єдина блочна кодограма $G_y(\ell; u)_{i, j}$ формується для всієї сукупності $L(y; u)_{i, j}$ довжин $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК. **Пропонується** будувати кодограму $G_y(\ell; u)_{i, j}$ за принципом розміщення в ній єдиного коду $E_y(\ell; u)_{i, j}$. Відповідно, код $E_y(\ell; u)_{i, j}$ отримується за рахунок ваговизації $w(\ell; u)_\alpha^{(i; j)}$ окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину $\lambda(\ell; u)$ ЛДК $Y(u)^{(\alpha)}$. Код будується для всіх компонент сукупності $L(y; u)_{i, j}$ поточного МСК u -го мікросегменту. Для цього використовується наступний вираз [6; 68] :

$$E_y(\ell; u)_{i, j} = \sum_{\alpha=2}^{v(u)-1} \ell(y; u)_\alpha^{(i; j)} \cdot w(\ell; u)_\alpha^{(i; j)} . \quad (3.1)$$

Величина $w(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$ ваги елементу $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ в загальному випадку визначається функціоналом φ_w [6; 68],

$$w(\ell; u)_\alpha^{(i;j)} = \varphi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; \alpha); \alpha)$$

аргументами якого є :

- а) позиція α поточного елементу $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ в послідовності $L(y; u)_{i,j}$;
- б) значення $\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha)$ максимальної довжини ЛДК в u -му МСК, де Ω_α - множина індексів α' ланцюгів допустимої корекції, яким відповідає найбільша довжина в сукупності $L(y; u)_{i,j}$:

$$\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha) = \max_{\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} \in L(y; u)_{i,j}} (\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}) = \ell(y; u)_{\alpha'}^{(i;j)},$$

$$\alpha' \in \Omega_\alpha : \ell(y; u)_{\alpha'}^{(i;j)} = \lambda(\ell; u; \Omega_\alpha);$$

- в) кількості $v(\ell; \alpha)$ елементів сукупності $L(y; u)_{i,j}$, які позиціонуються ліворуч відносно поточного елемента $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$.

Тоді вираз для величини $E_y(\ell; u)_{i,j}$ набере такого вигляду :

$$E_y(\ell; u)_{i,j} = \sum_{\alpha=2}^{v(u)-1} \ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} \cdot \varphi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; \alpha); \alpha). \quad (3.2)$$

Кількість $V_y(\ell; u)_{i,j}$ біт для представлення такого блочного коду $G_y(\ell; u)_{i,j}$ скорочується за рахунок того, що довжини $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ ЛДК для МСК значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів мають низьку довжину, тобто :

$$\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} \rightarrow 1, \text{ якщо } \delta_{\min} < \delta(x; u) \leq \delta_{\max} \text{ або } \delta(x; u) > \delta_{\max} .$$

Тут $\delta(x; u)$ квадратична міра (класифікатор), яка визначається за формулою :

$$\delta(x; u) = v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / \left(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_\alpha^2 \right),$$

та дозволяє встановити рівень структурно-статистичної насиченості u -го мікросегменту за сукупністю параметрів $\bar{\ell}(u)_\alpha$, $\alpha = 1, \overline{v_{ld}^{(u)}}$, $\overline{v_{ld}^{(u)}}$ його областей ДК шляхом співвідношення з межами δ_{\max} , δ_{\min} діапазону значимості.

Відповідно, тут найбільша кількість надмірності усувається за рахунок наявності структурних обмежень для довжин ЛДК.

При цьому для визначення кількості $V_y(\ell; u)_{i,j}$ біт на синтаксичне представлення коду $G_y(\ell; u)_{i,j}$ *пропонується* користуватись властивістю величин $E_y(\ell; u)_{i,j}$, а саме їх залежністю від ваги $w(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$ компонент $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$. Вказана властивість є наслідком того, що компоненти $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ мають обмежену довжину, яка визначається значенням $\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha)$, або [6; 68] :

$$\begin{cases} \ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} < \lambda(\ell; u; \Omega_\alpha), \rightarrow \alpha' \notin \Omega_\alpha; \\ \ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} = \lambda(\ell; u; \Omega_\alpha), \rightarrow \alpha' \in \Omega_\alpha. \end{cases}$$

Звідси, величина $E_y(\ell; u)_{i,j}$ буде обмежена зверху значенням функціонала $\phi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; \alpha); \alpha)$ в точці $\alpha = 1$, тобто [6; 68] :

$$E_y(\ell; u)_{i,j} \leq \phi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; 1); 1).$$

При цьому рівність буде досягатись тоді, коли до множини Ω_α потрапляють довжини ЛДК всіх компонент сукупності $L(y; u)_{i,j}$, або :

$$E_y(\ell; u)_{i,j} = \varphi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; 1); 1), \text{ якщо } |\Omega_\alpha| = v(u) - 2,$$

де $|\Omega_\alpha|$ - об'єм множини Ω_α ;

$v(u) - 2$ - кількість компонент в сукупності $L(y; u)_{i,j}$, тобто кількість ЛДК, які формуються для u -го МСК, за виключенням першої та останньої компонент.

З врахуванням такої властивості кількість $V_y(\ell; u)_{i,j}$ біт на синтаксичне представлення кодограми $G_y(\ell; u)_{i,j}$ визначається за наступною формулою [6; 68] :

$$V_y(\ell; u)_{i,j} = [\log_2 \varphi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; 1); 1)] + 1,$$

де $[\log_2 \varphi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; 1); 1)]$ - ціла частина значення функції $\log_2 \varphi_w(\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha); v(\ell; 1); 1)$.

Структура кодограми $G_y(\ell; u)_{i,j}$ наведена на рис. 3.3. Як показано на цьому рисунку, кодограма включає в себе службову та інформаційні частини. Службовою частиною є величина $\lambda(\ell; u; \Omega_\alpha)$ максимальної довжини ЛДК в сукупності $L(y; u)_{i,j}$. Інформаційна частина містить значення величини $E_y(\ell; u)_{i,j}$, та визначається в загальному кодовому потоці величиною $V_y(\ell; u)_{i,j}$.

Зрозуміло, що за рахунок обмеженості довжин ЛДК в умовах обробки значимих мікросегментів за рівнем CC насиченості, буде виконуватись наступна нерівність :

$$V_y(\ell; u)_{i,j} \lll 8 \cdot (v(u) - 2).$$

Тут $8 \cdot (v(u) - 2)$ - кількість біт, яка необхідна для синтаксичного опису компонент сукупності $L(y; u)_{i,j}$ у разі їх рівномірного кодування по 8 біт кожна.

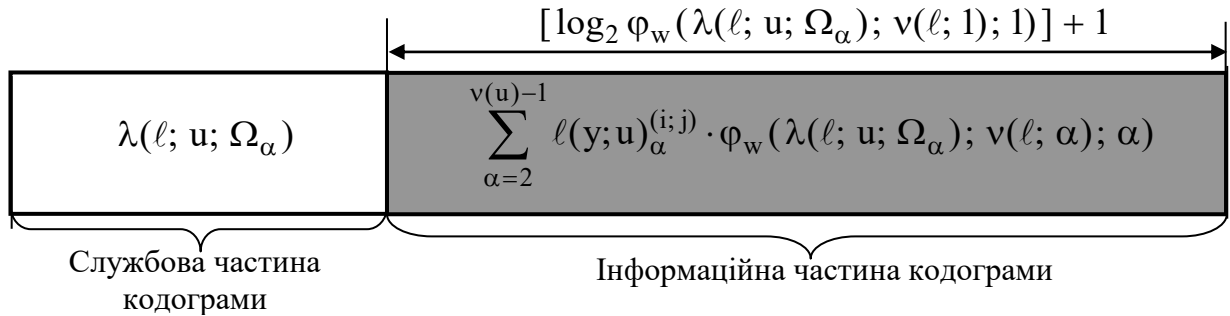


Рисунок 3.3. Структура кодограми для вектора довжин нульових компонентів трансформанти

Звідки стверджується, що кількість біт, яка поступає на подальшу обробку значно скорочується.

Навпаки, на відміну від довжин ЛДК, для їх значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ у разі, якщо u -й мікросегмент має значний рівень СС насиченості, спостерігається збільшення діапазону їх значень. А отже :

$$k(y; u)_\alpha^{(i;j)} : \log_2 k(y; u)_\alpha^{(i;j)} \rightarrow 8, \text{ якщо } S(X)_{i,j} = S'(X)_{i,j}, \text{ тобто коли}$$

$$\text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1)) = 1.$$

В той же час, в результаті адаптивного процесу квантування елементів МСК та грубої шкали для визначення рівня СС насиченості мікросегментів, для кодового представлення їх довжин ЛДК утворюється зайва кількість старших біт. Така кількість визначається із умови, що

$$v(k; u)_\alpha^{(i;j)} = [\log_2 k(y; u)_\alpha^{(i;j)}] + 1 < 8.$$

Тут $v(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ - кількість біт для синтаксичного представлення кодограми $g(k; u)_\alpha^{(i; j)}$, що містить значення компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$.

Сукупність кодограм $g(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ для всіх значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ послідовності $K(y; u)_{i, j}$ з врахуванням наявності зайвої кількості біт позначається, як $G_y(k; u)_{i, j}$.

Для визначення мінімальної зайвої кількості $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ біт для кожної компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ сукупності $K(y; u)_{i, j}$ можливі два варіанти.

Перший варіант. Для обчислення величини $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ *пропонується* застосовувати формулу для знаходження мінімального значення кількості $\Delta v(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ зайвих біт кожної значимої компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$, тобто :

$$\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)} = \min_{k(y; u)_\alpha^{(i; j)} \in K(y; u)_{i, j}} (\Delta v(k; u)_\alpha^{(i; j)}),$$

де $\Delta v(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ - кількість зайвих біт для компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$, що визначається із наступної умови :

$$\Delta v(k; u)_\alpha^{(i; j)} = 8 - [\log_2 k(y; u)_\alpha^{(i; j)}] + 1.$$

Недоліком тут є те, що в цьому випадку потрібно виконувати складні за кількістю машинних операцій логарифмічні перетворення для кожної компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ сукупності $K(y; u)_{i, j}$.

Другий варіант. Для зменшення складності процесу визначення зайвої *мінімальної* кількості $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ біт *пропонується* використовувати величину $\lambda(k; u)$.

Величина $\lambda(k; u)$ є верхньою границею діапазону значень компонент $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ в сукупності $K(y; u)_{i, j}$, та оцінюється за наступним виразом :

$$\lambda(k; u) = \max_{k(y; u)_\alpha^{(i; j)} \in K(y; u)_{i, j}} (k(y; u)_\alpha^{(i; j)}).$$

Звідки зайва **мінімальна** кількість $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ біт з використанням величини $\lambda(k; u)$ знаходиться за допомогою такої формули :

$$\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)} = 8 - [\log_2 \lambda(k; u)] + 1.$$

Як бачимо з отриманого виразу, в цьому випадку для визначення значення $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ необхідно виконати лише одне логарифмічне перетворення для величини $\lambda(k; u)$.

В подальшому, величину $\lambda(k; u)$ будемо позначати, як **нижнє обмеження зайвої кількості старших біт в кодограмах** компонент $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ сукупності $K(y; u)_{i, j}$. Таке обмеження дозволяє визначати кількість $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ зайвих старших біт для кожної компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ без залучення додаткової службової інформації. Зрозуміло, що в цьому випадку кількість $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ зайвих біт для кожної компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ буде рівномірною, тобто :

$$\Delta v(k; u)_2^{(i; j)} = \dots = \Delta v(k; u)_\alpha^{(i; j)} = \dots = \Delta v(k; u)_{v(u)-1}^{(i; j)} = \Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$$

Така особливість формування кодограм $g(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ для значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК дозволяє додатково скорочувати відповідну надмірність. Для цього **пропонується** розміщувати в зайвих бітах складові $\Delta g(\ell; u)_{i, j}$ кодограми $G_y(\ell; u)_{i, j}$ довжин $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК. Таке розміщення **пропонується** виконувати за допомогою оператора φ_{cdis} кодової диз'юнкції (code disjunction). Означений оператор φ_{cdis} в якості аргументів має дві

кодові послідовності $\Delta g(\ell; u)_{i,j}$ та $g(k; u)_\alpha^{(i;j)}$. Відповідно, результатом є кодова послідовність $g'(k; u)_\alpha^{(i;j)}$, яка на позиціях зайвих біт містить бітову послідовність $\Delta g(\ell; u)_{i,j}$, тобто :

$$g'(k; u)_\alpha^{(i;j)} = g(k; u)_\alpha^{(i;j)} \vee \Delta g(\ell; u)_{i,j}.$$

Зрозуміло, що тут бітова довжина складової $\Delta g(\ell; u)_{i,j}$ дорівнює величині $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i;j)}$. Кодові конструкції $G'_y(k; u)_{i,j}$, які при цьому утворюються, визначаються як $G'_y(k; u)_{i,j}^{(\theta)} = \{g'(k; u)_\alpha^{(i;j)}\}$, $\alpha = \overline{2, v(u) - 1}$. Тут $G'_y(k; u)_{i,j}$ - кодова конструкція, що будується на основі послідовності кодограм для значимих компонент, після розміщення в їх зайвих бітах складових $\Delta g(\ell; u)_{i,j}$ єдиної кодограми $G_y(\ell; u)_{i,j}$ сукупності довжин ЛДК, за допомогою кодової диз'юнкції.

В цьому випадку кодові перетворення, що реалізують процес формування кодової конструкції $G'_y(k; u)_{i,j}$, задаються наступною послідовністю операцій(рис. 3.4) :

1. Формується рівномірне кодове $g(k; u)_\alpha^{(i;j)}$ представлення значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ ЛДК сукупності $K(y; u)_{i,j}$. В цьому випадку розміщення біт визначається із розрахунку 8 біт/компонента, та містить в собі зайву кількість біт.

2. Створюється послідовність 8 бітних кодів, кількість яких для u -го мікросегменту дорівнює величині $(v(u) - 2)$ (не враховується перша DC-компонента $k(y; u)_\alpha^{(i;j)}$). Кожна така кодограма для окремої компоненти $k(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ позначається, як $g(k; u)_\alpha^{(i;j)}$.

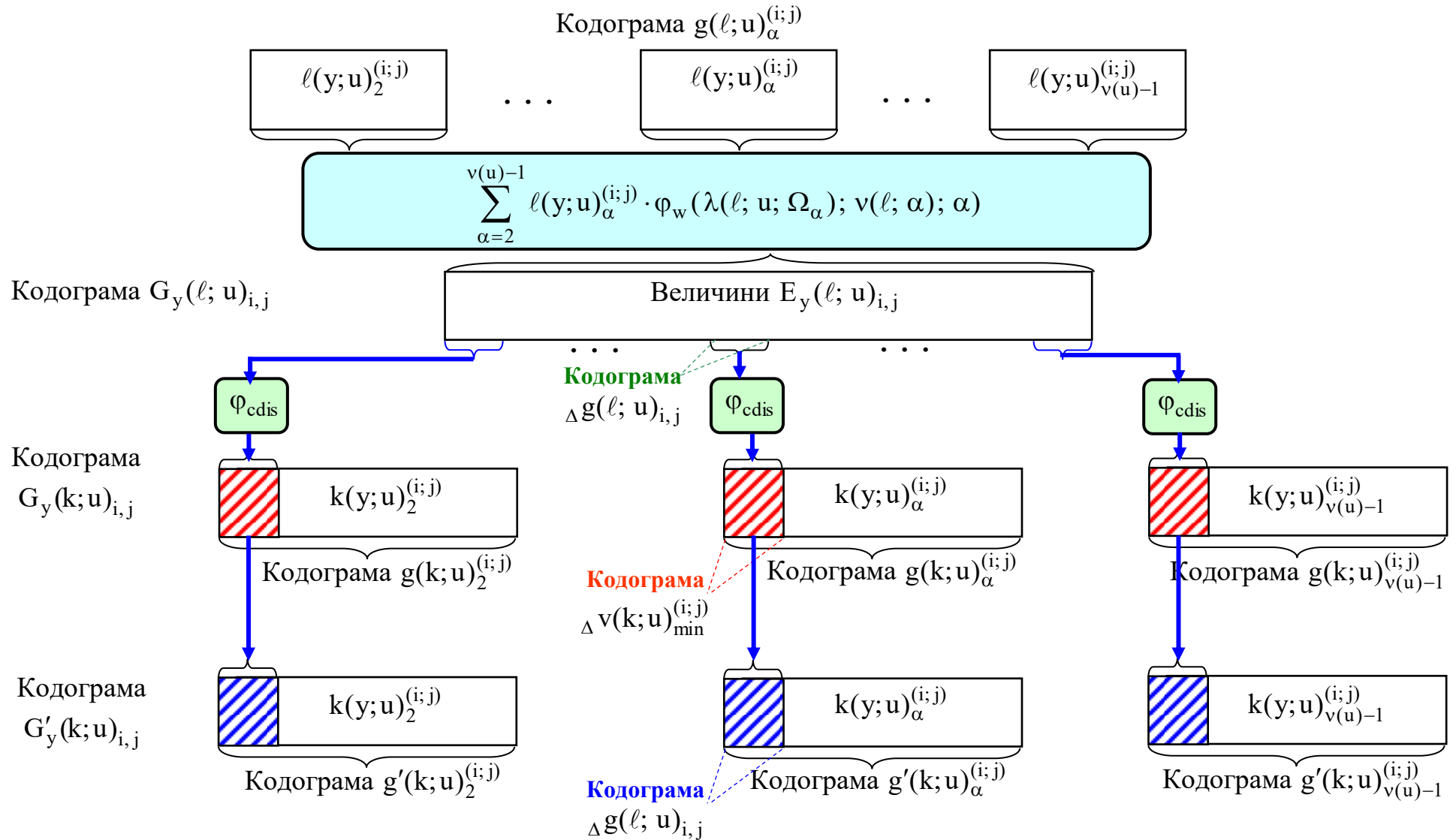


Рисунок 3.4 – Структурно-функціональна схема процесу кодування значимих за ЗСЦ сегментів, які не містять не значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів

3. Визначається мінімальна зайва кількість $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ біт, як загальна рівномірна величина для кожної кодограми $g(k; u)_{\alpha}^{(i; j)}$.

4. Формується єдине кодове $G_y(\ell; u)_{i, j}$ представлення для послідовності довжин $\ell(y; u)_{\alpha}^{(i; j)}$ ЛДК. Для цього визначається величина $E_y(\ell; u)_{i, j}$. Вона отримується за рахунок ваговизації $w(\ell; u)_{\alpha}^{(i; j)}$ окремих елементів в позиційному просторі з обмеженням на максимальну довжину $\lambda(\ell; u)$ ЛДК $Y(u)^{(\alpha)}$.

5. Здійснюється декомпозиція довжини $V_y(\ell; u)_{i, j}$ кодограми $G_y(\ell; u)_{i, j}$ на складові $\Delta g(\ell; u)_{i, j}$. Це описується наступним співвідношенням :

$$G_y(\ell; u)_{i, j} = v(\ell) \cdot \Delta g(\ell; u)_{i, j},$$

де $v(\ell)$ - кількість складових $\Delta g(\ell; u)_{i, j}$, на які розбивається кодограма $G_y(\ell; u)_{i, j}$.

Бітова довжина $\Delta v(\ell; u)_{i, j}$ таких складових $\Delta g(\ell; u)_{i, j}$ визначається відповідно до величини $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$, тобто :

$$\Delta v(\ell; u)_{i, j} = \Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}.$$

Отже тоді маємо

$$V_y(\ell; u)_{i, j} = v(\ell) \cdot \Delta v(\ell; u)_{i, j} = v(\ell) \cdot \Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}.$$

Величина $v(\ell)$ оцінюється за допомогою наступного співвідношення :

$$v(\ell) = \left[\frac{V_y(\ell; u)_{i, j}}{\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}} \right] + 1.$$

6. Організується усунення зайвої кількості $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ біт за допомогою оператора Φ_{cdis} кодової диз'юнкції шляхом додавання складової $\Delta g(\ell; u)_{i, j}$ кодограми $G_y(\ell; u)_{i, j}$ до коду $g(k; u)_\alpha^{(i; j)}$. Таке перетворення задається наступним виразом :

$$g'(k; u)_\alpha^{(i; j)} = \Phi_{\text{cdis}}(g(k; u)_\alpha^{(i; j)}; \Delta g(\ell; u)_{i, j}).$$

7. Будується кодова конструкція $G'_y(k; u)_{i, j}$, яка містить послідовності кодограм для значимих компонент, після розміщення в їх зайвих бітах складових $\Delta g(\ell; u)_{i, j}$ єдиної кодограми $G_y(\ell; u)_{i, j}$ сукупності довжин ЛДК, за допомогою кодової диз'юнкції.

За викладеним матеріалом можна зробити такі висновки :

1. Обґрунтовано та розроблено метод компактного синтаксичного представлення сегментів відеокадрів, які є значимими за впливом на збереження СЦ ВІР, та не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень СС насиченості. Метод базується на виконанні наступних технологічних операцій :

- визначення мінімальної рівномірної кількості зайвих біт для кожної значимої компоненти ЛДК масиву спектральних компонент;
- формування єдиної блочної кодограми для всієї сукупності довжин ЛДК за принципом розміщення в ній єдиного коду, що отримується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину ЛДК.
- розбиття єдиної кодограми для сукупності довжин ЛДК МСК на підкодограми, довжина яких відповідає рівномірній мінімальній кількості зайвих біт;

- усунення зайвої кількості біт в кодограмах значимих компонент шляхом їх кодової диз'юнкції з відповідними за довжиною підкодограмами сукупності довжин ЛДК МСК.

2. Зменшення бітового об'єму досягається на основі скорочення в процесі кодування кількості надмірності наступних видів :

- структурної за обмеженням на максимальну довжину ЛДК в МСК
- кодової за наявності зайвої кількості старших біт в кодограмах значимих компонент.

Побудована таким чином кодова конструкція має складові, які мають наступні властивості :

- довжина складових визначається за рівномірним принципом, тобто із розрахунку 8 біт/компонента;
- інформація про довжини ЛДК в компактному вигляді розподіляється по рівномірним кодовим конструкціям за рівномірним принципом (тобто рівномірними частинами) в результаті операції кодової диз'юнкції.

Отже, створюється можливість для збільшення стійкості кодограм до дії мережевих помилок в процесі відновлення відеокадру.

Наукова новизна.

Вперше розроблено метод зменшення бітового об'єму для значимих за впливом на ЗСЦ ВІР сегментів на основі усунення надмірності в значимих компонентах ЛДК масивів спектральних компонент. Відмінність методу полягає в тому, що: кодова конструкція компактного представлення будується на основі послідовності кодограм для значимих компонент, після розміщення в їх зайвих бітах складових єдиної кодограми сукупності довжин ЛДК, за допомогою кодової диз'юнкції; єдине кодове представлення для послідовності довжин ЛДК формується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину ЛДК.

3.4. Розробка методу зменшення бітового об'єму значимих сегментів зі змішаним вмістом мікросегментів різного рівня структурно-статистичної насиченості

Розглянемо властивості та здійснення розробки методу обробку сегментів, які є значимими за впливом на ЗСЦ ВІР та мають змішаний склад. Також таку обробку можна використовувати для не значимих за впливом на СЦ сегментів, але у разі, якщо вони містять один мікросегмент з середнім рівнем СС насиченості ($v_{ml} = 1$).

Варіант структури значимих сегментів зі змішаним вмістом мікросегментів різного типу наведено на рис. 3.5 [4; 8].

Відповідно, концепцію побудови методу для зменшення бітового об'єму сегментів такого типу пропонується організувати за комбінованим принципом.

Тут потрібно враховувати особливості формування кодограм для кодового представлення величин $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ та $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$.

Особливість кодограм $g(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ для величин $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ визначається наявністю зайвої кількості $\Delta v(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ біт. Відповідна послідовність $\Delta g(k; u)_{\min}^{(i; j)}$ позиціонується в області старших розрядів кодограми $g(k; u)_\alpha^{(i; j)}$ (рис. 3.6). Її існування обумовлено тим, що мінімальна кількість $(\lceil \log_2 k(y; u)_\alpha^{(i; j)} \rceil + 1)$ біт на кодове представлення значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК буде меншим, ніж кількість біт $v(k; u)^{(i; j)}$ на їх рівномірне представлення, тобто [4; 8] :

$$v(k; u)^{(i; j)} = 8 > \lceil \log_2 k(y; u)_\alpha^{(i; j)} \rceil + 1.$$

В свою чергу, обмеженість значень величин $k(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ пояснюється наступними причинами [4; 8] :

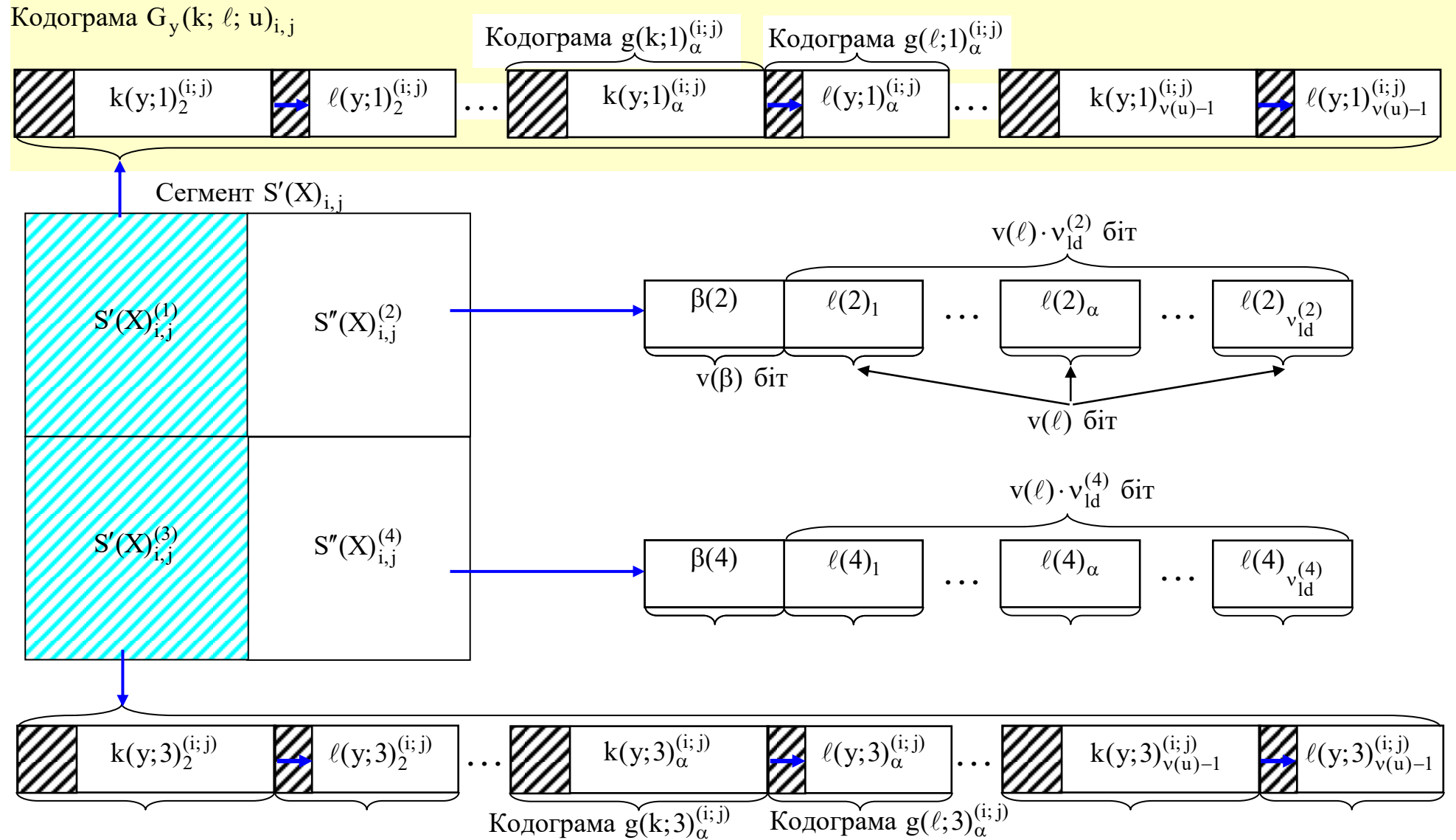


Рисунок 3.5. – Варіант розподілу мікросегментів за змішаним рівнем СС насиченості для значимих за ЗСЦ сегментів

- результатом адаптивного процесу квантування елементів МСК;
- застосуванням грубої шкали для визначення рівня СС насиченості мікросегментів, в результаті чого може виникнути помилка другого роду (тобто не значимий за рівнем СС насиченості мікросегмент буде помилково визначено, як значимий).

Розглянемо тепер особливості кодоутворення для довжин $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК МСК.

Довжина $v(\ell; u)_\alpha^{(i; j)}$ кодограми для величин $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ ЛДК МСК позначається як $g(\ell; u)_\alpha^{(i; j)}$. При цьому для значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів кодограми $g(\ell; u)_\alpha^{(i; j)}$ будуть мати рівномірну довжину $v(\ell; u)^{(i; j)}$, тобто :

$$v(\ell; u)_2^{(i; j)} = \dots = v(\ell; u)_\alpha^{(i; j)} = \dots = v(\ell; u)_{v(u)-1}^{(i; j)} = v(\ell; u)^{(i; j)};$$

За умов забезпечення стійкості кодограм довжин ЛДК до мережевих помилок, довжина кодограми обирається постійною для кодового представлення всіх величин $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$ множини $L(y; u)_{i, j}$. В той же час, для значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів, тобто таких, для яких $S(X)_{i, j}^{(u)} = S'(X)_{i, j}^{(u)}$, кодограми $g(\ell; u)_\alpha^{(i; j)}$ будуть мати зайву кількість $\Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i; j)}$ біт. Це задається наступною нерівністю :

$$v(\ell; u)^{(i; j)} > [\log_2 \ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}] + 1,$$

де $[\log_2 \ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}] + 1$ - мінімальна кількість біт, яка потрібна для кодового представлення величини $\ell(y; u)_\alpha^{(i; j)}$.

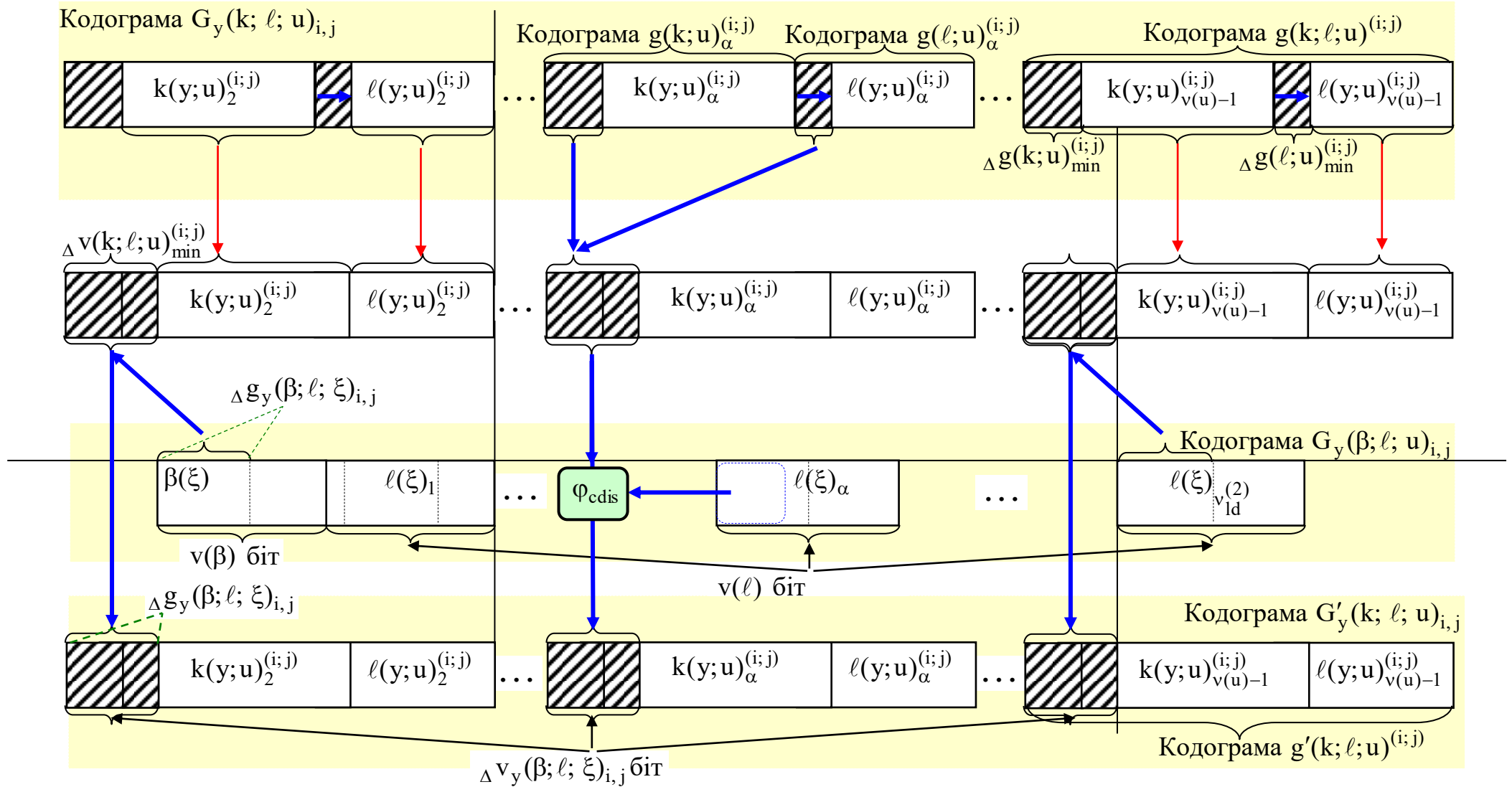


Рисунок 3.6. - Структурно-функціональна схема процесу кодування значимих за ЗСЦ сегментів, які містять змішані мікросегменти за рівнем СС насиченості

Це витікає з того, що за умов, коли $S(X)_{i,j}^{(u)} = S'(X)_{i,j}^{(u)}$, зменшуються довжини $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ ЛДК відповідних МСК, тобто :

$$\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} \rightarrow 1, \text{ якщо } \delta_{\min} < \delta(x; u) \leq \delta_{\max} \text{ або } \delta(x; u) > \delta_{\max} .$$

Тут $\delta(x; u)$ квадратична міра (класифікатор), яка визначається за формулою :

$$\delta(x; u) = v_{ld}^{(u)} \cdot n^2 / \left(\sum_{\alpha=1}^{v_{ld}^{(u)}} \ell(u)_\alpha^2 \right),$$

та дозволяє встановити рівень структурно-статистичної насиченості u -го мікросегменту за сукупністю параметрів $\bar{\ell}(u)_\alpha$, $\alpha = 1, \bar{v}_{ld}^{(u)}, \bar{v}_{ld}^{(u)}$ його ОДК шляхом співвідношення з межами δ_{\max} , δ_{\min} діапазону значимості.

Звідси, якщо для u -го мікросегменту для показника $\delta(x; u)$ виконується одна з умов $\delta_{\min} < \delta(x; u) \leq \delta_{\max}$ або $\delta(x; u) > \delta_{\max}$, то кількість $\Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$ зайвих біт для кодового представлення величин $\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}$ визначається формулою :

$$\Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i;j)} = v(\ell; u)^{(i;j)} - [\log_2 \ell(y; u)_\alpha^{(i;j)}] + 1.$$

Отже, для всієї сукупності $L(y; u)_{i,j}$ довжин ЛДК МСК буде існувати послідовність, компонентами якої є величини, що визначають кількість $\Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$ зайвих біт, тобто :

$$\{ \Delta v(\ell; u)_2^{(i;j)}; \dots; \Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}; \dots; \Delta v(\ell; u)_{v(u)-1}^{(i;j)} \}.$$

При цьому в загальному випадку величини $\Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$ є нерівномірними. Тоді для зменшення кількості службової інформації про кількість зайвих біт **пропонується** використовувати параметр, який визначається як мінімальна кількість $\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ зайвих біт для кодограм $g(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$. Відповідно, величина $\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ обчислюється за співвідношенням [4; 8] :

$$\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i;j)} = \min_{\ell(y; u)_\alpha^{(i;j)} \in L(y; u)_{i,j}} (\Delta v(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}), \quad \text{якщо}$$

$$\delta_{\min} < \delta(x; u) \leq \delta_{\max} \quad \text{або} \quad \delta(x; u) > \delta_{\max}.$$

Параметр $\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ є нижнім обмеженням на кількість зайвих біт в кодограмах довжин ЛДК МСК. Відмінність такого параметру від нульового значення обумовлено скороченням довжин ЛДК для значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів.

Послідовність $\Delta g(\ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ зайвих біт, як показано на рис. 3.6, розташована в області старших розрядів кодограми $g(\ell; u)_\alpha^{(i;j)}$. Вона встановлюється на приймаючій стороні (в процесі відновлення сегментів по їх синтаксичному опису) за допомогою величини $\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i;j)}$. Відповідно, параметр $\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ є службовою інформацією, яка передається в загальній кодовій конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$, що будується для всього мікросегменту.

Таким чином, кодова конструкція $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ формується послідовністю рівномірних кодограм $g(k; \ell; u)^{(i;j)}$ довжиною $v(k; \ell; u)^{(i;j)}$, яка дорівнює 14 біт (рис. 3.6) :

$$v(k; \ell; u)^{(i;j)} = v(k; u)^{(i;j)} + v(\ell; u)^{(i;j)} = 8 + 6 = 14 \text{ біт.}$$

Кількість складових для кодової конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ дорівнює кількості $(v(u) - 2)$ значимих ЛДК, що формується для МСК. Іншими словами, величина $(v(u) - 2)$ - це довжина кодової конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ в кодограмах $g(k; \ell; u)^{(i,j)}$. Довжина $V_y(k; \ell; u)_{i,j}$ кодової конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ в бітах дорівнює :

$$\begin{aligned} V_y(k; \ell; u)_{i,j} &= (v(u) - 2) \cdot v(k; \ell; u)^{(i,j)} = \\ &= (v(u) - 2) \cdot (v(k; u)^{(i,j)} + v(\ell; u)^{(i,j)}) = 14(v(u) - 2) \text{ біт.} \end{aligned}$$

Загальна кількість $\Delta v(k; \ell; u)_{\min}^{(i,j)}$ зайвих біт для окремої кодограми $g(k; \ell; u)^{(i,j)}$ тут складає наступну величину :

$$\Delta v(k; \ell; u)_{\min}^{(i,j)} = \Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i,j)} + \Delta v(k; u)_{\min}^{(i,j)}.$$

Загальна кількість $\Delta V(k; \ell; u)_{\min}^{(i,j)}$ зайвих біт для всієї кодової конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ оцінюється за допомогою виразу :

$$\Delta V(k; \ell; u)_{\min}^{(i,j)} = (v(u) - 2) \cdot \Delta v(k; \ell; u)_{\min}^{(i,j)} = (v(u) - 2) \cdot (\Delta v(\ell; u)_{\min}^{(i,j)} + \Delta v(k; u)_{\min}^{(i,j)}).$$

Отже, **пропонується** для додаткового зменшення бітового об'єму $V(S'(X)_{i,j})$ сегментів $S(X)_{i,j} = S'(X)_{i,j}$ зі змішаним змістом проводити усунення встановленої кількості $\Delta v(k; \ell; u)_{\min}^{(i,j)}$ зайвих біт для кожної кодограми $g(k; \ell; u)^{(i,j)}$ значимих мікросегментів $S'(X)_{i,j}^{(u)}$ шляхом розміщення на відповідних позиціях складових $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ кодограм $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$, які будуються для не значимих мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(\xi)} = S''(X)_{i,j}^{(\xi)}$. Тут u, ξ - координати мікросегментів, які відповідно мають значимий та незначимий

рівень СС насиченості в (i; j)-му сегменті. Таке розміщення відбувається за допомогою оператора φ_{cdis} кодової диз'юнкції, а саме :

$$\varphi_{\text{cdis}} : g'(k; \ell; u)^{(i;j)} = g(k; \ell; u)^{(i;j)} \vee \Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}.$$

Тут $g'(k; \ell; u)^{(i;j)}$ - кодограма, яка формується в результаті кодової диз'юнкції та відповідного розміщення складової $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ на зайвих позиціях старших біт кодограми $g(k; \ell; u)^{(i;j)}$.

Процес виключення зайвих біт шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ не значимих мікросегментів $S''(X)_{i,j}^{(\xi)}$ з визначенням кількості та довжини $\Delta v_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ таких складових $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ **пропонується** будувати за допомогою наступних технологічних операцій (рис. 3.6) [4; 8] :

1. Встановити кількість $\Delta v(k; \ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ зайвих біт для кожної кодограми $g(k; \ell; u)^{(i;j)}$ ЛДК значимого мікросегменту. Обчислити загальну кількість $\Delta V(k; \ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ зайвих біт для кодової конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ всього мікросегменту $S'(X)_{i,j}^{(u)}$. Для цього використовується інформація про кількість $(v(u) - 2)$ значимих ЛДК в МСК.

2. Визначити поточну довжину $V(S''(X)_{i,j}^{(\xi)})$ кодової конструкції $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ синтаксичного опису не значимого мікросегменту $S''(X)_{i,j}^{(\xi)}$. Для цього використовується наступна формула $V(S''(X)_{i,j}^{(\xi)}) = v(\beta) + v(\ell) \cdot v_{\text{ld}}^{(\xi)}$, де $v_{\text{ld}}^{(\xi)}$ - кількість ОДК в ξ -му мікросегменті. Після чого проводимо розбиття (декомпозицію) кодової конструкції $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ на складові, так, що довжина кожної дорівнюватиме $\Delta v(k; \ell; u)_{\min}^{(i;j)}$ біт.

3. Організуємо розміщення на зайвих позиціях кодограми $g(k; \ell; u)^{(i; j)}$ відповідних складових $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i, j}$ кодової конструкції $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i, j}$. Такий процес забезпечується оператором Φ_{cdis} кодової диз'юнкції (рис. 3.6).

$$g'(k; \ell; u)^{(i; j)} = \Phi_{\text{cdis}}(g(k; \ell; u)^{(i; j)}; \Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i, j}).$$

За умови, якщо :

- поточний сегмент $S(X)_{i, j}$ є значимим за рівнем впливу на збереження семантичної цілісності VIP, тобто $S(X)_{i, j} = S'(X)_{i, j}$:

$$S'(X)_{i, j}: \text{sign}(v_{hl} + v_{ml} \cdot (v_{ml} - 1)) = 1 \text{ та } v_{ll} \geq 1;$$

та містить мікросегменти $S'(X)_{i, j}^{(u)}$, $S''(X)_{i, j}^{(\xi)}$, які мають відповідно значимий та не значимий рівень СС насиченості : $S'(X)_{i, j}^{(u)}$, $S''(X)_{i, j}^{(\xi)} \in S'(X)_{i, j}$, отже :

$$S'(X)_{i, j}^{(u)}: \delta_{\min} < \delta(x; u) \leq \delta_{\max} \text{ або } \delta(x; u) > \delta_{\max};$$

$$S''(X)_{i, j}^{(\xi)}: \delta(x; \xi) > \delta_{\min};$$

- синтаксичний опис мікросегментів $S'(X)_{i, j}^{(u)}$ та $S''(X)_{i, j}^{(\xi)}$ представляється відповідно наступними кодовими конструкціями $G_y(k; \ell; u)_{i, j}$, $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i, j}$, тобто :

$$S'(X)_{i, j}^{(u)} \rightarrow G_y(k; \ell; u)_{i, j}; \quad S''(X)_{i, j}^{(\xi)} \rightarrow G_y(\beta; \ell; \xi)_{i, j}$$

- кодові конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$, $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ містять відповідно кодограму $g'(k; \ell; u)^{(i,j)}$ та кодову складову $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$:

$$g(k; \ell; u)^{(i,j)} \in G_y(k; \ell; u)_{i,j}; \quad \Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j} \in G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}.$$

За результатом чого, формується кодограма $g'(k; \ell; u)^{(i,j)}$. Така кодограма будується на базі кодограми $g(k; \ell; u)^{(i,j)}$ шляхом розміщення на її зайвих старших бітових позиціях послідовності $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$, а саме :

$$g'(k; \ell; u)^{(i,j)} = \varphi_{\text{cdis}}(g(k; \ell; u)^{(i,j)}; \Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}).$$

4. Якщо залишаються не розміщеними складові $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ кодової конструкції $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ не значимого мікросегменту, то для цього процесу залучаються кодограми наступного значимого мікросегменту. Або, навпаки, якщо залишаються не заповненні послідовності зайвих біт, то вони комплектуються складовими $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi + 1)_{i,j}$ кодової конструкції наступного не значимого мікросегменту. Заповнення послідовності зайвих біт організовується за допомогою операції кодової диз'юнкції, яка задається функціоналом φ_{cdis} .

За результатом виключення зайвих послідовностей для всіх $(v(u) - 2)$ кодограм $g(k; \ell; u)^{(i,j)}$ кодової конструкції $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ відбувається формування кодової конструкції $G'_y(k; \ell; u)_{i,j}$. Відповідно, складові такої конструкції визначаються, як $g'(k; \ell; u)^{(i,j)}$, $g'(k; \ell; u)^{(i,j)} \in G'_y(k; \ell; u)_{i,j}$.

В окремому випадку, якщо значимий сегмент містить однакову кількість значимих та не значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів

(тобто по два кожного типу), то його бітовий об'єм $V'(S'(X)_{i,j})$ після операції кодової диз'юнкції становить :

$$V'(S'(X)_{i,j}) = \sum_{u=1}^2 V'_y(k; \ell; u)_{i,j} = \sum_{u=1}^2 ((v(u) - 2) \cdot v(k; \ell; u)^{(i,j)}).$$

Тут $V'_y(k; \ell; u)_{i,j}$ - довжина в бітах для кодової конструкції $G'_y(k; \ell; u)_{i,j}$. Звідки слідує те, що за рахунок усунення зайвої кількості біт в кодовому описі значимих компонент та довжин ЛДК, досягається зменшення бітового об'єму сегменту. Величина такого зменшення дорівнює кількості біт, що витрачаються на кодове представлення не значимих мікросегментів.

Узагальнена структурно-функціональна схема методу синтаксичного представлення відеокадрів на основі *диференційованої* обробки сегментів з врахуванням їх типізації для забезпечення цілісності та доступності ВІР наведена на рис. 3.7. Отже, обробку відеокадрів потрібно організовувати на базі стандартизованої платформи та адаптивно, в залежності від значимості (інформаційної ролі) їх сегментів $S(X)_{i,j}$ (мікросегментів $S(X)_{i,j}^{(u)}$) з позиції збереження потрібного рівня семантичної цілісності об'єктів інтересу ВІР. Зазначений підхід до кодування ВІР можна вважати *адаптивним*. Відповідний формат представлення *пропонується* створювати на основі *диференційного* підходу враховуючі тип сегменту та наявність в ньому сегментів, які не впливають на втрати СЦ ВІР. Необхідно обробку сегментів та їх мікросегментів проводити з врахуванням нерівномірності розподілу інформаційного змісту у відеокадрі. Отже, базова технологічна концепція буде містити три різні методи *в залежності від структурних та статистичних характеристик відеоресурсу*

Для сегментів, які відіграють значиму роль в ЗСЦ ВІР необхідно створювати процес обробки з такими особливостями [2] :

- з одного боку, виключити використання механізмів, які пов'язані з усуненням психовізуальної надмірності. Саме в цьому випадку існує небезпека втрати інформаційної цілісності;

- з іншого боку, створювати процес кодування відеоданих на основі усунення різних видів надмірності. В першу чергу такої надмірності, усунення кількості якої не призводить до втрат інформації. В цьому випадку виключаються ризики втрати інформаційної безпеки, за категорією цілісність інформації.

Для сегментів, які не впливають на втрату СЦ ВІР, навпаки, потрібно забезпечити режим обробки зі створенням умов для зменшення затримок в процесі доступу до всього відеокадру (ВІР).

Отже, за представленим матеріалом досліджень можна підбити такі підсумки :

1. Розроблено метод зменшення бітового об'єму значимих за ЗСЦ ВІР сегментів, що мають змішаний вміст мікросегментів з різним рівнем СС насиченості. Базова технологічна складова полягає у розробці та використанні процесу виключення зайвих біт кодограм ЛДК значимих мікросегментів шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм не значимих мікросегментів. Метод реалізується за допомогою наступних технологічних операцій (рис. 3.7) :

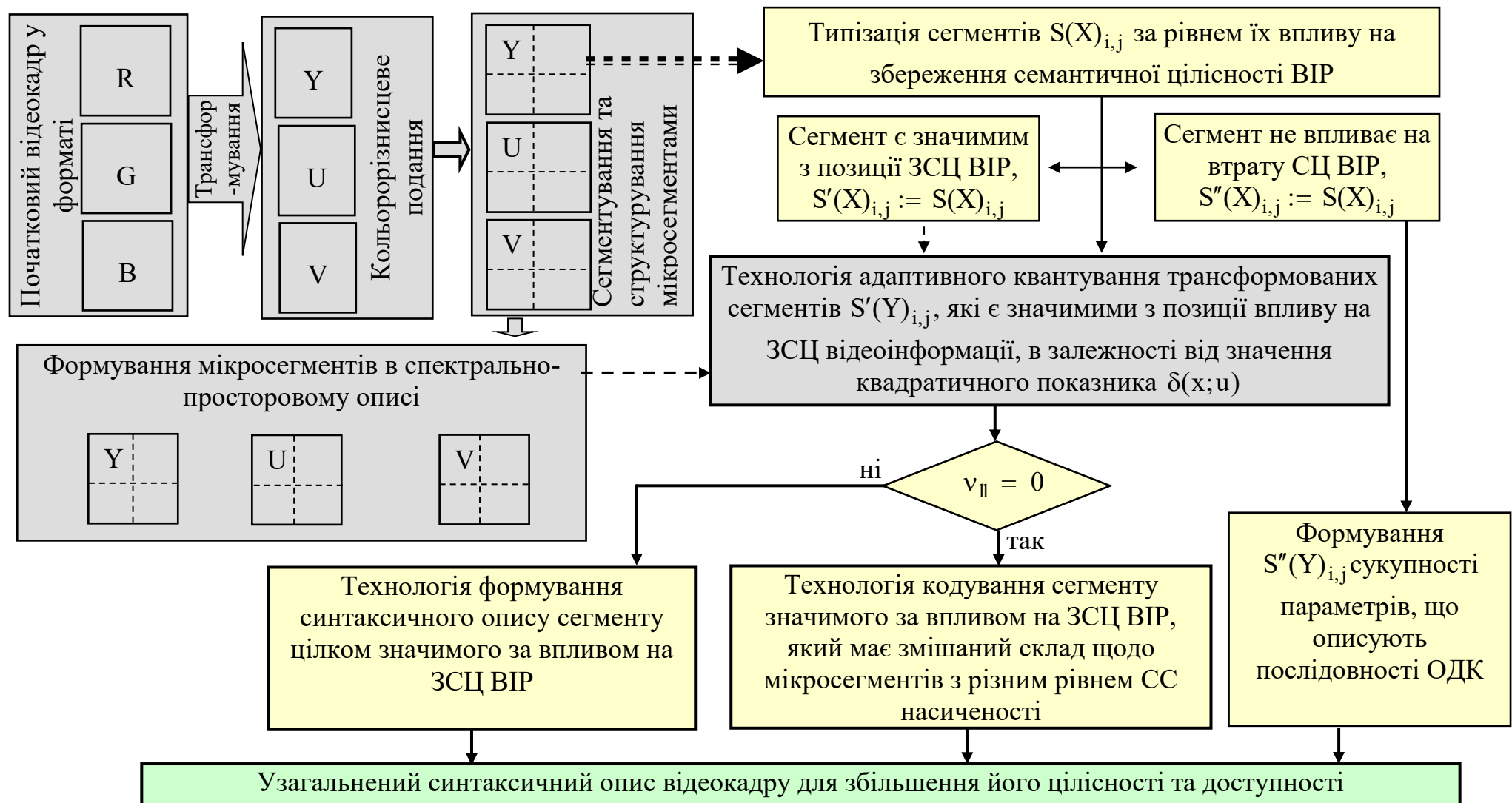


Рисунок 3.7. - Структурно-функціональна схема методу диференційної обробки сегментів з урахуванням їх інформаційної значимості для збереження СЦ ВІР на основі використання технологічного ядра JPEG-платформи

1) встановлюється кількість зайвих біт для кожної кодограми ЛДК МСК значимого мікросегменту. Тут пропонується враховувати кількість ЛДК та мінімальну зайву кількість біт в кодограмах їх структурно-параметричного опису. Це дозволяє знайти загальну кількість зайвих біт для кодової конструкції всього значимого мікросегменту;

2) визначається довжина та здійснюється розбиття (декомпозиція) кодової конструкції синтаксичного опису поточного не значимого мікросегменту на складові так, що довжина кожної дорівнюватиме кількості зайвих біт в кодограмі ЛДК значимого мікросегменту;

3) за допомогою операції кодової диз'юнкції організовується розміщення на зайвих позиціях кодограми ЛДК відповідних складових кодової конструкції не значимого мікросегменту;

4) якщо залишаються не розміщеними складові кодової конструкції не значимого мікросегменту, то для цього процесу залучаються кодограми наступного значимого мікросегменту. Або, навпаки, якщо залишаються не заповненні послідовності зайвих біт, то вони комплектуються складовими кодової конструкції наступного не значимого мікросегменту.

2. Усувається кількість надмірності, яка обумовлена врахуванням наступних властивостей структурно-кодового опису значимого сегменту зі змішаним вмістом мікросегментів різним рівнем СС насиченості, а саме: обмеженістю значень значимих компонент та довжин ЛДК та відповідно встановлення нижньої межі щодо зайвої кількості біт для кодових складових кодограми ЛДК МСК.

Наукова новизна.

Отримав подальший розвиток метод зменшення бітового об'єму сегментів відеокадрів на основі представлення їх в спектральному вигляді (або на основі виявлення ланцюгів на значимих компонент). Відмінності методу від існуючих полягають в наступному :

- враховується властивість значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів щодо існування зайвої мінімальної кількості біт в синтаксичному описі параметрів ЛДК

- за допомогою кодової диз'юнкції проводиться розподіл кодограм між різними за рівнем значимості СС насиченості мікросегментів, а саме розміщення інформативних складових кодограми не значимих мікросегментів в зайвій бітовій послідовності кодограм ЛДК масивів спектральних компонент значимих мікросегментів.

Це дозволяє скоротити кількість надмірності в кодограмах ЛДК та додатково зменшити бітовий об'єм значимих сегментів відеокадрів без втрати їх семантичної цілісності та втрати стійкості їх кодограм до мережових помилок.

Вперше розроблено метод диференційної обробки сегментів в залежності від якісних та кількісних характеристик їх мікросегментів за рівнем структурної та статистичної насиченості. Відмінності: процес усунення надмірності та їх типи обираються в залежності від наявності мікросегментів з різним рівнем СС насиченості; враховується наявність зайвої кількості біт у кодограмах ЛДК МСК; заповнення зайвої кількості біт в кодограмах ланцюгів допустимої корекції МСК здійснюється в залежності від значимості впливу сегменту на ЗСЦ ВІР. Це дозволяє забезпечити збільшення рівня доступності до ВІР в заданих умовах відносно забезпечення його семантичної цілісності.

Висновки

1. Обґрунтовано необхідність використання в якості базової стандартизованої платформи технологічного рішення сімейства JPEG. Це утворює концептуальну платформу обробки та побудови формату

представлення відеоресурсу для підвищення доступності та цілісності. Ключовими тут є наступні складові :

1) створюються умови для диференційної обробки сегментів відеокадру з врахуванням їх попередньої типізації в залежності від значимості з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсів. Це досягається: по-перше, на основі використання технологій корекції синтаксичного опису відповідно до моделі візуального сприйняття шляхом управління кроком втрат якості у процесі квантування елементів МСК в залежності від структурно-статистичної насиченості мікросегментів;

2) забезпечується сумісність процесів типізації сегментів з основними технологічними етапами платформи JPEG, а саме можливість використання :

- яскравісної складової одночасно для типізації сегментів та проведення їх диференційної обробки;

- сегментів як локальних ділянок відеокадру для виявлення більш адекватних властивостей та проведення їх трансформування з застосуванням ДКП-перетворення;

- адаптивного режиму передискретизації діапазону значень елементів МСК в залежності від рівня впливу на ЗСЦ ВІР;

- стандартизованих процесів кодування масивів спектральних компонент з встановленням та параметризацією ділянок допустимої корекції з врахуванням локалізації таких вразливих факторів, як : зменшення виразності структурно-статистичних характеристик МСК; збільшення кількості операцій для виконання ДКП-перетворення сегментів, що не впливають на втрату СЦ.

2. Побудовано метод для створення синтаксичного опису компактного представлення сегментів, які не впливають на втрату семантичної цілісності ВІР. Для забезпечення : стійкості до мережових помилок, використання обмеженої складності обчислювального процесу та досягнення найбільшого рівня зменшення бітового об'єму – *пропонується* проводити наступні етапи обробки, враховуючі відсутність впливу на втрату СЦ ВІР, а саме :

1) виключати кількість психовізуальної надмірності в часовому просторі на основі :

- виявлення областей допустимої корекції за локальним показником;
- округлення базових елементів ОДК до 6 старших біт (тобто виключення двох молодших біт)

2) усувати структурну надмірність на основі формування параметрів для опису ОДК.

3. Обґрунтовано та розроблено метод компактного синтаксичного представлення сегментів відеокадрів, які є значимими за впливом на збереження СЦ ВІР, та не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень СС насиченості. Метод базується на виконанні наступних технологічних операцій :

- визначення мінімальної рівномірної кількості зайвих біт для кожної значимої компоненти ЛДК масиву спектральних компонент;

- формування єдиної блочної кодограми для всієї сукупності довжин ЛДК за принципом розміщення в ній єдиного коду, що отримується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі з обмеженням максимальної довжини ЛДК.

- розбиття єдиної кодограми сукупності довжин ЛДК МСК на підкодограми, довжина яких відповідає рівномірній мінімальній кількості зайвих біт;

- усунення зайвої кількості біт в кодограмах значимих компонент шляхом їх кодової диз'юнкції з відповідними за довжиною підкодограмами сукупності довжин ЛДК МСК.

4. Зменшення бітового об'єму досягається на основі скорочення в процесі кодування кількості надмірності наступних видів :

- структурної за обмеженням на максимальну довжину ЛДК в МСК
- кодової за наявності зайвої кількості старших біт в кодограмах значимих компонент.

Побудована таким чином кодова конструкція має складові, яким властиво наступне:

- довжина складових визначається за рівномірним принципом, тобто із розрахунку 8 біт/компонента;
- інформація про довжини ЛДК в компактному вигляді розподіляється по рівномірним кодовим конструкціям за рівномірним принципом (тобто рівномірними частинами) в результаті операції кодової диз'юнкції.

Отже створюється можливість для збільшення стійкості кодограм до дії мережевих помилок в процесі відновлення відеокадру.

Наукова новизна.

Вперше розроблено метод зменшення бітового об'єму для значимих за впливом на ЗСЦ ВІР сегментів на основі усунення надмірності в значимих компонентах ЛДК масивів спектральних компонент. Відмінність методу полягає в тому, що: кодова конструкція компактного представлення будується на основі послідовності кодограм для значимих компонент, після розміщення в їх зайвих бітах складових єдиної кодограми сукупності довжин ЛДК, за допомогою кодової диз'юнкції; єдине кодове представлення для послідовності довжин ЛДК формується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину ЛДК.

Розроблено метод зменшення бітового об'єму значимих за ЗСЦ ВІР сегментів, що мають змішаний вміст мікросегментів з різним рівнем СС насиченості. Базова технологічна складова полягає у розробці та використанні процесу виключення зайвих біт кодограм ЛДК значимих мікросегментів шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм не значимих мікросегментів. Метод реалізується наступними операціями :

- 1) встановлюється кількість зайвих біт для кожної кодограми ЛДК МСК значимого мікросегменту. Тут пропонується враховувати кількість ЛДК та мінімальну зайву кількість біт в кодограмах їх структурно-

параметричного опису. Це дозволяє знайти загальну кількість зайвих біт для кодової конструкції всього значимого мікросегменту;

2) визначається довжина та здійснюється розбиття (декомпозиція) кодової конструкції синтаксичного опису поточного не значимого мікросегмента на складові так, що довжина кожної дорівнюватиме кількості зайвих біт в кодограмі ЛДК значимого мікросегменту;

3) за допомогою операції кодової диз'юнкції організовується розміщення на зайвих позиціях кодограми ЛДК відповідних складових кодової конструкції не значимого мікросегменту;

4) якщо залишаються не розміщеними складові кодової конструкції не значимого мікросегменту, то для цього процесу залучаються кодограми наступного значимого мікросегменту. Або, навпаки, якщо залишаються не заповненні послідовності зайвих біт, то вони комплектуються складовими кодової конструкції наступного не значимого мікросегменту.

6. Усувається кількість надмірності, яка обумовлена врахуванням наступних властивостей структурно-кодового опису значимого сегменту зі змішаним вмістом мікросегментів різним рівнем СС насиченості, а саме: обмеженістю значень значимих компонент та довжин ЛДК та, відповідно, встановлення нижньої межі зайвої кількості біт для кодових складових кодограми ЛДК МСК.

Наукова новизна.

Отримав подальший розвиток метод зменшення бітового об'єму сегментів відеокадрів на основі представлення їх в спектральному вигляді (або на основі виявлення ланцюгів на значимих компонент). Відмінності методу від існуючих полягають в наступному :

- враховується властивість значимих за рівнем СС насиченості мікросегментів щодо існування зайвої мінімальної кількості біт в синтаксичному описі параметрів ЛДК

- за допомогою кодової диз'юнкції проводиться розподіл кодограм між різними за рівнем значимості СС насиченості мікросегментів, а саме

розміщення інформативних складових кодограми не значимих мікросегментів в зайвій бітовій послідовності кодограм ЛДК масивів спектральних компонент значимих мікросегментів.

Це дозволяє скоротити кількість надмірності в кодограмах ЛДК та додатково зменшити бітовий об'єм значимих сегментів відеокадрів без втрати їх семантичної цілісності та втрати стійкості їх кодограм до мережових помилок.

Вперше розроблено метод диференційної обробки сегментів в залежності від якісних та кількісних характеристик їх мікросегментів за рівнем структурної та статистичної насиченості. Відмінності: процес усунення надмірності та їх типи обираються в залежності від наявності мікросегментів з різним рівнем СС насиченості; враховується наявність зайвої кількості біт у кодограмах ЛДК МСК; заповнення зайвої кількості біт в кодограмах ланцюгів допустимої корекції МСК здійснюється в залежності від значимості впливу сегменту на ЗСЦ ВІР. Це дозволяє забезпечити збільшення рівня доступності до ВІР в заданих умовах відносно забезпечення його семантичної цілісності.

Результати науково-прикладних досліджень третього розділу опубліковані у наступних наукових працях [2 – 4; 6; 8; 9; 22; 68;].

РОЗДІЛ 4

ОЦІНЮВАННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ МЕТОДІВ СТИСКУ ЩОДО СТВОРЕННЯ УМОВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ВІДЕОРЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ

В розділі викладається створення моделі для оцінювання рівня зменшення бітового об'єму ВІР в процесі забезпечення його доступності. Тут враховується: визначення рівня насиченості мікросегментів за їх СС властивостями; попередня типізація сегментів з позиції їх впливу на ЗСЦ; компактне представлення сегментів, яке здійснюється на основі усунення зайвої кількості біт в залежності від типів сегментів та наявності в них мікросегментів з різним рівнем СС насиченості. Показано, що за рахунок додаткового зменшення бітового об'єму ВІР, створюються умови для відповідного додаткового (порівняно з існуючими методами) скорочення часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності.

Розроблена модель для оцінювання загальної кількості арифметичних операцій, яку потрібно виконати для формування синтаксичного опису компактного представлення відеокадру для створеного підходу. В основі моделі лежить співвідношення для визначення складності створеного процесу кодування за кількістю типових арифметичних операцій в умовах попередньої типізації сегментів за рівнем їх впливу на ЗСЦ ВІР та подальшим врахуванням цього для кодування. Обґрунтовано, що розроблений метод кодування ВІР створює умови для збільшення рівня його доступності при забезпеченні рівня цілісності.

4.1. Розробка моделі для оцінювання рівня зниження бітового об'єму для розробленого методу кодування відеокадрів з врахуванням типізації сегментів з позиції впливу на збереження семантичної цілісності

Оцінка рівня κ_{comp} зниження бітового об'єму V_{vres} визначається за формулою: $\kappa_{\text{comp}} = V_{\text{vres}} / V_{\text{cod}}$. Тут величина V_{vres} для $v_{\text{cadr}} = 1$ обчислюється як: $V_{\text{vres}} = v_{\text{pix}} \cdot Q(X) = v_{\text{pix}} \cdot M \cdot N$, де $Q(X)$ - розмір відеокадру X в кількості пікселей, $Q(X) = M \cdot N$; M , N - кількість рядків та стовбців у відеокадрі X ; v_{pix} - кількість біт в кодовому описі пікселя.

Отже, проведемо спочатку оцінювання величини об'єму V_{cod} бітового опису кодованого відеокадру для розробленого методу. Тут потрібно врахувати наступні особливості запропонованого підходу, а саме:

- визначення рівня насиченості мікросегментів $S(X)_{\tau}^{(u)}$ за їх СС властивостями;

- попередню типізацію сегментів $S(X)_{\tau}$, $S(X)_{\tau} = \bigcup_{u=1}^{U=4} S(X)_{\tau}^{(u)}$ з позиції їх впливу на ЗСЦ;

- компактне представлення сегментів, яке здійснюється на основі усунення зайвої кількості біт в залежності від типів сегментів та наявності в них мікросегментів з різним рівнем СС насиченості.

Відповідно до чого, необхідно враховувати три базових варіанти обробки типізованих сегментів (мікросегментів).

Перший варіант. Розглядаються сегменти $S''(X; 4)$, які не впливають на втрату СЦ ВІР та не мають в своєму складі мікросегментів, насичених з позиції наявності СС властивостей. Тут кількість v_{\parallel} мікросегментів з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості дорівнює 4, $v_{\parallel} = 4$.

Бітовий об'єм $V(S''(X; 4)_\tau)$ синтаксичного опису сегментів такого типу визначається виразом [2; 51] :

$$V(S''(X; 4)_\tau) = 4v(\beta)_\tau + v(\ell) \cdot \sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u, \tau)}, \quad (4.1)$$

де $\sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u, \tau)}$ - загальна кількість ОДК в τ -му сегменті (узагальнено за всіма

чотирма мікросегментами);

$v(\beta)_\tau$ - кількість біт для представлення усередненого значення початкових елементів ОДК за кожним мікросегментом;

$v(\ell)$ - кількість біт для кодового опису довжини ОДК;

Загальну кількість сегментів такого типу у відеокадрі будемо позначати як $v(S''(X; 4))$.

Другий варіант. Тут розглядаємо сегменти $S'(X; 4)_\tau$, що є значимими за впливом на ЗСЦ та містять тільки такі мікросегменти $S'(X)_\tau^{(u)}$, які є значимими за рівнем СС насиченості. Тобто, кількість v_{ll} мікросегментів з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості дорівнює нулю, $v_{ll} = 0$. Відповідно, кількість мікросегментів, що є насиченими, дорівнює 4, $v_{hl} + v_{ml} = 4$, де v_{hl} - кількість мікросегментів з високим рівнем структурно-статистичної насиченості; v_{ml} - кількість сегментів, що мають середній рівень структурно-статистичної насиченості.

В цьому випадку бітовий об'єм кожного u -го мікросегменту визначається кількістю біт, що витрачається на синтаксичний опис кодової конструкції $G'_y(k; u)_\tau$. Така кодова конструкція містить послідовності кодограм $g'(k; u)_\alpha^{(\tau)}$ для значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(\tau)}$ після розміщення в їх зайвих бітах складових $\Delta g(\ell; u)_\tau$ єдиної кодограми $G_y(\ell; u)_{i,j}$ коду $E_y(\ell; u)_\tau$ сукупності довжин ЛДК, за допомогою кодової диз'юнкції Φ_{cdis} ,

$g'(k; u)_\alpha^{(\tau)} = \varphi_{\text{cdis}}(g(k; u)_\alpha^{(\tau)}; \Delta g(\ell; u)_\tau)$. Звідси, оцінювання бітового об'єму $V(S'(X; 4))_\tau$ для τ -го сегменту $S'(X; 4)_\tau$ проводиться за формулою [2; 51]:

$$V(S'(X; 4))_\tau = \sum_{\tau=1}^4 V'_y(k; u)_\tau = \sum_{\tau=1}^4 \sum_{\alpha=2}^{v(u)_\tau-1} v(k; u)_\alpha = 8 \sum_{\tau=1}^4 (v(u)_\tau - 1). \quad (4.2)$$

Тут

$V'_y(k; u)_\tau$ - кількість біт на синтаксичний опис кодової конструкції $G'_y(k; u)_\tau$ значимого за рівнем СС насиченості мікросегменту після скорочення кількості зайвих біт в кодограмах $g(k; u)_\alpha^{(\tau)}$ значимих компонент $k(y; u)_\alpha^{(\tau)}$;

$v(k; u)_\alpha$ - довжина кодограми $g(k; u)_\alpha^{(\tau)}$ в бітах;

$(v(u)_\tau - 1)$ - кількість ЛДК в u -му МСК τ -го сегменту.

Кількість таких сегментів $S'(X; 4)_\tau$ будемо позначати величиною $v(S'(X; 4))$.

Третій варіант. В цьому випадку можливі два типізовані процеси обробки.

Перший такий процес стосується обробки сегментів $S'(X; v_{\parallel} \geq 1)_\tau$, що є значимими за впливом на ЗСЦ, але містять мікросегменти $S(X)^{(u)}$, які є змішаними за рівнем СС насиченості. В цьому випадку кількість v_{\parallel} мікросегментів з низьким рівнем структурно-статистичної насиченості буде не меншою ніж 1, $v_{\parallel} \geq 1$. Розглянемо випадок оцінки бітового об'єму $V(S'(X; v_{\parallel} \geq 1))_\tau$ для випадку коли кількість не значимих мікросегментів буде найменшою (найгірший з позиції зменшення бітового об'єму випадок). В цьому разі виконується рівність $v_{\parallel} = 1$. Тоді для двох мікросегментів застосовується варіант кодування в умовах усунення зайвої кількості біт для варіанту змішаного сегменту. Для двох інших мікросегментів, які є значимими за рівнем СС насиченості, застосовується схема кодового

утворення за другим варіантом. З врахуванням чого, отримуємо співвідношення для визначення загального бітового об'єму $V(S'(X; v_{\parallel} \geq 1))_{\tau}$ сегменту $S'(X; v_{\parallel} \geq 1)_{\tau}$, тобто [2; 51] :

$$\begin{aligned}
 V(S'(X; v_{\parallel} \geq 1))_{\tau} &= V'_y(k; \ell; u)_{\tau} + \sum_{\tau=1}^2 V'_y(k; \xi)_{\tau} = \\
 &= (v(u)_{\tau} - 2) \cdot v(k; \ell; u)^{(\tau)} + \sum_{\tau=1}^2 \sum_{\alpha=2}^{v(\xi)_{\tau}-1} v(k; \xi)_{\alpha} = \\
 &= (v(u)_{\tau} - 2) \cdot v(k; \ell; u)^{(\tau)} + 8 \sum_{\tau=1}^2 (v(\xi)_{\tau} - 1). \tag{4.3}
 \end{aligned}$$

Тут $V'_y(k; \ell; u)_{\tau}$ - довжина в бітах для кодової конструкції $G'_y(k; \ell; u)_{\tau}$, яка формується в результаті усунення зайвої кількості біт в кодовому описі значимих компонент і довжин ЛДК. Величина такого зменшення дорівнює кількості біт, що витрачається на кодове представлення не значимих мікросегментів.

Приймемо далі кількість таких сегментів рівною $v(S'(X; v_{\parallel} \geq 1))$.

Другий процес для третього варіанту полягає в обробці сегментів $S''(X; v_{ml} = 1)_{\tau}$, які не значимі за впливом на СЦ ВІР, але такі, що містять один мікросегмент з середнім рівнем СС насиченості ($v_{ml} = 1$). В цьому разі, два мікросегменти будуть оброблятися як такі, що відповідають змішаному варіанту. Навпаки, інші два сегменти кодуються за схемою, що відповідає першому варіанту. Отже, тоді будемо мати наступну формулу для оцінювання бітового об'єму $V(S''(X; v_{ml} = 1))_{\tau}$ сегменту $S''(X; v_{ml} = 1)_{\tau}$, а саме :

$$V(S''(X; v_{ml} = 1))_{\tau} = V'_y(k; \ell; u)_{\tau} + \sum_{\tau=1}^2 V_y(\beta; \ell; \xi)_{\tau} =$$

$$= (v(u)_\tau - 2) \cdot v(k; \ell; u)^{(\tau)} + \sum_{\tau=1}^2 (v(\beta)_\tau + v(\ell) \cdot \sum_{\xi=1}^2 v_{ld}^{(\xi; \tau)}), \quad (4.4)$$

де $\sum_{\xi=1}^2 v_{ld}^{(\xi; \tau)}$ - кількість ОДК в двох мікросегментах, що є не значимими за рівнем СС насиченості;

$V_y(\beta; \ell; \xi)_\tau$ - довжина кодової конструкції $G_y(\beta; \ell; \xi)_\tau$ синтаксичного опису не значимого мікросегменту $S''(X)_\tau^{(\xi)}$ в бітах.

Далі кількість сегментів $S''(X; v_{ml} = 1)$ такого типу позначається величиною $v(S''(X; v_{ml} = 1))$.

Зрозуміло, що загальна кількість $v(S)$ сегментів, з яких складається відеокадр буде визначатися наступними складовими :

$$v(S) = v(S'(X; 4)) + v(S''(X; 4)) + v(S'(X; v_{ll} \geq 1)) + v(S''(X; v_{ml} = 1)).$$

або з врахуванням розмірів мікросегментів:

$$v(S) = \frac{Q(X)}{4 \cdot m \cdot n} = \frac{M \cdot N}{4 \cdot n^2},$$

де $4 \cdot n^2$ - розмір сегменту, який містить чотири мікросегменти розміром $n \cdot n$.

Отже, загальний об'єм V_{cod} синтаксичного опису кодованого відеокадру для створеного підходу буде визначатись наступною формулою :

$$V_{cod} = \sum_{\tau=1}^{v(S''(X; 4))} V(S''(X; 4))_\tau + \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; 4))} V(S'(X; 4))_\tau + \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; v_{ll} \geq 1))} V(S'(X; v_{ll} \geq 1))_\tau + \sum_{\tau=1}^{v(S''(X; v_{ml} = 1))} V(S''(X; v_{ml} = 1))_\tau. \quad (4.5)$$

В цій формулі відповідні складові знаходяться за співвідношеннями (4.1) – (4.4).

Таким чином, за викладеним матеріалом можна підсумувати наступне. Створено модель для оцінювання рівня зменшення бітового об'єму ВІР в процесі забезпечення його доступності. Тут враховується:

- визначення рівня насиченості мікросегментів за їх СС властивостями;
- попередня типізація сегментів з позиції їх впливу на ЗСЦ;
- компактне представлення сегментів, яке здійснюється на основі усунення зайвої кількості біт в залежності від типів сегментів та наявності в них мікросегментів з різним рівнем СС насиченості.

4.2. Порівняльне оцінювання різних методів кодування за рівнем зменшення бітового об'єму відеоресурсу при передачі в інфокомунікаційних мережах

Тут наводимо залежності для коефіцієнта компресії в залежності від рівня цілісності (PSNR). За основу беремо наведене в першому розділі.

Розглянемо порівняння впливу різних підходів (існуючого та створеного) кодування в стандартизованих платформах на ступінь κ_{comp} зменшення бітового об'єму. В якості стандартизованого процесу обрано методи сімейства JPEG, JPEG2000. Реалізуються кодеки на основі динамічного статистичного кодування кортежів для ЛДК МСК [114 – 131]. Відповідне порівняння наведено у вигляді графіків на рис. 4.1. Представлені залежності величини κ_{comp} від кількісного показника рівня збереження цілісності ВІР: PSNR. Діапазон значень величини PSNR обирається з врахуванням необхідності охоплення критичних значень, тобто таких рівнів PSNR, для яких встановлюються оцінки втрат цілісності ВІР. На цьому

рисунку також наведені відмітки критичних рівнів $PSNR_{crit}$, за яких відбуваються втрати інформації, тобто часткова або повна руйнація відеокадрів. Для оцінювання використовуються відеокадри що мають середній рівень насиченості деталізуючою інформацією. Відеокадри є реалістичним, їх кількість перевищує 100 для забезпечення довіри до результатів. Визначення бітового об'єму V_{cod} для розроблено методу здійснювалось на основі виразу (4.5).

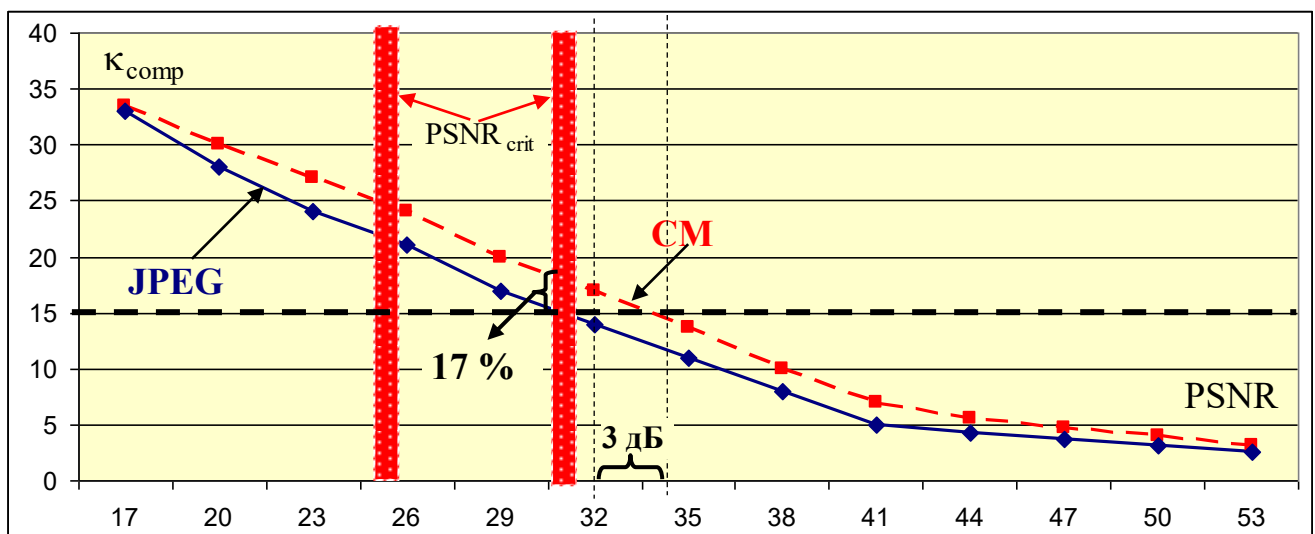


Рисунок 4.1. – Графіки залежності K_{comp} насичених деталізуючою інформацією відеокадрів від PSNR для різних методів кодування в стандартизованих платформах

Аналіз наведених даних на рис. 4.1 дозволяє зробити наступні висновки :

- для розробленого методу кодування рівень зменшення бітового об'єму відеокадрів, які насичені деталізуючою інформацією, в залежності від кількісного показника PSNR змінюється в межах від 3,2 до 33,5 разів;

- для створеного кодеку у разі його використання для стандартизованих підходів досягається додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиску) в порівнянні з існуючими методів кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага досягається у разі забезпечення рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа

PSNR для достатнього рівня цілісності VIP). Додаткове збільшення значення коефіцієнту стиснення сягає 17 %;

- зниження переваги спостерігається при PSNR на рівні менш ніж 25 дБ.

За рахунок додаткового зменшення бітового об'єму відеоресурсу створюються умови для відповідного додаткового (у порівнянні з існуючими методами) скорочення на 10 % часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності. У той же час, у разі фіксованого рівня зниження бітового об'єму, наприклад, у 15 разів, досягається додаткове збільшення показника PSNR на 3 дБ. Відповідно, можна стверджувати, що для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, створюються умови для збільшення рівня цілісності при обраному рівні доступності відеоресурсу.

Отже, розроблений метод створює додаткові умови для забезпечення доступності VIP шляхом зменшення його бітового об'єму в умовах забезпечення достатнього рівня цілісності (збереження семантичної цілісності VIP).

4.3. Розробка моделі для оцінювання складності процесу кодування за кількістю типових арифметичних операцій

Проведемо оцінювання складності технології кодування типізованих сегментів, як складової, що формує часові затримки на обробку VIP, в загальному процесі забезпечення його доступності. Тут пропонується враховувати особливості обробки кожного з трьох типів сегментів.

Відповідно до цього маємо наступний розподіл кількості типових арифметичних операцій за технологічними операціями процесу кодування відеокадру за допомогою створеного методу.

1. Визначення кількості операцій на проведення типізації сегментів для всього відеокадру розміром $M \times N$. Спершу виконується $M \cdot N$ операцій порівняння для встановлення та параметризації областей допустимої корекції. Після чого для безпосереднього визначення рівня СС насиченості кожного u -го мікросегменту виконується :

- $v_{ld}^{(u;\tau)}$ операцій додавання та одна операція множення та поділу ($v_{ld}^{(u;\tau)}$ - кількість ОДК, які виявлені для u -го мікросегменту τ -го сегменту) – для визначення значення квадратичного показника $\delta(x; u)$;
- максимум дві операції порівняння – для перевірки умов $\delta_{\min} < \delta(x; u) \leq \delta_{\max}$;

Для всього τ -го сегменту, тобто для чотирьох мікросегментів, потрібно виконати наступну кількість операцій :

$$\sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u;\tau)} \text{ (операцій додавання)} + 4 \text{ (операції множення)} + 4 \text{ (операції поділу)} + 8 \text{ (операцій порівняння)}.$$

Для всіх сегментів у відеокадрі ($v(S)$ - кількість сегментів у відеокадрі) відповідно :

$$\sum_{\tau=1}^{v(S)} \sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u;\tau)} \text{ (операцій додавання)} + 4 v(S) \text{ (операції множення)} + 4 v(S) \text{ (операції поділу)} + 8 v(S) \text{ (операцій порівняння)}.$$

2. Кодування типізованих сегментів.

2.1. Тут основна кількість операцій припадає на визначення середнього значення $\beta(u)_\tau$ початкових значень $\beta(u)_\alpha$ для α -ї ОДК для кожного u -го мікросегменту, та визначається $v_{ld}^{(u;\tau)}$ операціями додавання. Відповідно для

всіх сегментів такого типу у відеокадрі необхідно виконати $\sum_{\tau=1}^{v(S''(X;4))} \sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u;\tau)}$ (операцій додавання).

2.2. В залежності від етапу процесу кодування сегментів такого типу розподіл кількості операцій буде мати наступний вигляд :

1) виконання ДКП-перетворення : $n^2 \cdot \log_2 n^2$ операцій множення та додавання;

2) виявлення ланцюгів допустимої корекції в МСК - n^2 операцій порівняння;

3) визначення коду $E_y(\ell; u)_\tau$ для $(v(u)_\tau - 2)$ елементів :

- для ваговизації $w(\ell; u)_\alpha^{(\tau)}$ окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину $\lambda(\ell; u)$ ЛДК $Y(u)^{(\alpha)}$ - $(v(u)_\tau - 2)$ операцій порівняння; $(v(u)_\tau - 2)$ операцій множення;

- на безпосереднє формування величини $E_y(\ell; u)_\tau$, за формулою

$$\sum_{\alpha=2}^{v(u)-1} \ell(y; u)_\alpha^{(\tau)} \cdot w(\ell; u)_\alpha^{(\tau)} - (v(u)_\tau - 2) \text{ операцій множення} + (v(u)_\tau - 2)$$

операцій додавання;

4) знаходження мінімальної кількості зайвих біт - $(v(u)_\tau - 2)$ операцій порівняння;

5) кількість операцій на виконання кодової диз'юнкції (виконання перетворення, яке задається функціоналом

$g'(k; u)_\alpha^{(\tau)} = \Phi_{cdis}(g(k; u)_\alpha^{(\tau)}; \Delta g(\ell; u)_\tau)$, тобто усунення зайвої кількості $\Delta v(k; u)_{\min}^{(\tau)}$ біт за допомогою оператора Φ_{cdis} кодової диз'юнкції шляхом

додавання складової $\Delta g(\ell; u)_{i,j}$ кодограми $G_y(\ell; u)_\tau$ до коду $g(k; u)_\alpha^{(\tau)}$ складає :

- $(v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву – один мікросегмент;

- $\sum_{u=1}^4 (v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву – на весь сегмент

відповідного типу;

- $\sum_{\tau=1}^{v(S'(X;4))} \sum_{u=1}^4 (v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву – всі $v(S'(X;4))$

сегменти даного типу у відеокадрі.

2.3. На рівні двох мікросегментів сегментів даного типу необхідна наступна кількість типових арифметичних операцій :

1) виконання ДКП-перетворення : $2n^2 \cdot \log_2 n^2$ операцій множення та додавання;

2) знаходження ЛДК та їх параметризація : $2n^2$ операцій порівняння;

3) обчислення мінімальної кількості зайвих біт для кодограм $g(k; \ell; u)^{(i;j)}$ за кодами $k(y; u)_2^{(i;j)}$ та $\ell(y; u)_2^{(i;j)}$ потребує $2(v(u)_\tau - 2)$ операцій порівняння;

4) перетворення складових кодограми $G_y(k; \ell; u)_{i,j}$ для композиції послідовностей зайвих біт вимагає $(v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву;

5) кількості операцій циклічного зсуву для розміщення на зайвих позиціях кодограми $g(k; \ell; u)^{(i;j)}$ відповідних складових $\Delta g_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ кодової конструкції $G_y(\beta; \ell; \xi)_{i,j}$ за допомогою оператора Φ_{cdis} кодової диз'юнкції:

- $(v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву – один мікросегмент

- $\sum_{u=1}^2 (v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву – сегмент відповідного типу

- $\sum_{\tau=1}^{v(S'(X; v_{\parallel} \geq 1))} \sum_{u=1}^2 (v(u)_\tau - 2)$ операцій циклічного зсуву – всі

$v(S'(X; v_{\parallel} \geq 1))$ сегменти даного типу у відеокадрі.

Узагальнена кількість арифметичних операцій *на один сегмент, розміром* n^2 наведена в табл. 4.1.

Для всього відеокадру розміром $M \cdot N$ в загальному випадку складність за кількістю типових арифметичних операцій для розробленого методу кодування визначається за допомогою наступного співвідношення :

$$\begin{aligned}
& M \cdot N + 8v(S) + 4v(S'(X; 4)) \cdot n^2 + 2 \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; 4))} \sum_{u=1}^4 (v(u)_\tau - 2) + \\
& 2v(S'(X; v_{||} \geq 1)) \cdot n^2 + 2 \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; v_{||} \geq 1))} \sum_{u=1}^2 (v(u)_\tau - 2) \text{ (операцій порівняння)} + \\
& + \sum_{\tau=1}^{v(S)} \sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u; \tau)} + \sum_{\tau=1}^{v(S''(X; 4))} \sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u; \tau)} + 4v(S'(X; 4)) \cdot n^2 \cdot \log_2 n^2 + \\
& \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; 4))} \sum_{u=1}^4 (v(u)_\tau - 2) + 2v(S'(X; v_{||} \geq 1)) \cdot n^2 \cdot \log_2 n^2 \text{ (операцій додавання)} + \\
& + 4v(S) + 4v(S'(X; 4)) \cdot n^2 \cdot \log_2 n^2 + 2 \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; 4))} \sum_{u=1}^4 (v(u)_\tau - 2) + \\
& + 2v(S'(X; v_{||} \geq 1)) \cdot n^2 \cdot \log_2 n^2 \text{ (операції множення)} + 4v(S) \text{ (операції поділу)} \\
& + \\
& + \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; 4))} \sum_{u=1}^4 (v(u)_\tau - 2) + 2 \sum_{\tau=1}^{v(S'(X; v_{||} \geq 1))} \sum_{u=1}^2 (v(u)_\tau - 2) \text{ (операцій циклічного} \\
& \text{зсуву)}.
\end{aligned}$$

Звідки можна заключити те, що для розробленого методу в порівнянні з існуючими, які використовуються в стандартизованих платформах, досягається скорочення кількості арифметичних операцій. Це забезпечується наступним :

- основна кількість операцій пов'язана з виконанням ДКП-перетворення. Але такі дії виконуються лише для тих мікросегментів, які мають значимий рівень (високий або середній) СС насиченості;

Таблиця 4.1. -

Розподіл кількості типових арифметичних операцій в залежності від технологічного етапу для кодування типових сегментів

Тип арифметичних операцій	Технологічні етапи			
	Типізація сегментів	Кодування перший варіант	Кодування другий варіант	Кодування третій варіант
Порівняння	$8 + n^2$	-	$4n^2 + 2 \sum_{\tau=1}^4 (v(u)_{\tau} - 2)$	$2n^2 + 2 \sum_{u=1}^2 (v(u)_{\tau} - 2)$
Додавання	$\sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u;\tau)}$	$\sum_{u=1}^4 v_{ld}^{(u;\tau)}$	$4n^2 \cdot \log_2 n^2 + \sum_{\tau=1}^4 (v(u)_{\tau} - 2)$	$2n^2 \cdot \log_2 n^2 +$
Множення	4	-	$4n^2 \cdot \log_2 n^2 + 2 \sum_{\tau=1}^4 (v(u)_{\tau} - 2)$	$2n^2 \cdot \log_2 n^2 +$
Поділу	4	-	-	-
Циклічного зсуву	-	-	$\sum_{u=1}^4 (v(u)_{\tau} - 2)$	$2 \sum_{u=1}^2 (v(u)_{\tau} - 2)$

- виключаються операції, пов'язані з використанням дійсних чисел.
- Для розробленого методу застосовуються операції з цілими числами;
- за рахунок переходу до рівномірних кодограм знижується кількість операцій множення.

Наприклад, порівнюючи дані в табл. 1.3 та табл. 4.1, можна заключити, що для розробленого методу в порівнянні з існуючими кількість операцій додавання та множення у разі обробки відеокадрів з середнім рівнем насиченості деталізуючою інформацією скорочуються відповідно в середньому на 15 % та 25 %. Це створює умови для додаткового зниження часової затримки в процесі організації доступності VIP, яка безпосередньо пов'язана процесом їх кодування.

Таким чином, на основі розробленого співвідношення можемо встановити оцінку загальної кількості арифметичних операцій, яку потрібно виконати для формування синтаксичного опису компактного представлення відеокадру для створеного підходу. Дане співвідношення лежить в основі відповідної моделі оцінювання складності створеного процесу кодування за кількістю типових арифметичних операцій в умовах попередньої типізації сегментів за рівнем їх впливу на ЗСЦ VIP та подальшим врахуванням цього під час кодування.

Відповідні порівняльні оцінки часових затримок t_{total} наведено у вигляді діаграм на рис. 4.2. Тут рівень PSNR визначається в 35 дБ.

Звідси, можна підсумувати, що часова затримка для розробленого методу в порівнянні з існуючими, які використовуються для стандартизованих платформ, в зазначених умовах скорочується в середньому на 15 %. Отже, розроблений метод кодування VIP створює умови для збільшення рівня його доступності (в середньому на 15 %) при забезпеченні потреб за рівнем цілісності (рівень PSNR = 35 дБ).

Висновки за четвертим розділом

1. Створено модель для оцінювання рівня зменшення бітового об'єму ВІР в процесі забезпечення його доступності. Тут враховується:

- визначення рівня насиченості мікросегментів за їх СС властивостями;
- попередня типізація сегментів з позиції їх впливу на ЗСЦ;
- компактне представлення сегментів, яке здійснюється на основі усунення зайвої кількості біт в залежності від типів сегментів та наявності в них мікросегментів з різним рівнем СС насиченості.

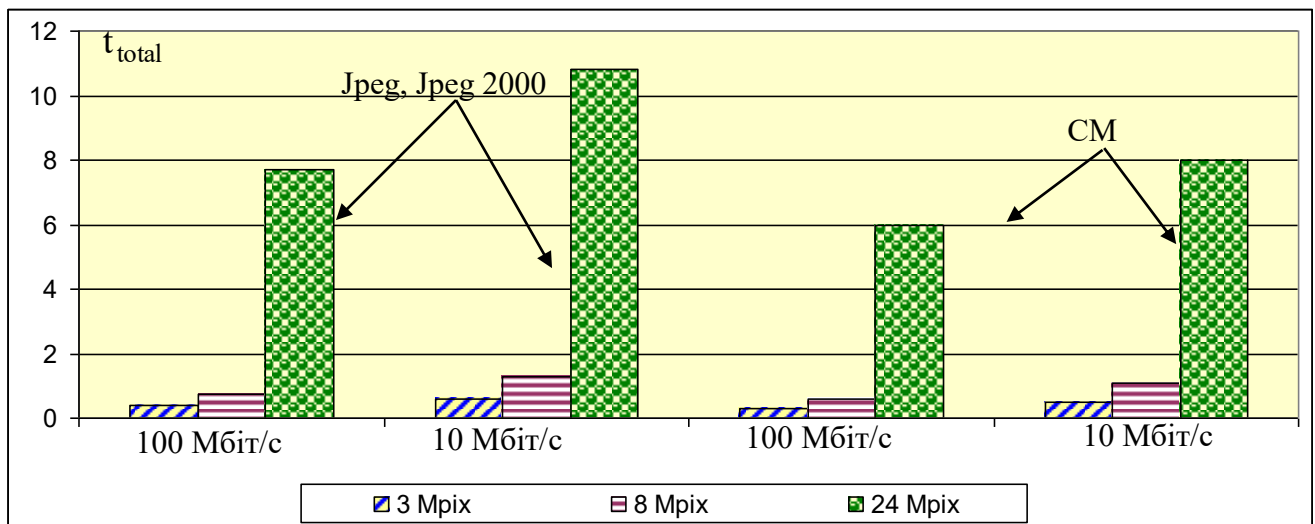


Рисунок 4.2. – Діаграма порівняння оцінок t_{total} різних методів в залежності від величин $Q(X)$ та κ_{comp} з врахуванням характеристик SP, PR сучасних ІКМ для PSNR = 35 дБ

2. Для розробленого методу кодування в умовах його інтеграції зі стандартизованими платформами у разі обробки відеокадрів, які є насиченими деталізуючою інформацією, забезпечується :

- рівень зменшення бітового об'єму в залежності від кількісного показника PSNR в межах від 3,2 до 33,5 разів;

- додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиску) в порівнянні з існуючими методами кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага досягається у разі забезпечення

рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа PSNR для достатнього рівня цілісності VIP). Додаткове збільшення значення коефіцієнту стиснення сягає 17 %;

- зниження переваги спостерігається при PSNR на рівні менш ніж 25 дБ.

За рахунок додаткового зменшення бітового об'єму відеоресурсу створюються умови для відповідного додаткового (у порівнянні з існуючими методами) скорочення на 10 % часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності. У той же час, у разі фіксованого рівня зниження бітового об'єму, наприклад, у 15 разів, досягається додаткове збільшення показника PSNR на 3 дБ. Відповідно, можна стверджувати, що для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, створюються умови для збільшення рівня цілісності при обраному рівні доступності відеоресурсу.

3. Розроблено модель для оцінювання загальної кількості арифметичних операцій, яку потрібно застосувати для формування синтаксичного опису компактного представлення відеокадру для створеного підходу. В основі моделі лежить співвідношення для визначення складності запропонованого процесу кодування за кількістю типових арифметичних операцій в умовах попередньої типізації сегментів за рівнем їх впливу на ЗСЦ VIP та подальшим врахуванням цього для кодування.

Для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, що використовуються в стандартизованих платформах, досягається скорочення кількості арифметичних операцій. Це забезпечується наступним :

- основна кількість операцій пов'язана з виконанням ДКП-перетворення. Але такі дії виконуються лише для тих мікросегментів, які мають значимий рівень (високий або середній) СС насиченості;

- виключаються операції, пов'язані з використанням дійсних чисел. Для розробленого методу застосовуються операції з цілими числами;

- за рахунок переходу до рівномірних кодограм знижується кількість операцій множення.

Для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, кількість операцій додавання та множення у разі обробки відеокадрів з середнім рівнем насиченості деталізуючою інформацією скорочуються відповідно в середньому на 15 % та 25 %. Це створює умови для додаткового зниження часової затримки в процесі організації доступності VIP, яка безпосередньо пов'язана з процесом їх кодування.

4. Часова затримка для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, які використовуються для стандартизованих платформ, в зазначених умовах скорочується в середньому на 15 %. Отже, розроблений метод кодування VIP створює умови відносно збільшення рівня його доступності (в середньому на 15 %) при забезпеченні потреб за рівнем цілісності (рівень PSNR = 35 дБ).

Практичне значення.

Для розробленого методу кодування за умови його інтеграції зі стандартизованими платформами у разі обробки відеокадрів, які є насиченими деталізуючою інформацією, забезпечується :

- рівень зменшення бітового об'єму в залежності від кількісного показника PSNR в межах від 3,2 до 33,5 разів;

- додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиск) відносно існуючих методів кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага щодо існуючих методів досягається у разі забезпечення рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа PSNR для достатнього рівня цілісності VIP). Додаткове збільшення значення коефіцієнту стиснення сягає 17 %;

- зниження переваги спостерігається при PSNR на рівні менш ніж 25 дБ.

За рахунок додаткового зменшення бітового об'єму відеоресурсу створюються умови для відповідного додаткового (у порівнянні з існуючими

методами) скорочення на 10 % часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності. У той же час, у разі фіксованого рівня зниження бітового об'єму, наприклад, у 15 разів, досягається додаткове збільшення показника PSNR на 3 дБ. Відповідно, можна стверджувати, що для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, створюються умови для збільшення рівня цілісності при обраному рівні доступності відеоресурсу.

Для розробленого методу щодо існуючих кількість операцій додавання та множення у разі обробки відеокадрів з середнім рівнем насиченості деталізуючою інформацією скорочуються відповідно в середньому на 15 % та 25 %. Це створює умови для додаткового зниження часової затримки в процесі організації доступності VIP, яка безпосередньо пов'язана процесом їх кодування.

Часова затримка для розробленого методу відносно існуючих, які використовуються для стандартизованих платформ, в означених умовах скорочується в середньому на 15 %. Отже розроблений метод кодування VIP створює умови відносно збільшення рівня його доступності (в середньому на 15 %) при забезпеченні потреб за рівнем цілісності (рівень PSNR = 35 дБ).

Основні науково-прикладні результати досліджень, викладені в четвертому розділі опубліковані в таких наукових працях [2; 51].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано *наукове завдання*, яка полягає в розробці методу кодування для підвищення доступності відеоресурсу з використанням інфокомунікаційних систем під час управління та функціонування систем критичної інфраструктури. Розроблено кодування для підвищення доступності відеоресурсу за умови забезпечення збереження їх семантичної цілісності на основі типізації сегментів та подальшого диференційованого адаптивного кодування з врахуванням кількості мікросегментів з різним рівнем СС насиченості.

Дослідження складових часових затримок, які виникають в процесі забезпечення доступності ВІР дозволяють встановити, що ключовим чинником тут є збільшення бітових об'ємів відеокадрів. Звідки для вирішення наукового завдання *пропонується* використовувати технології стиску (зменшення бітового об'єму ВІР).

Однак, існуючі стандартизовані технології стиску не створюють повною мірою можливості для забезпечення доступності ВІР в умовах збереження достатнього рівня цілісності інформації, а саме :

1) використання стандартизованих технологічних рішень забезпечує рівень стиснення, який може перевищувати 30 - 40 разів. Однак з іншого боку тут відбуваються найбільші спотворення, аж до повної руйнації відеокадру (*втрата цілісності ВІР*);

2) додаткове визначення інших видів надмірності, таких, що не впливають на виникнення помилок, та застосування їх в стандартизованих процесах на етапі кодування даних в спектральному просторі виявило те, що їх роль в загальній стандартизованій технології має певні обмеження. Відповідно, зниження об'єму відносно загального рівня не перевищує 30 %. А для насичених відеокадрів – 10 %. Це є чинником, який призводить до значних сумарних часових затримок в процесі забезпечення доступності ВІР з використанням інфокомунікаційних мереж в умовах забезпечення

достатнього рівня цілісності VIP, який за PSNR визначається оцінкою в 35 дБ.

Подальший розвиток технологій стиску пропонується проводити базуючись на стандартизованих концепціях. Такий підхід полегшує процес подальшої верифікації інноваційних реалізацій. В цьому напрямку *пропонується* в процесі стандартизованої обробки відеокадрів додатково враховувати нерівномірність розподілу рівня насиченості деталізуючої інформації. При цьому для зниження кількості арифметичних операцій, які додатково потрібно витратити на типізацію ділянок відеокадру *пропонується* використовувати властивості СС характеру на основі встановлення та параметризації ОДК, в тому числі тут розуміється області незначної зміни значень елементів яскравісної або кольорових складових. Відповідно зміна рівня насиченості ділянки деталізуючою інформацією буде зумовлювати адекватну зміну розмірів ОДК.

Таким чином, *мета дисертаційних досліджень* стосується підвищення доступності VIP на основі врахування рівня впливу їхніх сегментів на збереження семантичної цілісності.

Основні наукові результати:

1. Розроблено метод виявлення значимих сегментів з позиції збереження семантичної цілісності відеоресурсу на основі використання вирішальної системи правил для оцінки структурно-статистичних властивостей мікросегментів за яскравісною складовою кольорорізнисцевого представлення відеокадру. Система правил з ідентифікації сегментів відеокадру на основі встановлення інформаційної значимості його локальних ділянок (мікросегментів) з врахуванням впливу щодо збереження необхідного рівня цілісності об'єктів інтересу, базується на такій концепції :

1) на першому рівні створюється система визначення позиціонування значення кількісного показника (метрики) оцінки структурно-статистичної насиченості ділянок мікросегменту відносно меж діапазону допустимої значимості за рівнем впливу на ЗСЦ відеокадру;

2) на другому рівні будується система вирішальних правил для оцінки значимості всього сегменту з позиції ЗСЦ відеоресурсу на основі використання інформації про кількість мікросегментів із різним рівнем структурно-статистичної насиченості.

2. Розроблено метод класифікації мікросегментів за рівнем їх впливу на ЗСЦ за трьома класами на основі формування квадратичної метрики для кількісної оцінки рівня його структурно-статистичної насиченості з використанням виявлення та параметризації областей допустимої корекції за локальною ознакою ділянок, які *проріджені* у двовимірному просторі в діагональному напрямку.

3. Розроблений метод типізації ділянок відеокадрів на основі виявлення та параметризації областей допустимої корекції дозволяє автоматично визначати області відеоресурсу, які мають виражені контрастні, структурні та яскравісні перепади. Залежно від встановлених порогових значень, що визначають рівень семантичної складності, досягається адекватне виділення значимих областей відеокадру. Це створює умови для :

- збереження семантичної цілісності відеоресурсу саме за рахунок визначення сегментів (мікросегментів), які мають на це вагомий вплив;

- зменшення бітового об'єму синтаксичного (кодованого) представлення відеоресурсу саме шляхом встановлення сегментів (мікросегментів), які не впливають на втрати семантичної цілісності відеоресурсу.

4. Побудовано метод для створення синтаксичного опису компактного представлення сегментів, які не впливають на втрату семантичної цілісності ВІР.

5. Обґрунтовано та розроблено метод компактного синтаксичного представлення сегментів відеокадрів, які є значимими за впливом на збереження СЦ ВІР, та не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень СС насиченості. Метод базується на виконанні наступних технологічних операцій :

- визначення мінімальної рівномірної кількості зайвих біт для кожної значимої компоненти ЛДК масиву спектральних компонент;
- формування єдиної блочної кодограми для всієї сукупності довжин ЛДК за принципом розміщення в ній єдиного коду, що отримується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину ЛДК.
- розбиття єдиної кодограми для сукупності довжин ЛДК МСК на підкодограми, довжина яких відповідає рівномірній мінімальній кількості зайвих біт;
- усунення зайвої кількості біт в кодограмах значимих компонент шляхом їх кодової диз'юнкції з відповідними за довжиною підкодограмами сукупності довжин ЛДК МСК.

6. Розроблено метод зменшення бітового об'єму значимих за ЗСЦ ВІР сегментів, які мають змішаний вміст мікросегментів з різним рівнем СС насиченості. Базова технологічна складова полягає у розробці та використанні процесу виключення зайвих біт кодограм ЛДК значимих мікросегментів шляхом заповнення їх інформативними складовими кодограм не значимих мікросегментів.

7. Дисертаційні дослідження проводились в рамках НДР "Дослідження та розробка моделей, методів і засобів захисту від кібератака в інформаційних системах та мережах" (№16КП064-03), ДРН №0121U113248 та шифр "Руна" (№0118U000678).

8. Результати досліджень прийняті до впровадження у Державний науково-дослідний інститут МВС України (акт впровадження від 22.06.2023 р.).

9. Таким чином, мета дослідження щодо підвищення доступності ВІР на основі врахування рівня впливу їхніх сегментів на збереження семантичної цілісності досягнута і всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати є внеском у розвиток методів підвищення доступності та семантичної цілісності відеоресурсів.

10. Основні результати дисертаційних досліджень можуть бути використані у процесі експлуатації системи СКІ для підвищення швидкості прийняття рішень на основі відеоінформації, що особливо актуально в умовах воєнного стану.

Основні практичні результати дослідження:

1. Показано (в результаті попередньої експертної оцінки), що кількість сегментів, які мають значимий вплив на збереження семантичної цілісності відеокадру сягає від 40 до 80 %. Це підтверджує важливість застосування технологічного механізму для виявлення та оцінки сегментів за їх впливом на ЗСЦ ВІР. З одного боку, коли кількість інформативних сегментів знаходиться на рівні 40 %, створюються умови для додаткового зменшення бітового об'єму відеокадрів, тобто забезпечення умови доступності ВІР за часом його доставки або отримання користувачами (замовниками). З іншого боку, у разі, якщо кількість інформативних сегментів у відеокадрі збільшується до 80 %, то, відповідно, формуються умови для уникнення втрат цілісності ВІР.

Експериментальна обробка відеокадрів з використанням програмної моделі для створеної *диференційно-інтегрованої* концепції визначення значимих сегментів з позиції ЗСЦ ВІР показала наступні результати :

- кількість коректно встановлених інформативних сегментів відносно реально існуючої кількості сегментів такого типу (які попередньо встановлено в результаті експертної оцінки) сягає 90 %, тобто помилка першого роду в середньому знаходиться на рівні 10 %;

- кількість сегментів, які встановлено як такі, що мають вагомий інформативний вплив на ЗСЦ ВІР, а насправді, навпаки, є незначимими (сегменти, що не впливають на втрати інформації) не перевищує 13 % (помилки другого роду).

2. Для розробленого методу кодування за умови його інтеграції зі стандартизованими платформами у разі обробки відеокадрів, які є насиченими деталізуючою інформацією, забезпечується :

- рівень зменшення бітового об'єму в залежності від кількісного показника PSNR в межах від 3,2 до 33,5 дБ;

- додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиску) у порівнянні з існуючими методами кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага досягається у разі забезпечення рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа PSNR для достатнього рівня цілісності VIP). Додаткове збільшення значення коефіцієнту стиснення сягає 17 %;

- зниження переваги спостерігається при PSNR на рівні менш ніж 25 дБ.

За рахунок додаткового зменшення бітового об'єму відеоресурсу створюються умови для відповідного додаткового (у порівнянні з існуючими методами) скорочення на 10 % часових затримок його передачі інфокомунікаційними мережами в процесі забезпечення доступності. У той же час, у разі фіксованого рівня зниження бітового об'єму, наприклад, у 15 разів, досягається додаткове збільшення показника PSNR на 3 дБ. Відповідно, можна стверджувати, що для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, створюються умови для збільшення рівня цілісності при обраному рівні доступності відеоресурсу.

3. Розроблено модель для оцінювання загальної кількості арифметичних операцій, яку потрібно застосувати для формування синтаксичного опису компактного представлення відеокадру для створеного підходу. В основі моделі лежить співвідношення для визначення складності створеного процесу кодування за кількістю типових арифметичних операцій в умовах попередньої типізації сегментів за рівнем їх впливу на ЗСЦ VIP та подальшим врахуванням цього для кодування.

Для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, що використовуються в стандартизованих платформах, досягається скорочення кількості арифметичних операцій. Це забезпечується наступним :

- основна кількість операцій пов'язана з виконанням ДКП-перетворення. Але такі дії виконуються лише для тих мікросегментів, які мають значимий рівень (високий або середній) СС насиченості;

- виключаються операції, пов'язані з використанням дійсних чисел.

Для розробленого методу застосовуються операції з цілими числами;

- за рахунок переходу до рівномірних кодограм знижується кількість операцій множення.

Для розробленого методу, у порівнянні з існуючими, кількість операцій додавання та множення у разі обробки відеокадрів з середнім рівнем насиченості деталізуючою інформацією скорочуються відповідно в середньому на 15 % та 25 %. Це створює умови для додаткового зниження часової затримки в процесі організації доступності ВІР, яка безпосередньо пов'язана з процесом їх кодування.

4. Часова затримка для створеного методу, у порівнянні з існуючими, які використовуються для стандартизованих платформ, в зазначених умовах скорочується в середньому на 15 %. Отже, розроблений метод кодування ВІР створює умови відносно збільшення рівня його доступності (в середньому на 15 %) при забезпеченні потреб за рівнем цілісності (рівень PSNR = 35 дБ).

Достовірність отриманих результатів (адекватність методу ідентифікації сегментів за їх впливом на ЗСЦ) ґрунтується на : співпадінні практичних результатів визначення інформативних сегментів в процесі обробки відеокадрів з використанням розробленого методу та результатів, які отримані за допомогою експертних оцінок (вважаються еталонними); проведенні експериментів з використанням більш ніж 300 відеозображень, що мають різний характер структурної та семантичної насиченості об'єктами інтересу або відомостями про них; результатах візуальної оцінки відновлених відеозображень з врахуванням попереднього визначення саме інформативних сегментів з використанням розробленого методу їх ідентифікації.

Достовірність результатів щодо характеристик доступності та цілісності відеоінформації підтверджується: адекватністю результатів оцінки

доступності та цілісності, отриманих на основі аналітичних виразів та моделювання, оцінкам, отриманим експериментальним шляхом при організації реальних сеансів ВКС; теоретичними розрахунками взаємної однозначності процесів кодування та реконструкції трансформованого представлення відеозображень; візуальною оцінкою семантичної цілісності відеоінформаційного ресурсу, що реконструюється.

Результати дисертаційної роботи доцільно використати:

- в процесі організації інформаційного забезпечення процесів управління та функціонування систем критичної інфраструктури в умовах кризових ситуацій та воєнного стану з виконанням вимог безпеки інформації;
- при забезпеченні безпеки відеоресурсу за показниками доступності та цілісності під час проведення відеоконференцзв'язку у відомчих системах управління для вирішення завдань у кризових ситуаціях та за умов воєнного стану;
- при проведенні конструкторських та науково-дослідних робіт зі створення нових технічних та програмних засобів для забезпечення інформаційної безпеки відеоінформаційного ресурсу;
- при викладанні навчальних дисциплін з інформаційної безпеки, теорії інформаційних воєн, цифрової обробки зображень та кодування з підготовки фахівців у ВНЗ України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / О. В. Гофайзен, А. И. Ляхов и др. *Труды Украинского научно-исследовательского института радио и телевидения*. Одесса, 2000. № 3. С. 3-40.
2. Бабенко Ю. М. Метод диференційованого кодування сегментів на основі врахування структурно-статистичної насиченості // *Сучасна спеціальна техніка*. – 2023. - № 1. – С. 5 – 18.
3. Бабенко Ю.М. Метод кодування мікросегментів відеоресурсу в спектральному просторі для підвищення їх цілісності та доступності // *Сучасна спеціальна техніка*. – 2022. - № 2. – С. 23 – 33.
4. Бабенко Ю.М. Метод збереження семантичної цілісності відеоресурсу в інфокомунікаційних системах. *Наукоємні технології*. - 2020. -№4. – С. 95 – 104.
5. Баранник В. В., Поляков В. П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. Харьков: ХУПС, 2010. 234 с.
6. Бабенко Ю. М., Бараннік В. В., Бараннік В. В., Колесник В. О. Метод кодування значимих за впливом на семантичну цілісність відеосегментів для забезпечення доступності // *Наукоємні технології*. - том. 54 № 2 (2022). С. 118 – 126. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16749>.
7. Баранник В. В., Поляков В. П., Слободянюк А. В. Кодирование трехмерных моделей видеокадров в инфотелекоммуникационных системах: монография / под ред. В. В. Баранника. Каменец-Подольский, 2011. 210 с.
8. Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Бараннік В.В., Єрошенко В.П., Ревва К.В., Яковенко О.В. Метод підвищення доступності відеоресурсу з

врахуванням рівня структурно-статистичної насиченості сегментів // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - № 3. – С. 7 – 19.

9. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник В.В., Игнатъев А.А., Сидченко Е.С. Технология компоновочного кодирования микросегментов для повышения безопасности видеоресурсов в инфокоммуникационных системах // Безпека інформації. – 2020. - №3. – С. 181 – 190.

10. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Рябуха Ю.М., Сорокун А.Д., Твердохліб В.В. Метод кодування бітового опису трансформант на базі незалежних кодових структур у технології управління інтенсивністю відео потоку. Наукоємні технології. - 2019. -№3.(43). – С. 295 – 299.

11. Баранник В.В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, О.С. Куліца // Монографія. – Черкасы, 2015. – 143 с.

12. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник Н.В., Пугачев Р.В., Шульгин С.С. Проблематичні аспекти забезпечення дистанційного відеосервісу в кризовій ситуації. *Кібербезпека. освіта, наука, техніка*. 2020. №3(7). С. 85 – 94.

13. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник Н.В., Шульгин С.С. Технология кодирования сегментов для повышения безопасности видеоресурсов в инфокоммуникационных системах. *Перспективні напрямки захисту інформації: матеріали VI Наук. практ. конф., (Одеса, 2 - 6 вересня 2020 р.)*. Одеса: ОНАЗ, 2020. С. 14 - 16.

14. Баранник В. В., Стасев Ю. В., Корольова Н. А. Структурно-комбинаторное представление данных в автоматизированных система управления: монография / под ред. В. В. Баранника; Харьков. ун-т. Возд. Сил. Харьков, 2009. 252 с.

15. Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Шульгинс.С.С. Метод кодирования для повышения доступности и целостности видеоресурсов в телекоммуникационных система матеріали 20 Міжн. наук.-практ. конф.

"Проблемы информатики и моделирования (ПИМ-2020): (Харків - Одеса, 9 – 14 вересня 2020 р.). Харків-Одеса, НТУ «ХПІ», 2020. С. 20.

16. Блаттер К. Вейвлет-аналіз. Основи теорії: навчальний посібник, 2004. 280 с.

17. Бондарев В. Н., Трестер Г., Чернега В. С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. Харьвов: Конус, 2001. 398с.

18. Бурячок В.Л., Гулак Г.М., Хорошко В.О. Завдання, форми та способи ведення воєн у кібернетичному просторі. Наука і оборона. 2011. № 3. С. 35-42.

19. Бурячок В.Л. Основи формування державної системи кібернетичної безпеки: Монографія. К.:НАУ, 2013. 432 с.

20. Бурячок В. Л., Семко В. В., Толюпа С. В., Складанний П. М. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі. *Радіоелектроніка та телекомунікації*: 2015. С. 151–155.

21. Буров Є., Пасічник В. Комп'ютерні мережі: підручник / ред. Пасічник В. 2-ге вид., оновл. і доп. Львів: Бак, 2003. 584 с.

22. Бабенко Ю. М., Бучик С.С., Пчельніков С.І., Ушань В.М., Цімура Ю.В. Метод кодування низькоінформативних сегментів відеоінформаційного ресурсу для підвищення їх доступності // Наукоємні технології. - 2023. -№ 1. – С. 20 – 27.

23. Бабенко Ю.М., Бучик С.С., Гаврилов Д.С., Слободянюк О.В., Шульгін С.С. *Method of processing video data with the possibility of their protection after quantization. Radioelectronic and Computer Systems. Випуск 2, 2021, С. 64-77. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.06>*.

24. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебн. пособ, 1988. 480 с.

25. Воробйов В. І., Грибунин В. Г. Теорія і практика вейвлет-перетворення: ВУЗ, 1999. 203 с.

26. Гаврилов Д. С., Бараннік В. В., Колесник В. О., Шульгін С. С., Єрмаченков А. В. and Савчук М. В. (2022) "Method of Visual Data Processing

in Telecommunication Network Based on JPEG Platform and Arithmetic Coding”, *Visnyk NTUU KPI Serii A - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (89), pp. 21-28. doi: 10.20535/RADAP.2022.89.21-28.

27. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: монография, 2005. 1073 с.

28. Гургенидзе А. Т. Корше В. І. Мультисервісні мережі та послуги широкополосного доступу: підручник, 2003. 434 с.

29. Горбулін В. П., Биченок М. М., Копка П. М. Актуальні проблеми системного забезпечення інформаційної безпеки України. Форми та методи забезпечення інформаційної безпеки держави: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національна академія СБ України, 2008.– С. 79 – 85.

30. Джервіс Б., Айфічер Є. Цифрова обробка сигналів: практичний підхід /пер. з англ. видавництво: Видавничий дім "Вільямс", 2004. 992 с.

31. Думанский М. В., Кулица О. С. Обоснование требований относительно целостности видеoinформации воздушного мониторинга чрезвычайных ситуаций. *Сучасна спеціальна техніка*. 2012. №4. С. 88 – 91.

32. Жураковський Б.Ю. Аналіз кількості алгоритмів стиснення у каскаді при використанні каскадних методів. *Сучасний захист інформації*. 2015. № 1. С. 56-61.

33. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях: Наука, 1989. 496 с.

34. Комолов Д. И., Сидченко С. А. Анализ состояния видеoinформационного обеспечения органов и подразделений Министерства внутренних дел Украины. *Сучасна спеціальна техніка*. 2014. № 2. С. 36–44.

35. Комолов Д. И., Лукин В. В., Власов А. В. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. *Радиоэлектроника и информатика*. 2013. № 2. С. 44–48.

36. Королев А.В. Метод комплексной обработки изображений / А.В. Королев, В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 5. – С. 10 – 17.

37. Корнєєв В. В., Кисельов А. В. Сучасні мікропроцесори, 2003. 448 с.
38. Кравченко В. Ф., Рвачев В. А. "Wavelet"-системи и их применение в обработке сигналов. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1996. №4. С. 3–20.
39. Красноруцкий А.А. Обоснование проблемных сторон видеоинформационного обеспечения в системе поддержки и принятия решений [Текст] / А.А. Красноруцкий, И.Е. Рогоза // Сучасна спеціальна техніка, К.: ДНДІ МВС України, 2012. – №2(29), – С. 46-51.
40. Красильников М. М. Цифрова обробка зображень: підручник, 2011. 320 с.
41. Красноруцкий А.А. Анализ влияния процесса сжатия видеоинформации на основе характеристики телекоммуникационной сети [Текст] / А.А. Красноруцкий, А.В. Ширяев // Сучасна спеціальна техніка, К. ДНДІ МВС України, 2012. – №1(28), – С. 42-48.
42. Крук Б. І., Попантонопул В. Н., Шувалов В. П. Телекомунікаційні системи та мережі. Том 1: підручник, 2003. 647 с.
43. Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Толюпа С. В. Інфокомунікаційні мережі нового покоління: монографія / под ред. В. Г. Кривуца. Держ. ун-т. інформ. комунікац. технол. Київ: ДУІКТ, 2012. 286 с.
44. Лідовський В. В. Теорія інформації: Наукова думка, 2004. 111 с.
45. Малла С. Вейвлети в обробці сигналів; пер. з англ: Мір, 2005. 671 с.
46. Матрюков Д. Алгоритми стиснення інформації. Ч. 2. Арифметичне кодування. *Наукова думка*. 1994. №1. С. 20–23.
47. Матрюков Д. Алгоритми стиснення інформації. Ч. 4. Алгоритм LZW. *Наукова думка*. 1994. №2. С. 8–11.
48. Міано Дж. Формати та алгоритми стиснення зображень в дії: навчальний посібник / Дж. Міано; пер. з англ. 2003. 336 с.
49. Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Оксінок О.Г., Слободянюк О.В. Метод формування компонуального представлення відеосегментів в

просторово-спектральному описі. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали 3 наук.-практ. конф., (Київ 2–3 квітня. 2020 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2020. С. 147 – 149.

50. Бабенко Ю.М., Оксиюк О.Г. Кодування відеоінформаційного ресурсу в системах критичної інфраструктури. XX Міжнародна науково-технічна конференція “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”, ВОТТП-2020, (Одеса 26-29 червня 2020 року). ОНАЗ, 2020, С. 58 – 61.

51. Бабенко Ю.М., Белікова Т.В., Бараннік В.В., Бучик С.С. Метод кодування відеоресурсів в технологіях забезпечення інформаційної безпеки. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали VI наук.-практ. конф., (Київ 27 квітня. 2023 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2023. С. 128 – 129.

52. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработка изображений: книга. Радио и связь, 1986. 400 с.

53. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: книга в 2 т. / Пер. с англ. Мір, 1985. 736 с.

54. Рао К. Р. Ахмед Н. Ортогональні перетворення при обробці цифрових сигналів /пер. з англ. під ред. І. Б. Фоменко.: Зв'язок, 1980. 248 с.

55. Романчук В. І., Стрихалюк Б. М., Демидов І. В., Бешлей М. І. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах. *Наукові записки УНДІЗ*. 2014. №6(34). С. 82–92.

56. Свириденко В. А. Анализ систем со сжатием данных. Связь, 1978. 183с.

57. Селомон Д. Стиснення даних, зображень та звуку: навчальний посібник. Техносфера, 2004. 368 с.

58. Хаханов В.И. Модели и архитектура вейвлет преобразований для стандарта JPEG 2000 / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, И.А. Побеженко // АСУ и приборы автоматики. – 2007. - №2(139). – С. 4 – 12.

59. Швидкі алгоритми в цифровій обробці зображень: підручник / Т. С. Хуанг, Дж. О. Еклунд, Г. Дж. Нуссбаумер; під ред. Т. С. Хуанга; пер. з англ.: Радіо та зв'язок, 1984. 224 с.
60. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике: ученик. изд. иностр. лит., 1963. 793 с.
61. Чернега В. С. Сжатие информации в компьютерных сетях. Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. 214 с.
62. Шульгін С.С. Технологія кодування трансформованих відеосегментів в нерівноваговому діагонально-позиційному просторі. Наукоємні технології, 2022, №2(54), С. 147-154.
63. Яковенко А. В. Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрішністю. *Системи озброєння і військова техніка*. 2008. Вип. 2(14). С. 128–131.
64. Яковенко А. В., Поляков П. Ф., Баранник В. В. Метод восстановления изображений с контролируемой погрешностью. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2008. № 4. С. 44–47.
65. Яковенко А.В. Технология кодирования трансформант преобразования Уолша / А.В. Яковенко, А.А. Красноручский, С.Л. Никитченко // *Сучасна спеціальна техніка*. – 2009. – Вип. 3(14). – С. 128-135.
66. Adaptive cartooning for privacy protection in camera networks [Text] / A. Erdelyi, T. Barat, P. Valet, T. Winkler, B. Rinner // *Advanced Video and Signal Based Surveillance : proc. 11th IEEE Int. Conf. (AVSS), 26-29 August 2014*. – Seoul, Korea, 2014. – P. 44–49. DOI: 10.1109/AVSS.2014.6918642.
67. Auer, S. and Bliem, A. and Engel, D. and Uhl, A. and Unterweger, A.: Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time. In.: *International Journal of Digital Crime and Forensics (2013)* DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.
68. Babenko Y., Barannik V., Barannik V., Khimenko A., Kulitsa O., Matviichuk-Yudina O. 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.

69. Babenko Y., Barannik D., Hahanova A., Karpiński M., Shaikhanova A., Shmakov V., Smailova B., Veselska O., Yroshenko V. The Technology of Structural Classification of Video Frames in Intelligent Information Communication Systems. “*Development of technology analysis for the content semantics,*” in Engineer of XXI Century - We Design the Future, Bielsko-Biała, Poland: ATH, 2020. P.31 – 40.

70. Barannik V., Shulgin S. The method of increasing accessibility of the dynamic video information resource. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of 13th Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, February 23-26, 2016), Lviv, 2016. P. 621-623. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452133.

71. Babenko Y., Havrylov D., Shaigas O., Stetsenko O., Yroshenko V. Application of Arithmetic Coding Methods in Cryptographic Information Protection Systems. **CEUR Workshop Proceeding (ISSN 1613-0073), 2021, Vol-2923**, pp. 125 – 136. **Scopus**

72. Barannik V., Tarasenko D. Method coding efficiency segments for information technology processing video. *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*: proceedings of 4th International Scientific-Practical Conference. (Kharkov, Ukraine, October 10-13, 2017), Kharkov, 2017. P. 551-555. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246460.

73. Babenko Y., Barannik V., Parkhomenko M., Shulgin S. Video encoding to increase video availability in telecommunication systems. VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv. – C. 323 – 325.

74. 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.

75. Babenko Y., Barannik V., Barannik V., Kolesnyk V., Zhuikov D. "Method Taking into Account Level of Structural and Statistical Saturation of Video Segments in the Coding Process," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 66-71, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193.

76. Babenko Y., Barannik V., Barannik N., Himenko V., Tverdokhlib V. Method of coding dynamic sequence of frame-spline structures of provided frames in info-communications. *IEEE 4rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (IEEE AICT 2021)*. – 2021. – P. 36– 40.

77. Barannik V., Belikova T., Gurzhii P. The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv, 2019. P. 656-661. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030432.

78. Barannik Volodymyr, Barannik Natalia, Slobodyanyuk Oleksandr Indirect information hiding technology on a multiadic basis // Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 2021, Volume T. 11, nr 4, Pages 14 – 17. DOI [10.35784/iapgos.2812](https://doi.org/10.35784/iapgos.2812).

79. Barannik V., Karpinski M., Tverdokhle V., Barannik D., Himenko V, Marek Aleksander. The technology of the video stream intensity controlling based on the bit-planes recombination. *IEEE Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS): proceedings of 4th International Symposium*. (Lviv, Ukraine, September 20-21, 2018), Lviv, 2018. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525560.

80. Barannik D. and Barannik V., "Steganographic Coding Technology for Hiding Information in Infocommunication Systems of Critical Infrastructure," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information

Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 88-91, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.

81. Barannik V., Shulgin S., Krasnorutsky A., Slobodyanyuk O., Gurzhii P. and Korolyova N. Methodological Fundamentals of Deciphering Coding of Aerophotography Segments on Special Equipment of Unmanned Complex. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 38-43. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349257.

82. 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.

83. V. Barannik, S. Sidchenko, D. Barannik and O. Ignatyev, "The Concept Of Creating A Complex Cryptocompression Image Protection System In Infocommunications," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 101-105, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024210.

84. Barannik. D. Stegano-Compression Coding in a Non-Equalible Positional Base. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 83-86. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349328.

85. Barannik V., Barannik N., Khimenko V. 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>.

86. Barannik, V. and Barannik, V. Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer

Science (TCSET'2020), pp. 775-780 (2020)
DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.

87. 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.

88. Barannik V., Shulgin S., Barannik D. and Sidchenko Y., "Quadrature Compression Technology in Two-Level Polyadic Space for Infocommunication Systems," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 84-87, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024217.

89. Barlaud M. Pyramidal lattice vector quantization for multiscale image coding. *IEEE Trans. Image Proc.* 1994. Vol. 3. No. 4. P. 367-381.

90. Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time [Text] / S. Auer, A. Bliem, D. Engel, A. Uhl, A. Unterweger // *International Journal of Digital Crime and Forensics*. – 2013. – Vol. 5, Iss. 3. – P. 1–14. DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.

91. Belikova T. and Sidchenko S., "The Method Drawing up the Text with the Set Suggestive Orientation to Create a Hidden Channel," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 106-110, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024206.

92. Belikova T. Decoding Method of Information-Psychological Destructions in the Phonetic Space of Information Resources. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of the 2nd IEEE International Conference, 2020*. P. 87–91. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349300>.

93. Belikova Tatyana, Lekakh Albert, Dovbenko Oleksii, Dodukh Oleksandr. Method of Increasing the Capacity of Information Threat Detection Filters in Modern Information and Communication Systems. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT 2019): proceedings of the*

IEEE 3rd International Conference, 2019. P. 426-429. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847754.

94. Burrus C. S. Gopinath R. A., On cosine-modulated wavelet orthogonal bases. *IEEE Trans. Image Proc.* 1995. Vol. 4. No. 2. P. 162-177.

95. *Cryptographic and Information Security Approaches for Images and Videos [Text] / S. Ramakrishnan, et al. – CRC Press, 2018. – 962 p. DOI: 10.1201/9780429435461.*

96. Cartooning for Enhanced Privacy in Lifelogging and Streaming Videos [Text] / E. T. Hassan, R. Hasan, P. Shaffer, D. Crandall, A. Kapadia // *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops: proc. IEEE Conf. (CVPRW)*. 21-26 July 2017. – Honolulu, USA, 2017. – P. 1333–1342. DOI: 10.1109/CVPRW.2017.175.

97. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.

98. Chen H., Ding Z., Gua Y., Peng Q. GPU accelerated interactive space-time video matting. *In Computer Graphics International*. 2010. P. 163-168.

99. Chigorin A., Krivovyaz G., Velizhev A., Konushin A. A method for traffic sign detection in an image with learning from synthetic data. *Digital Signal Processing and its Applications: the 14th Intern. conf.* 2012. Vol 2. P. 316-335.

100. Egiazarian K., Ponomarenko N., Lukin V., Astola J. Partition Schemes in DCT Based Image Compression. *Technical Report 3-2002*. Tampere University of Technology: Finland, 2002. 100 p.

101. Dufaux, F. and Ebrahimi, T.: Toward a Secure JPEG. *Applications of Digital Image Processing XXIX*, Vol. 6312 (2006) DOI: 10.1117/12.686963.

102. Ieremeiev, O. Combined visual quality metric of remote sensing images based on neural network / O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Okarma // *Radioelectronic and computer systems*. – 2020. – № 4. – P. 4-15. DOI: 10.32620/reks.2020.4.01.

103. Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8; ITU-T Recommendation T.807, 108 p. (2007).

104. FIPS 197. Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES) [Text]. – Introd. 2001-11-26. – Federal Information Processing Standards Publication, 2001. – 51 p.

105. Farajallah, M. Chaos-based crypto and joint crypto-compression systems for images and videos [Electronic resource] / M. Farajallah. – 2015. – 211 p. – Access mode: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01179610>. – 11.01.2022.

106. Gonzales R. C., Woods R. E. Digital image processing. Prentice Inc. Upper Saddle River. New Jersey, 2002. 779 p.

107. Grundmann M., Kwatra V., Han M., Essa I. Efficient hierarchical graph based video segmentation. *IEEE CVPR*. 2010. P. 85-91.

108. JPEG Privacy & Security Abstract and Executive Summary (2015) Available via JPEG.ORG. https://jpeg.org/items/20150910_privacy_security_summary.html.

109. JPEG image scrambling without expansion in bitstream size [Text] / K. Minemura, Z. Moayed, K. Wong, X. Qi, K. Tanaka // Image Processing : proc. 19th IEEE Int. Conf., 30 Sept.-3 Oct. 2012. – Orlando, FL, USA, 2012. – P. 261–264. DOI: 10.1109/ICIP.2012.6466845.

110. Ji, Sh. Image encryption schemes for JPEG and GIF formats based on 3D baker with compound chaotic sequence generator [Electronic resource] / Sh. Ji, X. Tong, M. Zhang. – 2012. Access mode: <https://arxiv.org/abs/1208.0999>. – 11.01.2022.

111. Kaarna A., Parkkinen J. Blockwise Distortion Measure for Lossy Compression of Multispectral Image. *Proceeding of the 10-th European Signal Processing Conference*, (Finland, 5-8 sept. 2000). Tampere, Finland, 2000. P. 2197-2200.

112. Kang H. R. Color Technology for Electronic Imaging Devices. *The International Society for Optical Engineering*. Vol. PM28. Bellingham:WA, 1997.

113. Krasnorutsky A., Kolesnyk V., Berchanov A., Barannik V., Kharchenko N. and Malko O., "Method of Structural-Statistical Coding of Video Segments in Spectral-Cluster Space," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 32-37, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024240.

114. Kobayashi, H. Bitstream-Based JPEG Image Encryption with File-Size Preserving [Text] / H. Kobayashi, H. Kiya // Consumer Electronics : proc. 7th IEEE Global Conf. (GCCE), 9-12 Oct. 2018. – Nara, Japan, 2018. – P. 1–4. DOI: 10.1109/gcce.2018.8574605.

115. Komolov, D. Selective method for hiding of video information resource in telecommunication systems based on encryption of energy-significant blocks of reference I-Frame [Text] / D. Komolov, D. Zhurbynskyy, O. Kulitsa // 1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2015). - 2015. – P. 80-83.

116. Kossentini F., Chung W. C., Smith M. Subband image coding using entropy-constrained residual vector quantization. *Information Processing and Management*. 1994. Vol. 30. No. 6. P. 887-896.

117. Korshunov, P. Using warping for privacy protection in video surveillance [Text] / P. Korshunov, T. Ebrahimi // Digital Signal Processing : proc. 18th IEEE Int. Conf. (DSP), 1-3 July 2013. – Fira, Greece, 2013. – P. 1–6. DOI: 10.1109/ICDSP.2013.6622791.

118. Korshunov, P. Using face morphing to protect privacy [Text] / P. Korshunov, T. Ebrahimi // Advanced Video and Signal Based Surveillance : proc. 10th IEEE Int. Conf., 27-30 August 2013. – Krakow, Poland, 2013. – P. 208–213. DOI: 10.1109/AVSS.2013.6636641.

119. Li, F. Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT / F. Li, S. Krivenko, V. Lukin // Radioelectronic and computer systems. – 2020. – № 2. – P. 22-32. DOI: 10.32620/reks.2020.2.02.

120. Lee S. Y., Yoon J. C. Temporally coherent video matting. *Graphical Models* 72. 2010. P. 25-33.

121. Lempitsky V., Barinova O., Kholi P. On detection of multiple object instances using hough transforms. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*. 2012. P. 177-184.

122. Lezama J., Alahari K., Sivic J., Laptev I. Track to the future: Spatio-temporal video segmentation with long-range motion cues. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2011. P. 256-289.

123. Milyaev S., Barinova O., Novikova T., Lempitsky V. Binarization for end-to-end text understanding in natural images. *ICDAR*. 2013. P. 35-42.

124. Miano J. Compressed image file formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 264 p. (1999).

125. Naor, M. Visual Cryptography [Text] / M. Naor, A. Shamir // Proc. of the Advances in Cryptology – EUROCRYPT'94. Lecture Notes in Computer Science. – 1995. – Vol. 950. – P. 1–12. DOI: 10.1007/bfb0053419.

126. Pratt K. Digital image processing: PIKS inside: *third edition*. Inc., 2001. 738 p.

127. Phatak, A. A Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm [Text] / A. Phatak // International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. – 2016. – Vol. 8, No. 6. – P. 64–71. DOI: 10.5815/ijigsp.2016.06.08.

128. Rivest, R. L. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems [Text] / R. L. Rivest, A. Shamir, L. M. Adleman // Communications of the ACM. – 1978. – Vol. 21, Iss. 2. – P. 120–126. DOI: 10.1145/359340.359342.

129. Sindeev M., Konushin A., Rother C. Alpha-flow for video matting. *Technical Report*. 2012. P. 41-46.

130. Sharma, R. Data Security using Compression and Cryptography Techniques [Text] / R. Sharma, S. Bollavarapu // International Journal of Computer Applications. – 2015. – Vol. 117, No. 14. – P. 15–18. DOI: 10.5120/20621-3342.

131. Shestov A., Akimov D., Voronov A., Vatolin D. Occlusion Refinement for Stereo Video Using Optical Flo. *International Conference on 3D Imaging*. 2012. P. 115-138.

132. Shulgin S., Barannik V. and Barannik N., "Dynamic Coding Method of Video Segments Stream by Specifying Structural Changes," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 76-79, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024179.

133. Strykhalyuk B., Kahalo I., Brych M., Beshley M., Seliuchenko M. Implementation of wireless heterogeneous network based on LTE core virtualization for military communication systems. *Systems of Arms and Military Equipment*. 2014. No. 4. P. 125-132.

134. Slobodyanyuk O., Krasnorutsky A., Bezruk V., Onyshchenko R., Kolesnyk V. and Podlesny S., "Approach to Coding with Improved Integrity of Video Information for Transmission in Wireless Infocommunication Networks," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 38-42, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024245.

135. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. Methodology of stereoscopic motion picture quality assessment. *Stereoscopic Displays and Applications XXIV. Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging (SPIE)*. 2013. P. 67-69.

136. Wang J., Bai X., Simons D. Towards temporally-coherent video matting. *Proceedings of the 5th international conference on computer vision/computer graphics collaboration techniques*. MIRAGE'11, Springer-Verlag. 2011. P. 63-74.

137. Wintz P. F., Habibi A. Image coding by linear transformation and block quantization. *IEEE Trans. Commun. Tech.* 1971. Vol. COM – 19. No. 1. P. 5-63.

138. Wong, K.-W.: Image encryption using chaotic maps. *Intelligent Computing Based on Chaos*, Vol. 184, pp. 333–354 (2009) DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4_16.

139. Yuan, L. Secure JPEG Scrambling enabling Privacy in Photo Sharing [Text] / L. Yuan, P. Korshunov, T. Ebrahimi, // Automatic Face and Gesture Recognition : proc. 11th IEEE Int. Conf. and Workshops (FG), 4-8 May 2015. – Ljubljana, Slovenia, 2015. – P. 1–6. DOI: 10.1109/FG.2015.7285022.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості
про апробацію результатів дисертації

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Babenko Y., Barannik D., Nahanova A., Karpiński M., Shaikhanova A., Shmakov V., Smailova B., Veselska O., Yroshenko V. The Technology of Structural Classification of Video Frames in Intelligent Info-Communication Systems. “*Development of technology analys for the content semantics,*” in Engineer of XXI Century - We Design the Future, Bielsko-Biała, Poland: ATH, 2020. P.31 – 40. **Scopus**

Monograpah, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej

Бабенко Ю. М. Метод диференційованого кодування сегментів на основі врахування структурно-статистичної насиченості // Сучасна спеціальна техніка. – 2023. - № 1. – С. 5 – 18.

Бабенко Ю.М. Метод кодування мікросегментів відеоресурсу в спектральному просторі для підвищення їх цілісності та доступності // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - № 2. – С. 23 – 33.

Бабенко Ю.М. Метод збереження семантичної цілісності відеоресурсу в інфокомунікаційних системах. Наукоємні технології. - 2020. -№4. – С. 430 – 438. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.48.15088>

Бабенко Ю. М., Бучик С.С., Пчельніков С.І., Ушань В.М., Цімура Ю.В. Метод кодування низькоінформативних сегментів відеоінформаційного ресурсу для підвищення їх доступності // Наукоємні технології. - 2023. -№ 1. – С. 20 – 27. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.57.17441>

Бабенко Ю. М., Бараннік В. В., Бараннік В. В., Колесник В. О. Метод кодування значимих за впливом на семантичну цілісність відеосегментів для

забезпечення доступності // Наукоємні технології. - том. 54 № 2 (2022). С. 118 – 126. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.54.16749>.

Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Бараннік В.В., Єрошенко В.П., Ревва К.В., Яковенко О.В. Метод підвищення доступності відеоресурсу з врахуванням рівня структурно-статистичної насиченості сегментів // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - № 3. – С. 7 – 19.

Бабенко Ю.М., Бучик С.С., Гаврилов Д.С., Слободянюк О.В., Шульгін С.С. *Method of processing video data with the possibility of their protection after quantization. Radioelectronic and Computer Systems. Випуск 2, 2021, С. 64-77. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2021.2.06>. Scopus*

Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник В.В., Игнатъев А.А., Сидченко Е.С. Технология компоновочного кодирования микросегментов для повышения безопасности видеоресурсов в инфокоммуникационных системах // Безпека інформації. – 2020. - №3. – С. 181 – 190. DOI: <https://doi.org/10.18372/2225-5036.26.15154>

Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Рябуха Ю.М., Сорокун А.Д., Твердохліб В.В. Метод кодування бітового опису трансформант на базі незалежних кодових структур у технології управління інтенсивністю відео потоку. Наукоємні технології. - 2019. -№3.(43). – С. 295 – 299.

Бабенко Ю.М., Бараннік В.В., Бараннік Н.В., Пугачев Р.В., Шульгін С.С. Проблематичні аспекти забезпечення дистанційного відеосервісу в кризовій ситуації. *Кібербезпека. освіта, наука, техніка*. 2020. №3(7). С. 85 – 94. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.8594>

Babenko Y., Havrylov D., Shaigas O., Stetsenko O., Yroshenko V. Application of Arithmetic Coding Methods in Cryptographic Information Protection Systems. CEUR Workshop Proceeding (ISSN 1613-0073), 2021, Vol-2923, pp. 125 – 136. **Scopus**

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Оксіюк О.Г., Слободянюк О.В. Метод формування компонуального представлення відеосегментів в просторово-

спектральному описі. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали 3 наук.-практ. конф., (Київ 2–3 квітня. 2020 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2020. С. 147 - 149.

Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Окснюк О.Г. Кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімку в інфокомунікаційних системах. XX Міжнародна науково-технічна конференція “*Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*”, *ВОТТП-2020*, (Одеса 26-29 червня 2020 року). ОНАЗ, 2020, С. 95 – 96.

Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Баранник Н.В., Шульгин С.С. Технологія кодирования сегментов для підвищення безпеки відеоресурсов в інфокомунікаційних системах. *Перспективні напрями захисту інформації*: матеріали VI Наук. практ. конф., (Одеса, 2 - 6 вересня 2020 р.). Одеса: ОНАЗ, 2020. С. 14 - 16.

Бабенко Ю.М., Баранник В.В., Шульгин С.С. Метод кодирования для підвищення доступності і цілостності відеоресурсов в телекомунікаційних системах матеріали 20 Міжн. наук.-практ. конф. "Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ-2020): (Харків - Одеса, 16 – 20 вересня 2020 р.). Харків-Одеса, НТУ «ХПІ», 2020. С. 20.

Бабенко Ю.М., Белікова Т.В., Баранник В.В., Бучик С.С. Метод кодування відеоресурсів в технологіях забезпечення інформаційної безпеки. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали VI наук.-практ. конф., (Київ 27 квітня. 2023 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2023. С. 128 – 129.

Babenko Y., Barannik V., Barannik N., Himenko V., Tverdokhlib V. Method of coding dynamic sequence of frame-spline structures of provided frames in info-communications. *IEEE 4rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (IEEE AICT 2021)*. – 2021. – P. 36–40. DOI: 10.1109/AICT52120.2021.9628928

Babenko Y., Barannik V., Barannik V., Kolesnyk V., Zhuikov D. "Method Taking into Account Level of Structural and Statistical Saturation of Video

Segments in the Coding Process," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 15-17 December 2022, pp. 66-71, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024193. **Scopus**

Babenko Y., Barannik V., Parkhomenko M., Shulgin S. Video encoding to increase video availability in telecommunication systems. VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv. – С. 323 – 325.

Babenko Y., Barannik V., Barannik V., Khimenko A., Kulitsa O., Matviichuk-Yudina O. "Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 52-56, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256. **Scopus**

Апробація результатів дисертації була проведена на:

проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS): матеріали 3 наук.-практ. конф., (Київ 2–3 квітня. 2020 р.);

“Development of technology analys for the content semantics,” in Engineer of XXI Century - We Design the Future, Bielsko-Biała, Poland: АТН, 2020;

XX Міжнародна науково-технічна конференція “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”, ВОТТП-2020, (Одеса 26-29 червня 2020 року);

перспективні напрямки захисту інформації: матеріали IV Наук. практ. конф., (Одеса, 2 - 6 вересня 2020 р.). Одеса: ОНАЗ; 20 Міжн. наук.-практ. конф. "Проблемы информатики и моделирования (ПИМ-2020): (Харків - Одеса, 9 – 14 вересня 2020 р.);

VI Міжн. наук.-практ. конф. Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS), (Київ, 27 квітня 2023 р.). Київ: Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка;

IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (IEEE AICT 2021);

2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine; VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv;

IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020.

Додаток Б

Акт реалізації результатів досліджень

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного науково-дослідного інституту МВС України,
доктор юридичних наук, професор,
заслужений юрист України



Михайло ВЕРБЕНСЬКИЙ

«06» _____ 2023 р.

А К Т

**впровадження результатів науково-прикладних досліджень
Бабенка Юрія Михайловича**

Комісія у складі: голови - заступника начальника ДНДІ МВС України, доктора юридичних наук, професора Смерницького Д.В.; членів комісії: завідувача НДЛ СТЗ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Яковенка О.В., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Марченка О.С., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого дослідника Мельника В.Є. склала дійсний акт, який полягає в тому, що при виконанні дослідно-конструкторських робіт використані наступні результати науково-прикладних досліджень Бабенка Юрія Михайловича, а саме:

1. Створено метод класифікації мікросегментів за рівнем їх впливу на збереження семантичної цілісності трьома класами на основі формування квадратичної метрики для кількісної оцінки рівня його структурно-статистичної насиченості з використанням виявлення та параметризації областей допустимої корекції за локальною ознакою ділянок, які *проріджені* у двовимірному просторі в діагональному напрямку.

2. Створений метод типізації ділянок відеокадрів на основі виявлення та параметризації областей допустимої корекції дозволяє автоматично визначати області відеоресурсу, які мають виражені контрастні, структурні та яскраві перепади. Залежно від встановлених порогових значень, що визначають рівень семантичної складності, досягається адекватне виділення значимих областей відеокадру. Це створює умови для :

- збереження семантичної цілісності відеоресурсу саме за рахунок визначення сегментів (мікросегментів), які мають на це вагомий вплив;
- зменшити бітовий об'єм синтаксичного (кодованого) представлення відеоресурсу саме шляхом встановлення сегментів (мікросегментів), які не впливають на втрати семантичної цілісності відеоресурсу.

3. Розроблено метод компактного синтаксичного уявлення сегментів відеокадрів, які є значимими за впливом на збереження семантичної цілісності відеоресурсу, та не містять мікросегментів, що мають не значимий рівень статистично-структурної насиченості. Метод базується на виконанні наступних технологічних операцій:

- визначення мінімальної рівномірної кількості зайвих біт для кожної значимої компоненти ланцюгу допустимої корекції масиву спектральних компонент;

- формування єдиної блочної кодограми для всієї сукупності довжин ланцюгу допустимої корекції за принципом розміщення в ній єдиного коду, що отримується за рахунок ваговизації окремих елементів в позиційному просторі за обмеженням на максимальну довжину ланцюгу допустимої корекції.

- розбиття єдиної кодограми для сукупності довжин ланцюгів допустимої корекції масиву спектральних компонент на підкодограми, довжина яких відповідає рівномірній мінімальній кількості зайвих біт;

- усунення зайвої кількості біт в кодограмах значимих компонент шляхом їх кодової диз'юнкції з відповідними за довжиною підкодограмами сукупності довжин ланцюгів допустимої корекції масиву спектральних компонент.

Впровадження результатів досліджень Бабенка Юрія Михайловича в практичну діяльність підрозділів МВС України на основі програмно-апаратних реалізацій в умовах інтеграції для стандартизованих платформ у разі обробки відеокадрів, що є насиченими деталізуючою інформацією, дозволило забезпечити:

- рівень зменшення бітового об'єму в залежності від кількісного показника PSNR в межах від 3,2 до 33,5;

- додаткове зменшення бітового об'єму (збільшення значення коефіцієнту стиску) відносно існуючих методів кодування в середньому на 10 %. Найбільша перевага щодо існуючих методів досягається у разі забезпечення рівня цілісності за показником PSNR на рівні 32 дБ (межа PSNR для достатнього рівня цілісності відеоресурсу). Виграш сягає 17 %;

- зниження переваги проявляється для PSNR на рівні менш ніж 25 дБ.

Голова комісії

доктор юридичних наук,
професор


Члени комісії:

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

кандидат технічних наук
старший дослідник

 Д.В. Смерницький

 О.С. Марченко

 О.В. Яковенко

 В.С. Мельник