

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Прим. № ____

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАРАННІК ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.327: 681.5

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОД СТРУКТУРНОГО СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИХОВАНОВОГО КАНАЛУ
ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

172 – електронні комунікації та радіотехніка

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

Д.В. БАРАННІК

Науковий керівник
Безрук Валерій Михайлович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2024 рік

АНОТАЦІЯ

Бараннік Д.В. Метод структурного стеганографічного перетворення для підвищення пропускної здатності прихованого каналу передачі даних. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – електронні комунікації та радіотехніка. – Харківській національний університет радіоелектроніки, Харків, 2024.

У дисертаційній роботі вирішена **науково-прикладна задача**, яка полягає в підвищенні швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень для заданих властивостей відеосервісів з використанням бортових інфокомунікаційних систем.

Розроблено технологію диференційного стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом. Технічним ядром є створений метод змішаного стеганокомпресійного кодування в форматованому стегано-поліадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості просторової позиційно-комбінаторної надмірності.

Для вирішення наукової задачі обґрунтовується необхідність усунення суперечності, що виникає в процесі сумісного використання стеганографічних та компресійних перетворень: з одного боку існуючі інфокомунікаційні технології (ІКТ) кодування створюються без врахування можливості прихованого вбудовування повідомлень у послідовність відеосегментів (ВС); з іншого боку теоретична база сучасних стеганографічних перетворень не в повній мірі враховує технологічні особливості процесів скорочення кількості надмірності та кодування.

Обґрунтовується підхід для компресійного кодування ВС з вбудовуванням прихованої інформації на основі: створення єдиної концепції відносно компресійного кодування контейнера та стеганографічного вбудовування інформації - **стеганокомпресійне кодування**; врахування в процесі стеганокомпресійних перетворень позиційно-комбінаторні залежності для з

врахуванням їх типізації за рівнем структурно-семантичної складності; вбудовування прихованої інформації безпосередньо в динаміці процесу кодування та створення поточного формату ВС.

Розробляється метод контейнерної типізації відеосегментів на основі їх ідентифікації шляхом визначення інформативної ваги за рівнем складності структурно-семантичного змісту. Метод базується на встановленні та кількісній компіляції інформативної ваги з врахуванням локально-інтегрованих структурних залежностей в позиційному просторі ВС. Це створює умови для побудови технології диференційного стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом. Ядром такої технології є стеганокомпресійне кодування в форматі стегано-поліадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості ППК надмірності. В цьому випадку в процесі компресії складових ВС організується безпосередня вбудовування прихованої інформації. Приховування інформації здійснюється трьома технологічними етапами в залежності від компресійного перетворення перехідного синтаксису стегано-ППЧ, а саме: безпосереднє додавання елемента приховуємого повідомлення до позиційно-поліадичного числа. Відповідно утворюється форматне стегано-ППЧ в ФСПБ; технологія двокаскадної імплементації доданих до СППЧ елементів приховуємого повідомлення до синтаксису стеганокомпресійного представлення складових ВС. Розроблений метод в залежності від стратегії врахування рівня інформативності ВС окреслюється такими технологічними компонентами: розробляється змішане стеганокомпресійне кодування на основі позиційних систем з використанням стегано-форматованого диференціально-поліадичного базису для відеосегментів з високим потенціалом щодо встановлення просторових позиційно-комбінаторних залежностей; створюється змішане стеганокомпресійне кодування з попередньою трансформацією відеосегментів з обмеженим рівнем інформативності за структурно-семантичним змістом до спектральноадичного простору з врахуванням прямої функціональної залежності позиційно-комбінаторної ваги від позиції в числі; для відеосегментів з

низьким рівнем допустимої до скорочення кількості ПСВ надмірності – будуються стеганокompресійні перетворення в спектральноадичному базисі на основі: врахування зворотної функціональної залежності позиційно-комбінаторної ваги від позиції в числі; додаткового маскувannya спектральноадичного базису для непрямого приховування елемента шляхом компенсації корегованої компоненти.

Для відновлення ЗВКР та санкціонованого вилучення прихованої інформації розробляється метод зворотних змішаних стеганокompресійних перетворень з виключенням додаткових відомостей, який враховує умови авторизації. В основі методу лежить двокаскадна кодова рекомбінація прихованої інформації на основі зворотних стеганокompресійних перетворень. Основні характеристики методу стосуються реконструкції стегано-ППЧ за двокаскадною концепцією, на основі масковано-залежного позиційного декодування стеганокодового значення в форматованому стегано-поліадичному базисі з попереднім детектуванням за допомогою нерівномірного двійкового блокового кодування. Це дозволяє відновити початкові ВС та вилучити приховану інформацію без втрат цілісності за умов: виключення надлишкових службових відомостей; скорочення кількості обчислювальних операцій на стеганокompресійні перетворення.

В результаті експериментальних досліджень показано переваги створеного методу щодо збільшення швидкості прихованого у compресійному відеопотоці каналу передачі вбудованої інформації.

Наукова новизна основних результатів досліджень.

1. *Удосконалено* метод кількісного оцінювання інформативної ваги ВС на основі врахування структурних залежностей в яскравісно-часовому просторі. Відмінності методу полягають у *компліації* якісних та семантичних особливостей ВС в набір кількісних показників за його локальними та інтегральними структурними залежностями в позиційному просторі. Це створює умови для підвищення рівня compресії відеосегментів та стеганографічної ємності вбудованих даних з виключенням демаскуючих факторів без втрат цілісності.

2. *Удосконалено* метод форматування стегано-поліадичного базису на основі властивостей позиційних кодових систем. Відмінності методу полягають у створенні перерозподіленого позиційно-комбінаторного простору для імплементації безпосередньо доданих елементів в стегано-кодових значеннях СППЧ. Це дозволяє створити умови для прихованої імплементації вбудованої інформації в стеганокомпресійне представлення відеосегментів без втрати їх цілісності під час вилучення та відновлення.

3. *Вперше* створено метод змішаного стеганокомпресійного кодування на основі позиційних систем в *маскованому* поліадичному базисі. Відмінності методу стосуються створення стеганокомпресійного кодування в змішано-маскованому після форматування стегано-поліадичному базисі з реалізацією двокаскадної *кодово-компресійної* імплементації доданого до стегано-ППЧ елементу прихованого повідомлення. Це дозволяє в процесі стиснення відеосегменту забезпечити приховану подвійну імплементацію інформації в умовах виключення її впливу на цілісність відеоресурсів.

4. *Вперше* створено метод змішаного стеганокомпресійного декодування на основі демаскування стегано-поліадичного базису. Відмінності методу полягають у застосуванні двошарової концепції з використанням: структурної залежності між базовим, маскованим та форматованим стегано-поліадичними базисами в процесі: вилучення та декодування стегано-кодового значення; рекомбінації безпосередньо прихованих елементів з стегано-ППЧ в форматованому РСПБ; вилучення непрямо прихованих елементів демаскуванням стегано-форматованого та відновленням базового поліадичних базисів. Це в умовах виключення втрат рівня стиснення та цілісності забезпечує одночасне відновлення відеосегментів та прихованої інформації. При цьому враховується політика авторизації (маскований та демаскований режими) з виключенням надлишкових службових відомостей.

5. *Вперше* створено технологію диференційного стеганокомпресійного перетворення на основі кодування в стегано-поліадичному базисі. Основні відмінності технології стосуються врахування: рівня інформативності відеосегментів за структурно-семантичним змістом, а саме: здійснення СК-

перетворень в позиційному диференціально-поліадичному та спектрально-адичному базисах; в процесі змішаного маскування відсутності нульових компонент спектральноадичного базису. Це дозволяє підвищити швидкість прихованої у компресійному відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень за умов забезпечення: цілісності відео сегментів-контейнерів та вбудованих даних; маскування слідів наявності прихованої у ВС інформації.

Практичне значення отриманих результатів досліджень. Інтеграція створеного методу змішаних стеганокомпресійних перетворень в бортові інфокомунікаційні технології кодування послідовності відеосегментів з врахуванням визначення рівня їх інформативності дозволяє:

1. В умовах виключення втрат цілісності для санкціоновано-вилученої прихованої інформації забезпечити *відносно існуючих підходів*: одночасне збільшення: швидкості стеганокомпресійного каналу в середньому в 2 рази; рівня семантичної цілісності відновленої послідовності ВС за показником ПВСШ в середньому на 15 дБ; підвищення рівня маскування прихованої у ВСК інформації у разі спроби несанкціонованого доступу в середньому на 10дБ.

2. Локалізувати часові затримки на стеганографічне перетворення лінійною складністю та узгодити їх з технологічним процесом компресійного кодування. Це забезпечує: обмеженість впливу СТП на загальні часові затримки щодо обробки послідовності ВСС; допустиму за складністю реалізацію розроблених стеганокомпресійних перетворень на існуючій мікроелектронній базі.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат (БПЛА); інформаційна безпека; інфокомунікаційні системи; пропускна здатність; біометрична аутентифікація; стеганографічні системи; стеганокомпресійне кодування; стиснення відеозображень; динамічна модель; кодери з ДКП; позиційно-поліадичне кодування.

ABSTRACT

Dmitriy Barannik. Structural steganographic transformation method to increase

the bandwidth of a hidden data link. – Scientific qualification work as a manuscript.

Dissertation on the achievement of the Doctor of Philosophy scientific level, specialty 172 – electronic communications and radio engineering – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2024.

In the dissertation, *a scientific and applied problem is solved*, which consists in increasing the speed of the embedded message transmission channel hidden in the coded video stream for the given properties of video services using on-board information communication systems.

The technology of differential steganocompression coding of a sequence of video segments has been developed, depending on the level of their informativeness in terms of structural and semantic content. The technological core is the created method of mixed stegano-compression coding in a formatted stegano-polyadic basis based on taking into account the amount of spatial positional-combinatorial redundancy permissible for reduction.

To solve the scientific problem, the need to eliminate the contradiction arising in the process of the joint use of steganographic and compression transformations is substantiated: on the one hand, existing information and communication technologies (ICT) coding are created without taking into account the possibility of hidden embedding of messages into the sequence of video segments (VS); on the other hand, the theoretical basis of modern steganographic transformations does not fully take into account the technological features of the processes of reducing the amount of redundancy and coding.

The approach for compression coding of the VS with the embedding of hidden information is substantiated on the basis of: creation of a single concept regarding compression coding of the container and steganographic embedding of information, *steganocompression coding*; taking into account in the process of steganocompression transformations positional-combinatorial dependencies for taking into account their typification according to the level of structural-semantic complexity; embedding hidden information directly in the dynamics of the encoding process and creating the current format of the VS.

A method of container typification of video segments is developed based on their identification by determining the informative weight according to the level of complexity of the structural and semantic content. The method is based on established and quantitative compilation of informative weight taking into account locally integrated structural dependencies in the positional space of the aircraft. This creates conditions for building a technology of differential steganocompression coding of a sequence of video segments depending on the level of their informativeness in terms of structural and semantic content. The core of this technology is stegano-compression coding in a formatted stegano-polyadic base based on taking into account the amount of redundancies permissible for reducing the number of PPCs. In this case, the direct embedding of hidden information is organized in the process of compression of the components of the VS. Hiding information is carried out in three technological stages depending on the compression transformation of the transition syntax of stegano-PPCH, namely: the direct addition of the element hides my message to the positional-polyadic number. Accordingly, a formatted stegano-PPCH is formed in FSPB; the technology of the two-stage implementation of the elements of the hidden message added to the SPP to the syntax of the steganocompression representation of the components of the VS. The developed method, depending on the strategy of taking into account the level of informativeness of the VS, is outlined by the following technological components: a mixed stegano-compression coding based on positional systems is developed using a Segano-formatted differential-polyadic basis for video segments with a high potential for establishing spatial positional-combinatorial dependencies; mixed stegano-compression coding is created with a preliminary transformation of video segments with a limited level of informativeness in terms of structural-semantic content to the spectral-adic space, taking into account the direct functional dependence of the positional-combinatorial weight on the position in the number; for video segments with a low level of PSV redundancies admissible for reduction, steganocompression transformations are built in the spectral-adic basis based on: taking into account the inverse functional dependence of the positional-combinatorial weight on the position in the number; additional masking of the spectral-adic basis for indirect element hiding by

compensating the corrected component .

In order to restore the SRS and authorized extraction of hidden information, a method of inverse mixed steganocompression transformations is being developed with the exclusion of additional information, which takes into account the conditions of authorization. The basis of the method is two-cascade code recombination of hidden information based on inverse steganocompression transformations. The main characteristics of the method relate to the reconstruction of the stegano-PPG according to the two-cascade concept, based on the masked-dependent positional decoding of the stegano-code value in the formatted stegano-polyadic base with preliminary detection using non-uniform binary block coding. This allows you to restore the original OS and remove hidden information without loss of integrity under the following conditions: exclusion of redundant service information; reducing the number of computational operations on steganocompression transformations.

As a result of experimental studies, the advantages of the created method for increasing the speed of the embedded information transmission channel hidden in the compression video stream are shown.

Scientific novelty of the main research results .

1. The method of quantitative assessment of the informational weight of VS based on taking into account structural dependencies in the brightness-time space *has been improved* . The differences of the method consist in *the compilation* of qualitative and semantic features of the VS into a set of quantitative indicators based on its local and integral structural dependencies in the positional space. This creates conditions for increasing the level of compression of video segments and the steganographic capacity of embedded data with the exclusion of unmasking factors without loss of integrity .

2. The method of formatting the stegano-polyadic basis based on the properties of positional code systems *has been improved* . The differences of the method consist in the creation of a redistributed positional-combinatorial space for the implementation of directly added elements in the stegano-code values of the SPRCH. This makes it possible to create conditions for the hidden implementation of embedded information in the steganocompression representation of video segments without losing their integrity

during extraction and restoration .

3. *For the first time*, a method of mixed steganocompression coding based on positional systems in *a masked* polyadic basis was created. The differences of the method relate to the creation of stegano-compression coding in a mixed-masked stegano-polyadic basis after formatting with the implementation of a two-cascade *code-compression* implementation of the hidden message element added to the stegano-PPCH. This allows in the process of compression of a video segment to provide a hidden double implementation of information in the conditions of excluding its influence on the integrity of video resources .

4. *For the first time*, a method of mixed steganocompression decoding based on unmasking the stegano-polyadic basis was created. The differences of the method consist in the application of a two-layer concept using: structural dependence between basic, masked and formatted stegano-polyadic bases in the process: extraction and decoding of stegano-code value; recombination of directly hidden elements from stegano-PPCH in formatted RSPB; extraction of indirectly hidden elements by unmasking the stegano-formatted and restoring the basic polyadic bases. This ensures the simultaneous recovery of video segments and hidden information in conditions of exclusion of loss of compression level and integrity. At the same time, the authorization policy (masked and unmasked modes) is taken into account, excluding redundant service information.

5. *For the first time*, the technology of differential steganocompression transformation based on coding in the stegano-polyadic basis was created. The main differences of the technology relate to taking into account: the level of informativeness of video segments in terms of structural and semantic content, namely: implementation of SC transformations in positional differential-polyadic and spectral-adic bases; in the process of mixed masking of the absence of zero components of the spectraladic basis. This makes it possible to increase the speed of the transmission channel of embedded messages hidden in the compression video stream under the conditions of ensuring: the integrity of video segments-containers and embedded data; masking traces of the presence of information hidden in the Armed Forces.

The practical significance of the obtained research results . The integration of the created method of mixed steganocompression transformations into on-board information communication technologies for encoding the sequence of video segments, taking into account the determination of the level of their informativeness allows:

1. In conditions of exclusion of loss of integrity for sanctioned-extracted hidden information, *relative to existing approaches* , *ensure* : simultaneous increase: speed of the steganocompression channel by an average of 2 times; the level of semantic integrity of the restored sequence of the VS according to the PVSSH indicator by an average of 15 dB; increasing the masking level of information hidden in VSK in the event of an unauthorized access attempt by an average of 10dB.

2. Localize time delays for steganographic transformation with linear complexity and match them with the technological process of compression coding. This ensures: limitation of the impact of STP on the overall time delays regarding the processing of the BCC sequence; the implementation of the developed stegano-compression transformations on the existing microelectronic base is acceptable in terms of complexity.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV); information security; infocommunication systems; throughput; biometric authentication; steganographic systems; steganocompression coding; image compression; dynamic model; DCT-based coders; positional-polyadic coding.

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Barannik, D., Bekirov, A., Korotin, Barannik, V., S., Veselska, O., Wieclaw, L. (2020). Method of Safety of Informational Resources Utilizing the Indirect Steganography. In: Zawislak, S., Rysiński, J. (eds) Engineer of the XXI Century. EngineerXXI 2018. Mechanisms and Machine Science, vol 70. *Monograph*, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_17. **Scopus**

2. Barannik D., Babenko Y., 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. *Monogrpah*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej

3. Бараннік Д.В., Бекіров А.Е., Бараннік В.В. Основы теории структурно-комбинаторного стеганографического кодирования: монография. – Харків.: Видавництво «Лідер», 2017. – 256 с.

4. Баранник Д.В. Анализ возможности использования маскирования при выявлении областей для стеганографического встраивания // Научные технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: коллективная монография [под редакцией В.В. Баранника, В.М. Безрука]. – Х.: ТОВ «Видавництво «Лідер»», 2017. – С. 375 - 389.

5. Dmitriy Barannik, Serhii Sidchenko, Sergii Shulgin, Vladimir Barannik, Valeriy Barannik, Anton Datsun (2021). Devising a conceptual method for generating cryptocompression codograms of images without loss of information quality. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (2 (112)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237359>. **Scopus Квантіль Q 3**

6. Barannik D., Shatun O., Kobtseva V., Barannik V. Development of an indirect method of steganographic data hiding in the container image contour // Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ). – 2018. - Volume 8.– №4. – pp. 22 – 25. DOI: 10.5604/01.3001.0012.8016. (*стаття опублікована в журналі Європейського Союзу*)

7. Бараннік Д.В. Метод стеганокompресійного декодування інформації для бездротових інфокомунікаційних технологій // Наукоємні технології. – 2024. - №1. – С. 29 – 35. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.61.18512>.

8. Бараннік Д.В., Оніщенко Р.С., Ревва К.В., Бараннік В.В., Бабенко Ю.М. Метод оцінювання ефективності усічено-позиційного кодування для інфокомунікаційних систем // Наукоємні технології. – 2024. - №2. – С. 175-184. doi: 10.18372/2310-5461.62.18711.

9. Бараннік Д.В. Метод двокаскадної імплантації прихованої інформації на основі стеганокомпресійних перетворень // Інформаційні технології та електронна інженерія. – 2024. - №1. – С. 31 – 38. DOI: <https://doi.org/10.23939/ict2024.01.031>
10. Бараннік Д.В. Технологія стеганографічних перетворень в поліадичному базисі відеосегментів // Сучасна спеціальна техніка. – 2023. - №4(75). – С. 19 – 28. DOI (Issue): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2023.4.\(75\)](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2023.4.(75)).
11. Бараннік Д.В. Технологія приховування інформативного контенту в динамічному потоці відеосегментів // Наукоємні технології. – 2023. - №4. – С. 408-415. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.60.18270>
12. Бараннік Д.В. Методологія створення стеганокомпресійних систем на основі поліадичного базису // Сучасна спеціальна техніка. – 2023. - №3. – С. 25 – 35. [doi.org/10.36486/mst2411-3816.2023.3.\(74\)](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2023.3.(74))
13. Бараннік Д.В. Метод стеганокомпресійного кодування на основі поліадичного базису // Наукоємні технології. – 2023. - №3. – С. 271-279. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17948>
14. Бараннік Д.В., Колесник В.О., Бараннік В.В., Шульгін С.С., Заїчко К.В. Метод виявлення та обробки значимої інформації в просторово-часовій області відеознімку // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - №3. – С. 20 – 31.
15. Бараннік Д.В., Твердохліб В.В., Колесник В.О., Бараннік В.В., Бараннік Н.В., Онищенко Р.С. Метод стеганографічного захисту даних з урахуванням особливостей змісту фрагментів контейнерів графічного типу // Сучасна спеціальна техніка. – 2021. - №4. – С. 25 – 33.
16. Бараннік Д.В., Красноруцкій А.А., Шульгін С.С., Хаханова А.В.,. Метод определения сильно информативных сегментов аэрофотоснимка // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2018. - №1, pp. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.1.02>
17. Бараннік Д.В., Шатун О.Н., Бараннік В.В. Метод непрямого стеганографічного вбудовування даних в зображення-контейнер з урахуванням інформації контуру // Наукоємні технології. – 2018. – №2. – С. 232-239. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.38.12828>

18. Бараннік Д. В., Сорокун А. Д., Дворський М. В., Бараннік В. В. Вдосконалення методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку // Наукоємні технології. – 2018. - № 3. – С. 294-300.

19. Бараннік Д.В., Сидченко С.А. Метод криптосемантичного представлення зображень на основі плаваючої схеми системи поліадичного кодування в диференціальному базисі // Наукоємні технології. – 2017. - №1. – С. 46 – 52.

20. Бараннік Д.В., Тарнополов Р.В., Бараннік В.В., Хаханова Г.В. Метод підвищення оперативності та конфіденційності відеоданих в інфокомунікаційних технологіях // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. - №4. – С. 59-61.

21. Баранник Д.В., Бекиров А.Э. Концепция структурного стеганографического кодирования с маскированием // АСУ та прилади автоматики. - 2014. - Вип.168. - С. 4 - 11

22. Баранник Д.В., Бекиров А.Э., Баранник В.В. Стеганографическая система на основе неравновесного позиционного кодирования // Радіоелектроніка та інформатика. - 2014. - №4. - С. 39 – 45.

23. Патент на корисну модель № 144599, Україна, МПК Н03М 7/30, Н03М 13/00 Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку / Бараннік Д.В., Хіменко В.В., Куліца О.С., Твердохліб В.В., Фустій В.С. та ін. - № u202002968; заяв. 13.10.2020; опубл. 12.10.2020; Бюл. № 19. - 9 с.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. D. Barannik, "Method for Hiding Informative Content in a Dynamic Stream of Segments," 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv, Ukraine, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755687.

2. Barannik D., Ustymenko F., Hurzhii P., Barannik V., Manakov V. and Tsimura Y. "Method of Selective Video Segment Processing for Intelligent Video Image Quality Enhancement Technologies," 2023 IEEE 5th International Conference on

Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 217-220, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452422. **Scopus**

3. Barannik D., 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. **Scopus**

4. Barannik D., Tverdokhlib V., Kulitsa O., Chornomaz I., Savchuk M. and Parkhomenko M. "Method of Selective Steganographic Data Hiding Based on Graphic Containers," 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2022, pp. 499-502, doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9767014. **Scopus**

5. Barannik V., Barannik D., Sidchenko Y., Ignatyev O., Slobodyanyuk O. and Lazuta R., "Method of Masking Information in the Contours of Video Images," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 282-287, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628973. **Scopus**

6. Barannik D., Himenko V., Turenko S., Barannik N., Ignatyev O. and Matviichuk-Yudina O. "Model of Steganographic System Depending on Indirect Conditional Dependencies," 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2021, pp. 36-39, doi: 10.1109/ATIT54053.2021.9678547. **Scopus**

7. Barannik D. "Stegano-Compression Coding in a Non-Equalible Positional Base," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 83-86, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349328. **Scopus**

8. Barannik D., Barannik N. Barannik V. and Ryabukha Y. "Indirect Steganographic Embedding Method Based on Modifications of the Basis of the Polyadic System," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 699-702, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235522. **Scopus**

9. Barannik D., Fustii, V., Tverdokhle V., Slobodyanyuk O., Havrylov D. and Shevchenko I. "Evaluation the Potential Performance of the DCT-Transformants Non-Equilibrium Positional Encoding Method," 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 41-44, doi: 10.1109/ATIT49449.2019.9030460. **Scopus**

10. Barannik D., Fustii V. Barannik V., and Parkhomenko M. "Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs," 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 415-418, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847820. **Scopus**

11. Barannik D., Shatun O., Dodukh O., Ryabukha Y. and Tverdokhle V. "The Indirect Method of Steganographic Embedding of Data in an Image Container Based on the Information of the Contour," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 490-494, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632155. **Scopus**

12. Barannik D., Bekirov A., Lekakh A. and Barannik V. "A steganographic method based on the modification of regions of the image with different saturation," 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 542-545, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336260. **Scopus**

13. Barannik D. Alimpiev A., Bekirov A., Barannik V. and Barannik N. "Detections of sustainable areas for steganographic embedding," 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Novi Sad, Serbia, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110028. **Scopus**

14. Barannik D., Suprun O., Bekirov A., Frolov O. "The new method of secure data transmission on the indirect steganography basis", 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, Armenia, 2016, pp. 1-4. DOI: 10.1109/EWDTS.2016.7807754. **Scopus**

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	21
1. Обґрунтування необхідності підвищення ефективності стеганографічних перетворень в процесі компресійного кодування відеопотоків для бортових інфокомунікаційних систем	33
1.1. Обґрунтування необхідності підвищення конфіденційності бортових інформаційних ресурсів в умовах забезпечення потрібної якості надання відеосервісів на основі стеганографічних перетворень	34
1.2. Обґрунтування вимог до стеганографічних перетворень в умовах забезпечення оперативності та цілісності доставки бортових відео-контейнерних ресурсів бездротовими інфокомунікаційними мережами.....	41
1.3. Обґрунтування необхідності розвитку стеганографічних систем для захисту інформації в процесі відеоінформаційного забезпечення функціонування критичної інфраструктури з використанням бортових інфокомунікаційних технологій.....	53
1.4. Постановка завдань на дослідження.....	63
Висновки за першим розділом.....	66
2. Розробка двоступенькової концепції стеганографічного перетворення в процесі компресійного кодування з селекцією відеосегментів за рівнем інформативності.....	68
2.1. Обґрунтування підходу щодо побудови стеганографічних перетворень в процесі компресійного кодування послідовності відеосегментів в інфокомунікаційних системах.....	69
2.2. Розробка методу оцінювання інформативної ваги відеосегментів на основі використання структурних властивостей в яскравісно-позиційному просторі...	76
2.3. Створення методу форматування розширеного стегано-поліадичного базису з маскуванням прихованої інформації в умовах неавторизованого доступу (стеганоатак).....	89
Висновки за другим розділом.....	108

3. Метод змішаного стеганокомпресійного кодування для підвищення швидкості передачі прихованої інформації відеопотоком в інфокомунікаціях...	111
3.1. Створення методу змішаного стеганокомпресійного кодування відеосегментів в форматованому стегано-поліадичному базисі з маскуванням прихованої інформації.....	112
3.2. Розробка методу стеганокомпресійного декодування з врахуванням змішано-маскованого поліадичного базису.....	125
3.3. Розробка диференційної технології стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів з врахуванням їх інформативності.....	139
Висновки за третім розділом.....	153
4. Порівняльне оцінювання ефективності стеганографічних перетворень з використанням бортових інфокомунікаційних технологій.....	156
4.1. Експериментальне оцінювання адекватності моделі для визначення інформативної ваги щодо дійсної структурно-семантичної складності відеосегменту.....	157
4.2. Порівняльне оцінювання ефективності стеганокомпресійних перетворень з використанням бортових інфокомунікаційних технологій кодування та передачі відеоданих.....	165
Висновки за четвертим розділом.....	179
ВИСНОВКИ.....	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	190
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	207
Додаток Б. Фрагмент програмної реалізації створених методів стеганокомпресійного кодування.....	214
Додаток В. Акт реалізації результатів досліджень.....	222

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БІКТ	–бортові інфокомунікаційні технології
БПІ	– безпілотні платформи
ВКЗ	–відеоконференцзв’язок
ВКОН	–відеоконтроль
ВС	–відеосегмент
ВСК	– відео сегмент-контейнер
ВСС	– відео стегано-сегмент
ДСГ	–додана стеганографічна
ІКС	– інфокомунікаційні системи
ІКТ	– інфокомунікаційні технології
МСП	– існуючі методи стиснення на базі стандартизованої платформи
ЗВКР	–значимі відео-контейнерні ресурси
ЗСПБ	– маскований змішаний стегано-поліадичний базис
ЗСК	–змішана стеганокompресія
ЦВ	– цифрове відеозображення
КРІС	–критична інфраструктура
МБПБ	–маскований базовий поліадичний базис
НСТ	–наземні станції
ОР	–операційні райони
ОСД	–оборонна сфера держави
ПАД	–позиційно-поліадичне
ПБ	–поліадичний базис
ПВС	–потік відеосегментів
ПВСШ	–пікове відношення сигнал/шум
ПДПБ	–позиційний диференціально-поліадичний базис
ППК	–просторові позиційно-комбінаторні
ПОБ	–позиційні обмеження
ППЧ	–позиційно-поліадичне число

ПСВ	–психовізуальні
ПСБ	–позиційний спектральноадичний базис
ПСЧ	–позиційне спектральноадичне число
ПУПР	–пункти управління
РЕБ	–радіоелектронна боротьба
РСПБ	–розширений стегано-поліадичний базис
СКО	–середньоквадратичне відхилення
СК	–стеганокомпресійне
СОБУ	–Сили оборони та безпеки України
СОКРІ	–сегменти оборонної та критичної інфраструктури
СПНФ	–спеціальна інформація
СППЧ	–позиційне стегано-поліадичне число
СТП	– стеганографічні перетворення
СТР	–структурні
СТС	– структурно-семантичний
СФДПБ	–стегано-форматований диференційний поліадичний базис
ТП	–технологічні процеси
ФСПБ	–форматований стегано-поліадичний базис
ФСППЧ	–форматоване стегано-поліадичне числа
LSB	– наймолодшій значимий біт

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах край важливим є забезпечення умов для ефективного: застосування та всебічної підтримки Сил оборони та безпеки України; функціонування критичної інфраструктури держави. В загалі це є комплексним питанням [2; 12; 23 – 25; 27; 32]. В цьому напрямку одним з найважливіших аспектів є підвищення ефективності та безпеки надання відеоінформаційних сервісів з використанням інфокомунікаційних технологій на базі безпілотних платформ (БПП) [12; 23; 43 121]. Це створює умови для своєчасного моніторингу об'єктів інтересу та отримання актуальної інформації. Однак існує множини деструктивних факторів. Вони зумовлені діями протиборчої сторони, та направлені на: знищення БПП; перехват управління БПП; застосування комплексів РЕБ [2; 12; 25; 32; 51; 78].

Отже наряду з досягненням потрібних властивостей бортових відеоресурсів необхідно забезпечувати їх конфіденційність. Для цього в загальному випадку застосовується комплексний підхід. Залучаються технології криптографічного захисту та стеганографічних перетворень (СТП) [3; 19; 20; 44; 57; 88 – 92; 104 - 106].

Водночас збільшується актуальність та значимість застосування стеганографічних технологій. Тут потрібно враховувати, що [3; 92; 122; 126; 128]:

1) бортові відеоресурси визначаються, як *значимі відео-контейнерні ресурси* (ЗВКР). Це зумовлено дуальністю їх функціонального призначення, а саме як:

- значима інформація з позиції ключового впливу на ефективність аналізу та прийняття рішень в КРІС та ОСД;

- контейнерів для приховування спеціальних відомостей в системах комплексного захисту інформації.

2) для зменшення бітової інтенсивності ЗВКР залучаються бортові інфокомунікаційні технології (ІКТ) кодування [11 – 13; 16; 22; 26; 28; 75 – 77; 112 – 114; 116; 117; 123 – 125; 130].

Звідси на синтез *стеганографічних систем* з використанням ЗВКР в процесі управління КРІС та ОСД в умовах воєнного стану впливають наступні *фактори* [3; 14; 19; 29; 30; 33; 33 – 37; 40; 41; 43; 48; 49; 63; 81; 83; 84; 88 – 92]:

1. Складність структурно-семантичного (СТС) змісту ЗВКР та обмежена допустима до скорочення кількість ПСВ надмірності.

2. Значні вимоги до характеристик відеоінформаційного забезпечення (відеосервісів) в системах підтримки та прийняття рішень під час управління КРІС та ОСД, а саме: повноти ЗВКР, своєчасності його доставки та цілісності. Згідно до цих вимог необхідно забезпечувати своєчасну (в реальному часі) доставку широкоформатних ЗВКР з потрібним рівнем цілісності залежно від інформативності за СТС змістом. Отже збільшуються вимоги до продуктивності бортових ІКС.

3. Обмежені характеристики пропускнуої спроможності бортових (безпілотних) та наземних інфокомунікаційних систем, що використовуються для формування, обробки та передачі інформації. Це спричиняє наявність дисбалансу між потрібною та реальною швидкостями передачі даних в бортових ІКС.

4. Залежність характеристик бортових ІКТ *кодування* ЗВК ресурсу від рівня: інформативності СТС змісту; втрат синтаксичної цілісності. Звідси рівень стиснення за умови заданої цілісності ЗВКР *незавжди* задовольняє вимогам щодо потрібної швидкості доставки інформації з використанням бортових ІКС.

Означені фактори впливають на встановлення *ключових вимог* щодо характеристик СТІ. Необхідно збільшити стеганографічну ємність за умов: зменшення деструктивного впливу на ефективність компресійного кодування ЗВКР; потрібного рівня цілісності ЗВКР та санкціоновано-вилученої прихованої інформації; демаскування слідів наявності прихованої у ЗВКР інформації.

На даний час існує значна кількість теоретичних розробок щодо побудови СТІ [3; 40; 97 – 100; 104 – 106; 110; 111]. З практично реалізованих технологій найбільший потенціальний рівень стеганографічної ємності досягається для класу методів вбудовування в наймолодшій значимий біт (LSB). Однак в цьому випадку збільшується: втрата за ефективністю компресійного кодування послідовності

відео стегано-сегментів (ВСС); демаскуючий ефект прихованої інформації у разі спроби несанкціонованого доступу. Наслідком є те, що рівень швидкості прихованого у компресійному відеопотоці вбудованої інформації буде недостатнім для забезпечення потрібних властивостей інформаційного забезпечення для управління в КРІС та ОСД в умовах воєнного часу.

Отже в процесі забезпечення захисту інформації на основі стеганографічних перетворень з використанням компресійного кодування ЗВК ресурсів в бортових інфокомунікаційних системах виникає *протиріччя*:

1) з одного боку для забезпечення конфіденційності спеціальної інформації необхідно підвищувати ефективність СТП з використанням ЗВКР за показниками стеганографічної ємності та цілісності вилучення вбудованих даних. Однак це призводить до втрати ефективності компресійного процесу;

2) з іншого боку потрібно забезпечити задані характеристики інформаційного забезпечення за своєчасністю та цілісністю доставки відеоінформації. Для цього необхідно підвищувати ефективність компресійного кодування. Однак це супроводжується втратою ефективності стеганографічних перетворень.

Це спричиняє додаткове зростання дисбалансу між потрібною та реальною швидкостями передачі даних з використанням бортових ІКС. Таким чином, існує актуальна *науково-прикладна задача*, яка полягає у необхідності підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень для заданих властивостей відеосервісів з використанням бортових інфокомунікаційних систем.

Науково-прикладним дослідженням в даному напрямку приділяло увагу багато вчених. Серед них вітчизняними є: Бараннік В.В., Жураківській Б.Ю., Климаш М.М., Конахович Г.Ф., Корченко О.Г., Корольов А.В., Лукін В.В., Рубан І.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.

Для вирішення сформульованої задачі необхідно усунути наступну суперечність, що виникає в процесі сумісного використання стеганографічних та компресійних перетворень [3; 11 – 13; 20; 22; 95 – 110; 122 - 134]:

1) з одного боку існуючі ІКТ кодування створюються без врахування можливості прихованого вбудовування повідомлень у послідовність ВС;

2) з іншого боку теоретична база сучасних стеганографічних перетворень не в повній мірі враховує технологічні особливості процесів скорочення кількості надмірності та кодування, а саме:

- в основному для вбудовування інформації враховуються ПСВ залежності для ВС;

- основна частина методів СТП супроводжується: внесенням спотворень щодо візуального оцінювання якості ВС; скороченням частини від загальної кількості допустимої ПСВ надмірності; порушенням (руйнуванням) СТС залежностей ВС, які визначають кількість допустимої для скорочення відповідних видів надмірності;

- в процесі СТП не враховуються: наявні особливості та рівень інформативності СТС змісту ВСК; структурні та статистичні залежності у ВСК.

- для більшості методів безпосереднє вбудовування інформації здійснюється шляхом модифікації на бітового представлення елементів ЗВКР. В цьому випадку потрібні додаткові часові витрати на їх бінарізацію.

Для локалізації означеного системного протиріччя *пропонується* створювати [3; 6 – 9; 17 -19; 20; 44; 56; 64]:

1) технологічний механізм для ідентифікації сегментів за складністю їх структурно-топологічного змісту. Відповідно оцінюється потенціал реалізації компресійних та стеганографічних властивостей ВС[4; 14; 15; 18; 39; 55; 59];

2) метод компресійного кодування ВС з вбудовуванням прихованої інформації з наступними технологічними характеристиками [14; 16; 40; 44; 56]:

- зменшити долю кількості ПСВ надмірності в сумарному результаті щодо забезпечення рівня стиснення ЗВКР та стеганографічної ємності вбудованих даних;

- забезпечити в процесі компресії та стеганографічних перетворень врахування структурно-комбінаторних залежностей для ВС та їх перехідних форматів синтаксичного опису;

- створити підходи щодо здійснення вбудовування прихованої інформації безпосередньо в динаміці реалізації процесу кодування та створення поточного формату синтаксичного опису ВС;

- адаптуватися за рівнем скорочення кількості надмірності та об'єму вбудованих даних відповідно до рівня СТС інформативності ВС.

Таким чином, *тематика дисертаційних досліджень*, яка стосується розробки методу стеганографічних та компресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегментах-контейнерів, 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 у відповідності із планами науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки у рамках яких була виконана НДР «Розроблення методів і засобів обробки ансамблю сигналів і розпізнавання радіовипромінюючих джерел та об'єктів в умовах апріорної невизначеності » ДРН №0119U001406, в якій автор дисертації був виконавцем.

Мета і задача досліджень. Мета дисертаційної роботи стосується розробки методу стеганокомпресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегменті-контейнері.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Удосконалити метод ідентифікації відеосегментів за рівнем інформативності структурно-семантичного змісту та потенціалу щодо стеганокомпресійних властивостей.

2. Обґрунтувати та створити форматований стегано-поліадичний базис з врахуванням маскуванню слідів прихованої інформації у відеосегментах.

3. Створити метод змішаного стеганокомпресійного кодування відеосегментів в форматованому стегано-поліадичному базисі з маскуванням прихованої інформації.

4. Розробити метод стеганокомпресійного декодування відео стегано-сегментів за умов збереження потрібного рівня цілісності контейнерної та прихованої інформації.

5. Розробити диференційну технологію стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів з врахуванням їх інформативності в умовах потрібного рівня надання відеосервісів з використанням бортових інфокомунікаційних систем.

Об'єкт дослідження. Процеси підвищення захисту інформації за умов забезпечення потрібного рівня оперативності та цілісності доставки з використанням інфокомунікаційних систем.

Предмет дослідження. Методи кодування для підвищення швидкості каналу передачі прихованої у компресійній послідовності ВС вбудованої інформації з використанням інфокомунікаційних систем.

Методи дослідження. Обґрунтування наявності ризиків щодо втрати оперативності, достовірності та конфіденційності спеціальної інформації базувалось на методах оцінювання кібер-інцидентів, положень теорії інформаційного протиборства. Побудова методу ідентифікації відеосегментів ґрунтувалась на методах структурного аналізу, градієнтних методах виявлення контурної інформації. Розробка методів стеганокомпресійних перетворень для підвищення швидкості каналу прихованої у відеопотоці спеціальної інформації базувалось на методах стеганографічних перетворень, технологічних принципах безпосереднього та непрямого вбудовування інформації, методах виявлення та

скорочення позиційно-комбінаторної надмірності, теоретичних положеннях позиційно-поліадичних кодових систем. Оцінювання достовірності отриманих результатів науково-прикладних досліджень ґрунтувалось на адекватності теоретичних та експериментальних досліджень та коректному використанні методів теорії інформації, кодування та цифрової обробки відеозображень.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. *Удосконалено* метод кількісного оцінювання інформативної ваги ВС на основі врахування структурних залежностей в яскравісно-часовому просторі. Відмінності методу полягають у *компіляції* якісних та семантичних особливостей ВС в набір кількісних показників за його локальними та інтегральними структурними залежностями в позиційному просторі. Це створює умови для підвищення рівня компресії відеосегментів та стеганографічної ємності вбудованих даних з виключенням демаскуючих факторів без втрат цілісності.

2. *Удосконалено* метод форматування стегано-поліадичного базису на основі властивостей позиційних кодових систем. Відмінності методу полягають у створенні перерозподіленого позиційно-комбінаторного простору для імплементації безпосередньо доданих елементів в стегано-кодових значеннях СППЧ. Це дозволяє створити умови для прихованої імплементації вбудованої інформації в стеганокompресійне представлення відеосегментів без втрати їх цілісності під час вилучення та відновлення.

3. *Вперше* створено метод змішаного стеганокompресійного кодування на основі позиційних систем в *маскованому* поліадичному базисі. Відмінності методу стосуються створення стеганокompресійного кодування в змішано-маскованому після форматування стегано-поліадичному базисі з реалізацією двокаскадної *кодово-компресійної* імплементації доданого до стегано-ППЧ елементу прихованого повідомлення. Це дозволяє в процесі стиснення відеосегменту забезпечити приховану подвійну імплементацію інформації в умовах виключення її впливу на цілісність відеоресурсів.

4. *Вперше* створено метод змішаного стеганокompресійного декодування на основі демаскування стегано-поліадичного базису. Відмінності методу полягають

у застосування двошарової концепції з використанням: структурної залежності між базовим, маскованим та форматованим стегано-поліадичними базисами в процесі: вилучення та декодування стегано-кодового значення; рекомбінації безпосередньо прихованих елементів з стегано-ППЧ в форматованому РСПБ; вилучення непрямо прихованих елементів демаскуванням стегано-форматованого та відновленням базового поліадичних базисів. Це в умовах виключення втрат рівня стиснення та цілісності забезпечує одночасне відновлення відеосегментів та прихованої інформації.

5. *Вперше* створено технологію диференційного стеганокомпресійного перетворення на основі кодування в стегано-поліадичному базисі. Основні відмінності технології стосуються врахування: рівня інформативності відеосегментів за структурно-семантичним змістом, а саме: здійснення СК-перетворень в позиційному диференціально-поліадичному та спектрально-адичному базисах; в процесі змішаного маскуванню відсутності нульових компонент спектральноадичного базису. Це дозволяє підвищити швидкість прихованого у компресійному відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень за умов забезпечення: цілісності відео сегментів-контейнерів та вбудованих даних; маскуванню слідів наявності прихованої у ВС інформації.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю в положеннях теорії і практики методів кодування та стеганографічних перетворень для підвищення швидкості каналу передачі прихованої у відеопотоці вбудованої інформації.

Практичне значення отриманих результатів досліджень.

Інтеграція створеного методу змішаних стеганокомпресійних перетворень в бортові інфокомунікаційні технології кодування послідовності відеосегментів з врахуванням визначення рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом дозволяє:

1. В умовах виключення втрат цілісності для санкціоновано-вилученої прихованої інформації забезпечити *відносно існуючих підходів*:

1) одночасне збільшення: швидкості стеганокомпресійного каналу в середньому в 2 рази; рівня семантичної цілісності відновленої послідовності ВС за показником ПВСШ в середньому на 15 дБ; підвищення рівня маскуванню прихованої у ВСК інформації у разі спроби несанкціонованого доступу в середньому на 10дБ;

2) створення умов для встановленої стеганографічної ємності щодо одночасної доставки в реальному часі:

для швидкості каналу передачі даних 25 Мбіт/с- відео-контейнерів форматом не менш ніж формат 4K Ultra HDHV (3840x2160) та об'єму прихованої інформації на рівні 30 % від бітового об'єму відеокадру форматом Full HD (1920 x 1080);

для швидкості каналу передачі даних 55 Мбіт/с - відео-контейнерів форматом не менш ніж 4K UHD (4128x3096) та об'єму прихованої інформації на рівні 10 % від бітового об'єму відеокадру форматом 4K UHD (3840x2160);

3) можливість для приховування потрібної кількості значимих ВС для найбільш практичних форматів відеокадрів в процесі дистанційного моніторингу.

2. Локалізувати часові затримки на стеганографічне перетворення лінійною складністю та узгодити їх з технологічним процесом компресійного кодування. Це забезпечує: обмеженість впливу СТП на загальні часові затримки щодо обробки послідовності ВСС; допустиму за складністю реалізацію розроблених стеганокомпресійних перетворень на існуючій мікроелектронній базі.

3. Забезпечити рівень стиснення послідовності ВСС для розробленого методу за умов досягнення потрібного рівня цілісності ЗВКР та вбудованої інформації з наступними характеристиками:

- перевищує рівень стиснення методу на платформі JPEG в середньому на 10% ;
- зменшується відносно режиму стиснення без вбудовування інформації в середньому не більше ніж 7%;

- перевищує рівень стиснення для існуючих підходів з вбудовуванням інформації в середньому в 2,5 рази.

Результати досліджень реалізовані при виконанні дослідно-конструкторських робіт в: ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС» (акт реалізації від 19.10.2023р.); ТОВ «Одеський авіаційний завод» (акт реалізації від 11.12.2023 р.).

Особистий внесок автора. Всі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: в працях [1; 36] – розроблено метод захисту інформації на основі непрямого стеганографічного приховування з врахуванням властивостей нерівно-вагового позиційного базису; в працях [2; 4; 14; 16; 22; 32; 34] – розроблено підходи та методи для ідентифікації відеосегментів за рівнем інформативності з використанням сукупності ознак структурно-семантичної складності їх змісту; в працях [3; 22; 25] – обґрунтована можливість використання позиційних кодових систем з нерівно-ваговим базисом для приховування інформації у відео сегментах-контейнерах. Доведені умови для побудови правил стеганографічної імплементації даних в кодові значення нерівновагових позиційних чисел, за яких зберігається їх цілісність (достовірність). Розроблено підхід для маскування доданої кількості стеганографічної надмірності; в праці [5] – обґрунтовано підхід для побудови кодограм компресійного представлення компонент відеосегментів на основі поліадичних систем в умовах забезпечення їх захисту від несанкціонованого доступу; в працях [6; 17; 27; 33] – розроблено складова методу диференційного приховування інформації в області контурів відеокадрів на основі технології непрямого вбудовування; в праці [8] – побудовано методика оцінювання рівня стиснення відеопотоку з можливістю вбудовування інформації; в працях [15; 26] – обґрунтовано можливість підвищення ефективності стеганографічних перетворень у разі врахування рівня інформативності відео сегментів-контейнерів; в праці [18] – обґрунтовані напрямки підвищення ефективності надання дистанційних відеосервісів в інфокомунікаційних мережах на основі компресійного кодування; в праці [19] – обґрунтовано підхід щодо підвищення компресійних властивостей поліадичних кодових систем на основі виявлення позиційних обмежень в диференціальному просторі відеосегментів; в праці [20] – розроблено селективний метод підвищення

оперативності та конфіденційності доставки значимих відеосегментів з використанням інфокомунікаційних технологій; в праці [21] – розроблено підхід для побудови стеганографічних перетворень на основі технологій виявлення та усунення кількості структурної надмірності відео сегментів-контейнерів; в працях [23; 37] – розроблено спосіб зменшення інформаційної інтенсивності відеоінформаційних ресурсів на основі позиційного кодування з формуванням нерівно-вагового базису; в працях [28; 30] – обґрунтовано властивості позиційного базису для непрямого приховування інформації на основі його модифікації; в праці [31] – проводиться оцінювання потенційних компресійних спроможностей нерівно-вагового позиційного кодування трансформованих відеосегментів; в праці [35] – проведено порівняльне оцінювання варіантів вбудовування інформації в різні за структурними характеристиками області відеокадрів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і були схвалені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах: 2024 IEEE 5th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Lviv, Ukraine; 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv, Ukraine; 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine; “Development of technology analys for the content semantics,” in Engineer of XXI Century - We Design the Future, Bielsko-Biala, Poland: ATH, 2020; 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine; 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine; 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine; 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine; 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine; 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET),

Lviv-Slavske, Ukraine; 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine; 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine; 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine; 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine; 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Novi Sad, Serbia; 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, Armenia; Шостій Міжнародній науково-практичній конференції "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації", (Вінниця, 24-25 жовтня 2017 р), ВНТУ.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковані у 37 наукових працях, серед яких: одна монографія, *три* колективні монографії, одна з яких у закордонному фаховому виданні, яке індексується в міжнародній базі Scopus, 18 статей, 1 стаття, що індексується в міжнародній базі Scopus, одна стаття в журналі Європейського Союзу, 16 статей опубліковано в фахових журналах категорії Б, серед них 6 одноосібних статей. Апробація результатів дисертації відображена у 14 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, які входять до складу міжнародної організації IEEE та індексуються в міжнародній базі Scopus. Отримано один патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатки (19 сторінок). Загальний обсяг дисертації становить 225 сторінок: у тому числі анотації на 11 сторінках, зміст на 2 сторінках, основний текст на 137 сторінках, список використаних джерел із 137 найменування на 17 сторінках. Робота містить 9 таблиць та 41 рисунок, з яких 37 на окремих 37 сторінках.

1. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТЕГANOГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ПРОЦЕСІ КОМПРЕСІЙНОГО КОДУВАННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ДЛЯ БОРТОВИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Проводиться обґрунтування та визначення місця та роль стеганографічних перетворень в системі захисту інформації в процесі інформаційного забезпечення з потрібними властивостями для управління КРІС та ОСД в умовах воєнного часу.

Встановлюються вимоги щодо характеристик стеганографічних систем з врахуванням умов забезпечення потрібного рівня своєчасності та цілісності доставки спеціальної інформації та значимих бортових відео-контейнерних ресурсів згідно вимог з боку систем управління КРІС та ОСД для досягнення інформаційної переваги.

Доводиться те, що в процесі забезпечення захисту інформації на основі існуючих стеганографічних перетворень з використанням сучасних платформ компресійного кодування ЗВК ресурсів в бортових інфокомунікаційних системах виникає протиріччя. Звідси стверджується актуальність та значимість визначеної в дисертації науково-прикладної задачі.

Обґрунтовується напрямок вирішення розробки методу стеганографічних та компресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегментах-контейнерів.

Здійснюється формулювання мети дисертаційних досліджень.

1.1. Обґрунтування необхідності підвищення конфіденційності бортових інформаційних ресурсів в умовах забезпечення потрібної якості надання відеосервісів на основі стеганографічних перетворень

В сучасних умовах край важливим є забезпечення умов для ефективного:

- 1) застосування та всебічної підтримки Сил оборони та безпеки України;
- 2) функціонування критичної інфраструктури держави;
- 3) впровадження внутрішньої політики, сприяння конструктивних мотивацій в соціумі;
- 4) супроводження позиції держави у світі (на міжнародній арені).

В загалі це є комплексним питанням. Водночас одним з найважливіших аспектів є досягнення відповідних вимог в процесі організації інформаційного забезпечення та політики інформаційної безпеки [1 – 3; 12; 23]. Тут розуміється створення та надання таких інформаційних сервісів, за умов використання яких з врахуванням питань кібербезпеки досягаються можливості щодо: інформаційної переваги в процесі управління підрозділами та об'єктами Сил оборони та безпеки України (СОБУ); підвищення ефективності процесів аналізу та прийняття рішень в системах управління критичною інфраструктурою; належного рівня інформування соціуму; організації конструктивного інформаційного простору на міжнародній арені, наприклад інформаційної взаємодії з країнами-партнерами.

Одним з ключових видів інформаційних ресурсів є відеоінформація. Перевага такого типу ресурсів в системах управління критичною інфраструктурою (КРІС) та оборонною сферою (ОС) держави в умовах воєнного часу представлена на рис. 1.1 [11 – 13; 26]. З аналіз рис. 1.1 можна стверджувати те, що використання відеоінформаційних ресурсів в системах управління дозволяє підвищити (рис. 1.2): ефективність сприйняття та аналізу інформації в процесі прийняття рішень; рівень захисту спеціальної інформації на основі реалізації контейнерних функцій під час її прихованої передачі (зберігання); оперативність аналізу інформації та прийняття рішень; ймовірність прийняття адекватних та системо-сбалансованих рішень; рівень інтелектуалізації етапів прийняття рішень.

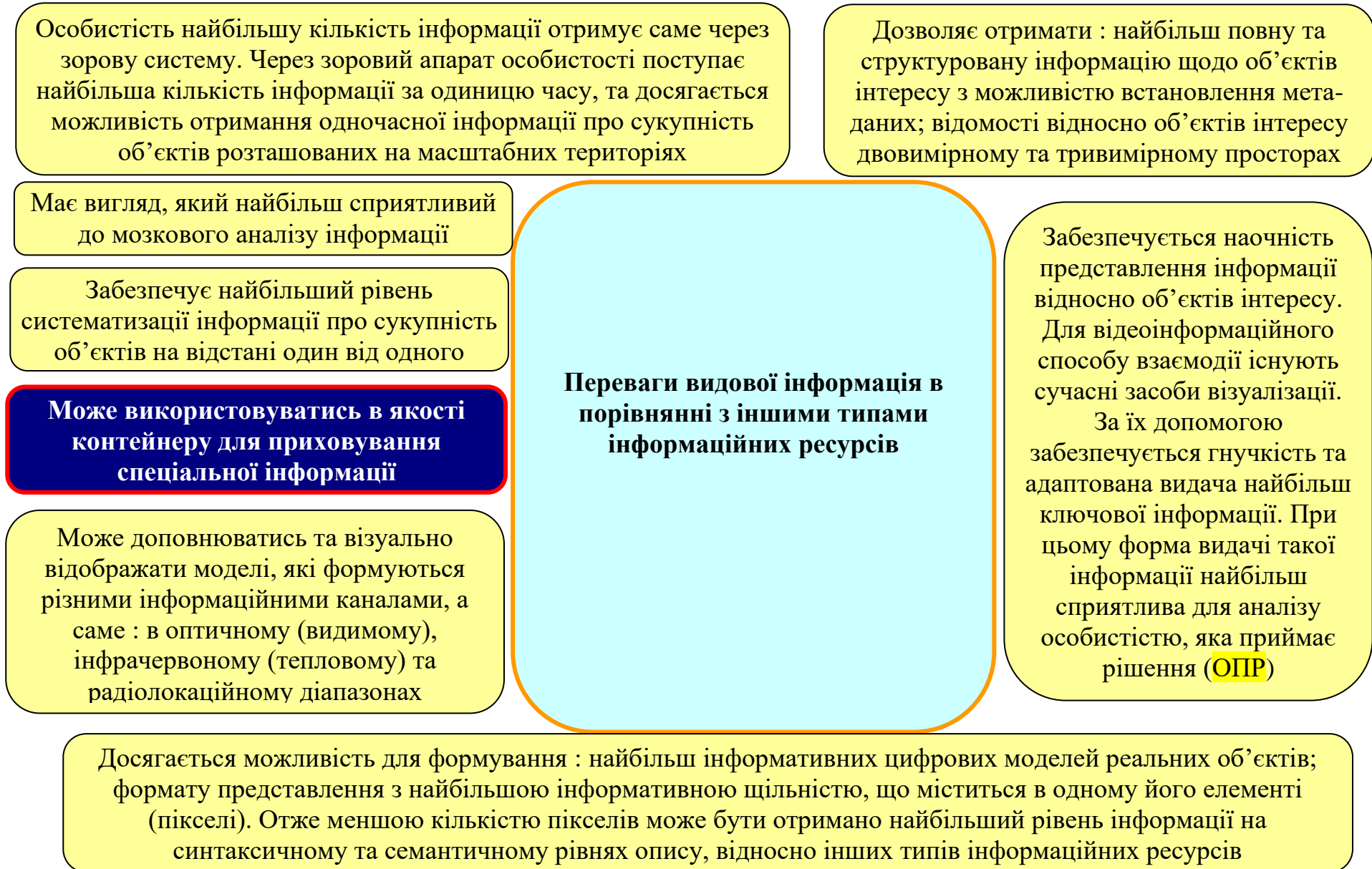


Рисунок 1.1. – Основні переваги видової інформація в порівнянні з іншими типами інформаційних ресурсів

Отже відеоінформаційні ресурси *одночасно* можуть мати два функціональних призначення, а саме як [26; 28; 31; 38; 45; 47; 50; 71; 72; 75 – 77]:

- 1) значима інформація з позиції ключового впливу на ефективність аналізу та прийняття рішень в КРІС та ОСД;
- 2) контейнерів для приховування спеціальних відомостей в системах комплексного захисту інформації.

Подалі відеоінформаційні ресурси подвійного призначення позначатимемо *значимими відео-контейнерними ресурсами (ЗВКР)*.

В загальному випадку растрові відеоінформаційні ресурси представляються, як потік відеосегментів (ПВС), що формується наступним відео-контентом :

- 1) стаціонарні відеозображення або динамічні відеодані (відеопотік) подвійного призначення;
- 2) панорамні аерофотознімки спеціалізованого призначення;
- 3) візуалізація інформації, що формується в інших спектральних діапазонах (інфрачервоному, тепловому, радіо спектральному).

В свою чергу спеціальною інформацією можуть бути [3; 12; 23; 43; 74; 121]:

- 1) відомості, які використовуються для аналізу та прийняття рішень в системах управління критичною інфраструктурою та в процесі планування підготовки та проведення бойових операцій (управління оборонною інфраструктурою);
- 2) відомості, які можуть бути використані в інтересах противника (протиборчої сторони) для нанесення втрат Силам оборони та безпеки України, в тому числі службові відомості: накази, вказівки, розпорядження, службові плани, координати об'єктів, дати проведення службових зборів та списки їх учасників;
- 3) відомості розвідувального та аналітичного характеру;
- 4) відомості дипломатичного характеру (дипломатична листування) в інтересах міжнародного співробітництва (наприклад інформація сфери домовленостей та організації поставок озброєння);
- 5) відомості щодо стану критичних (стратегічних) отраслей держави.

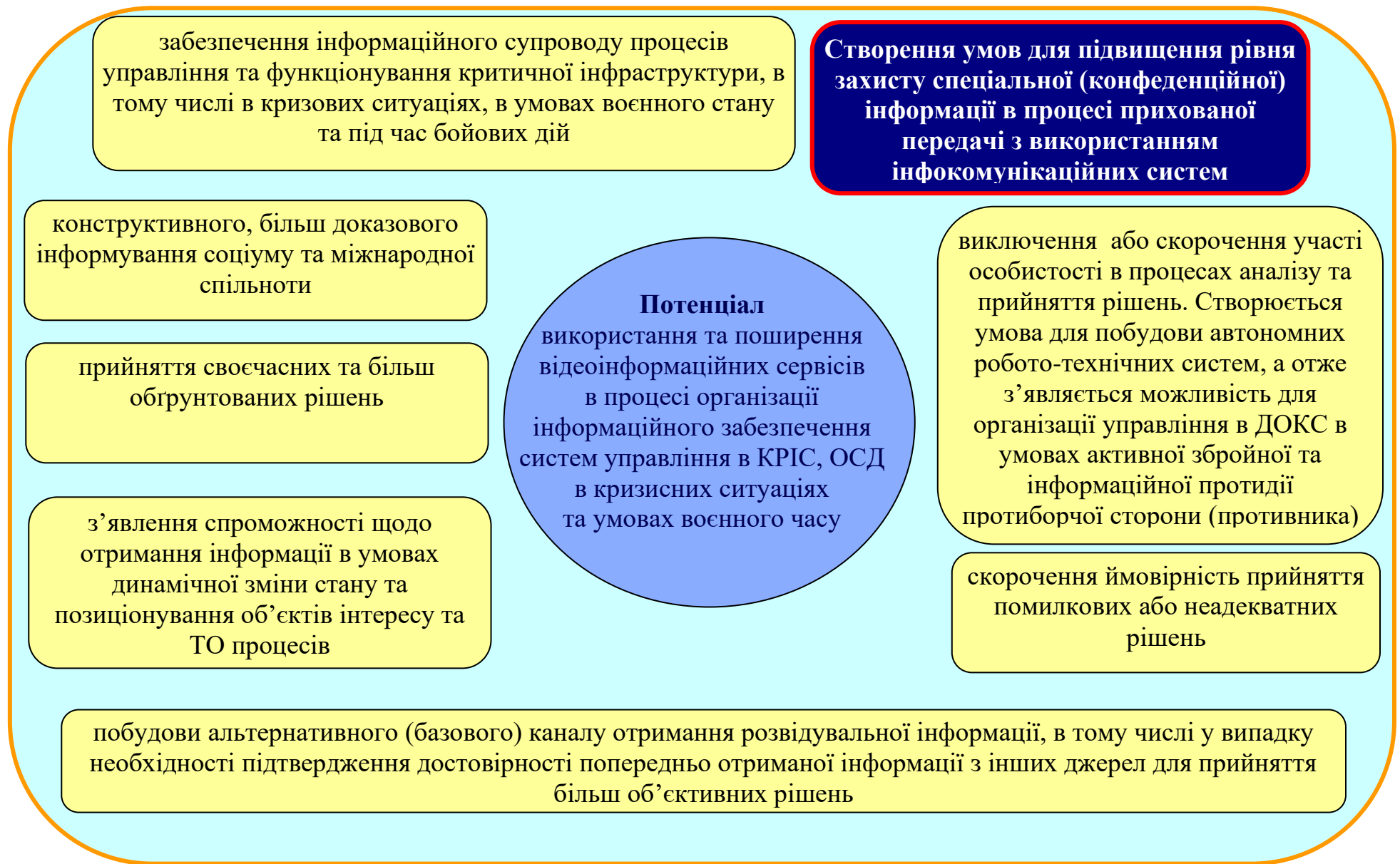


Рисунок 1.2. – Основні переваги відеоінформаційних ресурсів в системах інформаційної підтримки прийняття рішень

За типом інформаційного ресурсу, відомості які потребують захисту, можуть представлятися у вигляді [3; 11 – 13; 33 – 37; 40; 41; 43; 48; 49; 63; 81]:

- 1) бортових інформаційних ресурсів або інформаційних ресурсів, які формуються та/або доставляються з використанням бортових (безпілотних) платформ (БПП) аерокосмічного, наземного та морського базування (рис. 1.3);
- 2) динамічної послідовності відеокадрів або панорамних аерофотознімків;
- 3) окремих фрагментів аерофотознімків, які встановлюються як найбільш значимі за рівнем інформативності структурно-семантичного змісту ВС;
- 4) мета-інформація, що формується в результаті дешифрування аерофотознімків;
- 5) аудіо-файлів, тестових файлів або файлів форматів змішаного представлення інформації.

Актуальність та критичність забезпечення конфіденційності (спеціальної) інформації з використанням етапу формування та/або передачі бортовими інфокомунікаційними системами в умовах воєнного стану зумовлено [23; 43; 78]:

- 1) з одного боку наявністю наступних потенціалів для протиборчої сторони:
 - можливостей для протиборчої сторони щодо: перехвату інформації під час її передачі по радіоканалам з бортових комплексів; перехвату управління безпіотною платформою; деструктивних дій, які призводять до втрати подальшої можливості щодо виконання бортовим комплексом своїх функціональних завдань;
 - інформаційно-технологічних можливостей щодо спроби реалізації несанкціонованого доступу до інформаційного ресурсу, в тому числі проведення кібернетичних атак та крипто-аналізу для розкриття змісту конфіденційної інформації;
 - можливості доступу до інформаційних технологій загального користування щодо: дистанційного відеоконтролю (ВКОН) через сенсорні пристрої; відеоконференцзв'язку (ВКЗ) через загальнодоступні технології обміну інформацією;
 - можливості використовувати вразливі фактори в системах забезпечення інформаційної безпеки, в тому числі техногенного та антропогенного походження.
 - можливості вживання спеціальних технічних засобів в технологічних пристроях, які використовуються в якості мікроелектронної основи для інтегрування (реалізації) алгоритмів обробки та криптографічного захисту інформації;



Рисунок 1.3. – Аспекти зростання попиту на використання дистанційної відео-взаємодії

2) з іншого боку наявністю множини вразливих факторів в процесі організації доставки та захисту інформаційного ресурсу бортовими інфокомунікаційними технологіями (БКТ): наявністю нормативно-законодавчих обмежень щодо сертифікації та впровадження вітчизняних засобів криптографічного захисту інформації; наявністю використання незахищених каналів зв'язку; використанням форматів представлення та передачі даних закордонного виробництва; обмеженість пропускнуєї спроможності бортових інфокомунікаційних систем щодо обробки та передачі даних.

Конфіденційність в загальному випадку може забезпечуватись комплексним підходом. Для цього залучаються технології криптографічного захисту та стеганографічних перетворень (СТП). Водночас збільшується актуальність та значимість застосування СТП. Таке зумовлено наступним [104 – 106; 110; 111]:

1. Криптографічні методи за певних умов можуть мати обмеження щодо можливості свого використання. Це зумовлено такими аспектами:

- існуванням нормативно-законодавчих обмежень щодо використання в певних умовах гарантованих засобів криптографічного захисту;
- законодавчі обмеження щодо використання несертифікованих засобів криптографічного захисту закордонного та вітчизняного виробництва;
- обмеження на використання криптографічних засобів у зв'язку з демаскуванням конфіденційної інформації;
- обмеженнями щодо підвищення складності обробки та додаткових часових затримок і енергетичних витрат, які виникають у разі застосування технологій криптографічних перетворень;
- складна заводова обстановка в процесі передачі даних з використанням бездротових інфокомунікаційних систем. Це призводить або до руйнування інформації, або до значної втрати оперативності доставки інформації, що пов'язано з використанням заводостійкого кодування;
- інформація, яка формується та/або передається з використанням бортових інфокомунікаційних комплексів в загальному випадку може мати різний ґріф щодо обмеженості доступу.

2. Розвиток теоретичних основ та інформаційно-технологічних засобів щодо підвищення ефективності крипто-аналізу.

3. Непропорційність часу актуальності (цінності) скритої інформації та часових витрат з боку протиборчої сторони на її крипто-аналіз та дешифрування.

4. Технології криптографічного захисту, які використовуються, можуть реалізовуватись на закордоній мікроелементній базі та відповідно використовують закордоні (недостатньо апробовані) протоколи.

5. Наявність для безпілотних платформ обмеженості щодо: енергетичних витрат; збільшення часових затримок на обробку та/або передачу інформації.

6. Можливістю регулювання впливу стеганографічних перетворень на компресійні характеристики відеоконтенту.

7. Рівень витрат на побудову криптографічних систем гарантованої стійкості може бути непомірним (неадекватним) щодо цінності інформації, яка закривається.

Звідси можна стверджувати щодо існування певного інтересу та необхідності щодо застосування в комплексних системах захисту інформації на бортових ІКС технологій стеганографічних перетворень.

За викладеним матеріалом надано обґрунтування тому, що в процесі надання відеосервісів з використанням БПП в умовах активного протиборства виникає множина факторів, за яких зростає значимість СТП для забезпечення конфіденційності спеціальної інформації з врахуванням вимог щодо своєчасності та цілісності доставки значимих відео-контейнерних ресурсів.

1.2. Обґрунтування вимог до стеганографічних перетворень в умовах забезпечення оперативності та цілісності доставки відео-контейнерних ресурсів бездротовими інфокомунікаційними мережами

В загальному випадку послідовність технологічних етапів обробки ЗВК ресурсів з використанням криптографічних та стеганографічних перетворень в умовах інтеграції до бортових інфокомунікаційних систем представлено на рис. 1.4 [3]. Звідси на синтез структури *стеганографічних систем* для захисту

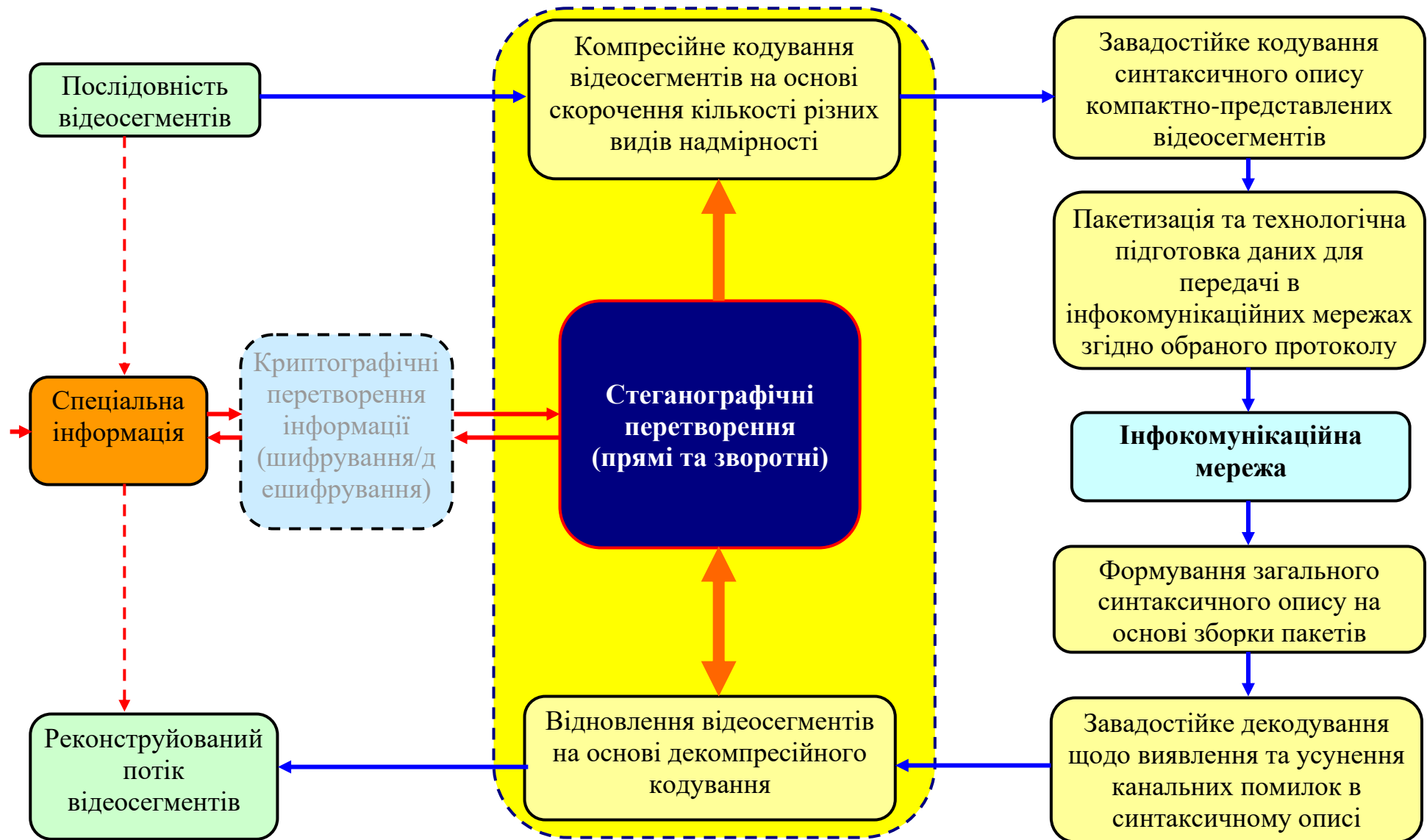


Рисунок 1.4. – Структурно-функціональна схема загальної послідовності технологічних етапів обробки ЗВК ресурсів з використанням криптографічних та стеганографічних перетворень в умовах інтеграції до бортових інфокомунікаційних систем

інформації з використанням ЗВКР в процесі управління КРІС та ОСД в умовах воєнного стану впливають наступні *фактори* (рис. 1.5) [3; 11; 14; 81; 83; 95; 120]:

I. Складність структурно-семантичного змісту відеоресурсів, які використовуються в якості контейнерів. У разі, якщо ЗВК ресурсами є аерофотознімки то потрібно врахувати те, що вони характеризуються: високим ступенем насиченості дрібними деталями, кольірними перепадами; значним рівнем інформативності (апріорної невизначеності) за ознаками в семантико-синтаксичному описі, наприклад у разі проведення попередньої розвідки; обмеженим рівнем допустимої до скорочення кількості ПСВ надмірності; динамічністю зміни стану СТС залежностей між відеосегментами в послідовності.

II. Вимоги до характеристик відеоінформаційного забезпечення в системах підтримки та прийняття рішень під час управління КРІС та ОСД. Вимоги до властивостей відеоінформаційної взаємодії (якості відеоінформаційних сервісів) визначаються типовими специфікаціями. В загальному випадку існують вимоги, які визначені в системі QoS. Для спеціалізованих систем, наприклад систем дистанційного моніторингу, існують рекомендації, які визначаються стандартами STANAG 4671:2009 [3; 121], STANAG 7023:2009 [3; 121]. Означені системи рекомендацій визначають вимоги щодо наступних показників (рис. 1.6) :

1. *Повнота* ЗВК ресурсів. Під повнотою тут розуміється забезпечення потрібної роздрібною здатності відеоконтенту. Така властивість визначається розмірами відеознімків. Основними кількісними характеристиками тут є :

1) кольорова здатність \hbar_{cl} . Визначається кількістю кольорових складових, які формують модель цифрового відеозображення (ЦВ);

2) просторова ознака. Використовуватись одна з таких ознак, як : роздільна здатність \hbar_{vk} відеозображення A ; кількість v_s та просторова роздільна здатність \hbar_s рівномірних відеосегментів $A^{(k;\ell)}$ відеозображення A . Тут $A^{(k;\ell)}$ - $(k;\ell)$ -й ВС відеокадру або ВС на перехресті його k -го рядка та ℓ -го стовбця. Величину v_s можна інтерпретувати, як *сегментована роздільна здатність* відеозображення, $v_s = \hbar_{vk} / \hbar_s$;

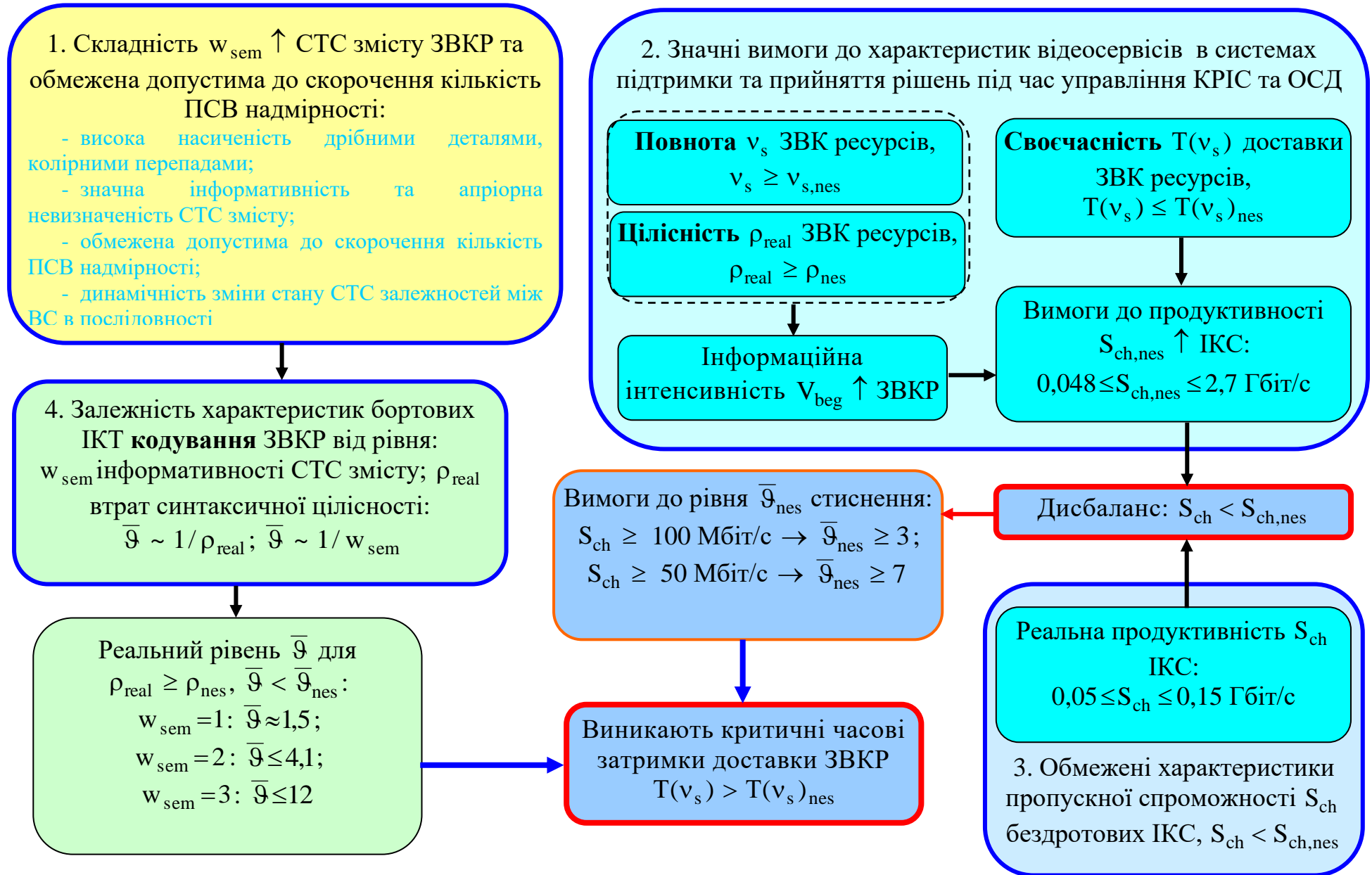


Рисунок 1.5. – Схема критичних факторів, які впливають на синтез стеганографічних систем на базі ЗВК ресурсів

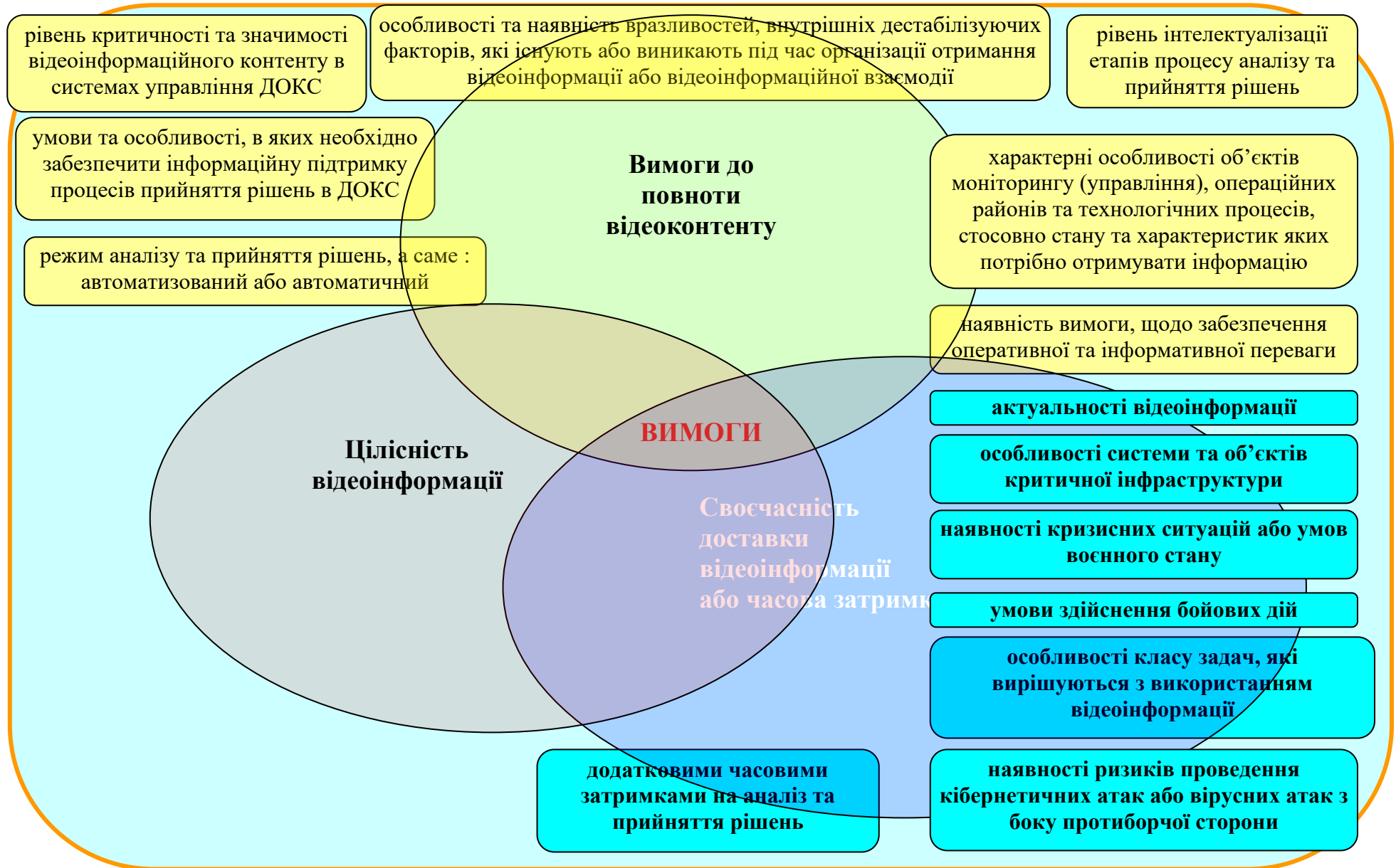


Рисунок 1.6. – Система рекомендацій, щодо визначення вимог до показників якості відеоінформаційної взаємодії

3) піксельна здатність \hat{h}_{px} – кількість b двійкових елементів на синтаксичне представлення окремого елемента сегменту відеокадру.

Значення сегментованої роздільної здатності, v_s в умовах $n=8$ для характерних форматів стаціонарних ЗВКР різних поколінь з розподілом на градації форматності представлено на рис. 1.7. З аналізу якого можна заключити те, що найбільш затребувані формати характеризуються експоненціальним зростанням бітового об'єму. У разі, якщо потрібно забезпечити роздільну здатність на рівня $v_s = 1$, то величина бітового об'єму буде перевищувати 1 Гбіт.

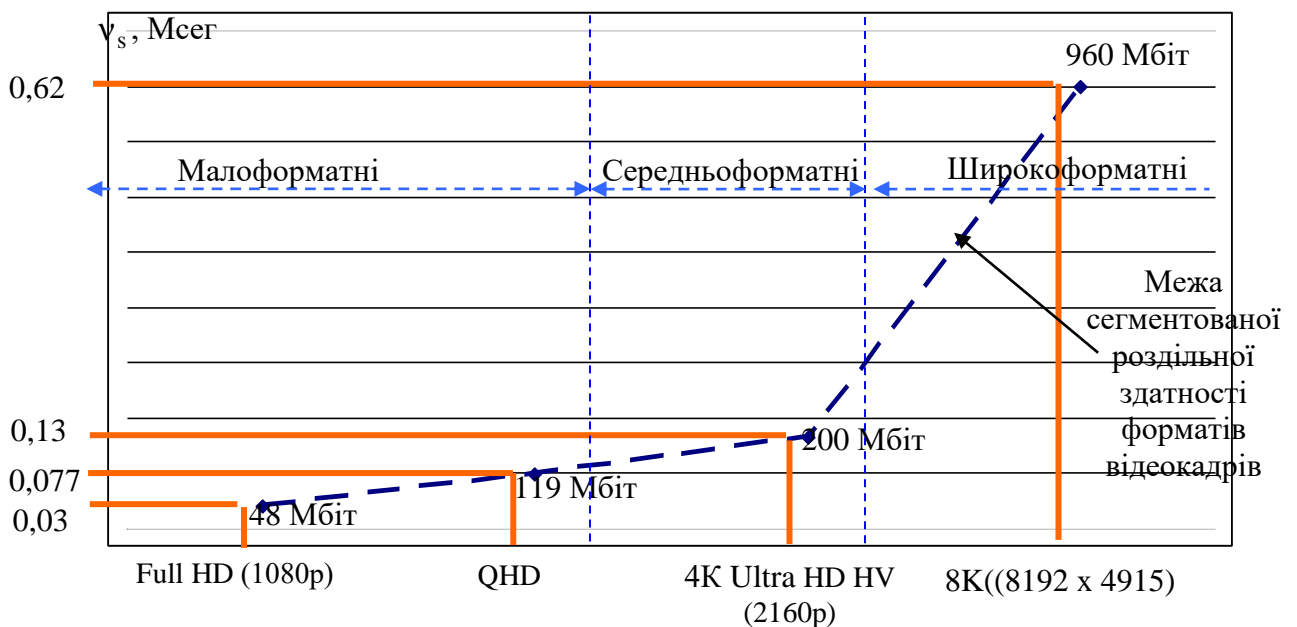


Рисунок 1.7. – Значення сегментованої роздільної здатності, v_s в умовах $n=8$ для характерних форматів ЗВК ресурсів різних поколінь

2. **Своєчасність** доставки відеоінформації або часова затримка. Визначається: наявністю протидорства та потреб у досягненні інформаційної переваги; класом завдань та умовами їх виконання; типом об'єктів управління.

3. **Цілісність** відеоінформації. Тут мається на увазі рівень відповідності відновлених відеокадрів на приймальній стороні відносно початкових. Вимоги до цілісності відеоінформації визначаються такими факторами: способом аналізу (дешифрування) відеоресурсів, а саме: автоматизований або автоматичний; степені критичності та значимості в процесі формуванні рішень та їх можливих наслідків; глибиною аналізу (ідентифікації) змісту відеознімків (ідентифікація

класу, ідентифікація об'єктів, ідентифікація стану об'єктів). В залежності від цього цілісність встановлюється, як рівень відповідності на семантичному та синтаксичному рівні. Семантичний це смислове сприйняття відеоінформації. Синтаксичний це відповідність на рівні двійкового опису пікселей відеосегментів.

Для оцінювання рівня семантичної цілісності ЗВКР використовується показник ρ_{real} пікового відношення сигнал/шум (ПВСШ):

$$\rho_{\text{real}} = 20 \lg(2^{\hat{h}_{\text{px}}} \cdot (v_s \cdot \hat{h}_s) / \sigma_{\text{real}}) \text{ (дБ)}. \quad (1.1)$$

Величина ρ_{real} залежить від показника σ_{real} оцінювання синтаксичної цілісності ЗВКР:

$$\sigma_{\text{real}} = \left(\sum_{\tau=1}^{v_s} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{i,j}^{*(\tau)} - a_{i,j}^{(\tau)})^2 \right) / v_s \cdot \hat{h}_s. \quad (1.2)$$

де $a_{i,j}^{(\tau)}$, $a_{i,j}^{*(\tau)}$ - значення (i; j) -х пікселей в початковому та відновленому τ -му ВС.

В загальному випадку для величини ПВСШ існують нижні граничні порогови ρ_{nes} . Тобто потрібно забезпечувати умову $\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$. Вони визначаються емпіричним шляхом, та залежать від рівня СТС інформативності ВС. Рекомендації щодо значень ρ_{nes} в залежності від рівня w_{sem} інформативності ВС ґрунтуються на забезпеченні зниження ризиків втрати їх цілісності (табл. 1.1) [95].

Таблиця 1.1. - Залежність величини ρ_{nes} від рівня w_{sem} інформативності ВС

Характеристики складності та інформативності ВС	Низький рівень	Середній рівень	Високий рівень
Граничні значення величини ρ_{nes} , дБ	21 – 25	27 – 33 (30)	37 – 47 (35)

III. Характеристик пропускної спроможності бортових (безпілотних) ІКС, що використовуються для формування, обробки та передачі інформації. В залежності від вимог щодо повноти бортових ЗВК ресурсів за умов потреби їх доставки в реальному часі до продуктивності БІКС висувуються наступні вимоги: від 48 Мбіт/с до 2,7 Гбіт/с – у разі доставки ЗВКР за окремими відеокадрами; від 160 Мбіт/с до 180 Гбіт/с – у разі доставки ЗВКР за динамічним відеопотоком.

Водночас основні значення щодо швидкості S_{ch} передачі, які можна ефективно використовувати для БПП, знаходяться в межах від 50 до 150 Мбіт/с. При цьому потрібно враховувати зниження швидкості передачі даних з БПП у разі збільшення їх відстані $dist$ від центрів прийому інформації та висоти h_g польоту. Характеристики продуктивності основних типів ІКТ мобільного сегменту представлено в табл. 1.2. З позиції практичного застосування виділяються такі бездротові ІКТ [23; 135 – 137] :

1) технології передачі даних з БПП на центри управління або центри аналізу інформації : ІКТ OcuSync 3.0 – швидкість S_{ch} передачі даних до 50 Мбіт/с; ІКТ SC4400E “Silvus Technologies” - швидкість S_{ch} передачі даних до 100 Мбіт/с [135];

2) технології на основі радіоканалів зв’язку NanoStation Loco M900 Ubiquiti - швидкість S_{ch} передачі даних 7 – 76 Мбіт/с;

3) бездротові технології обміну інформацією : інфокомунікаційна технологія 802.11n (Wi-Fi) - швидкість S_{ch} передачі даних до 150 Мбіт/с; інфокомунікаційні технології 4G/ LTE-A, IMT2020/5G, 802.11ac (Wi-Fi) - швидкість S_{ch} передачі даних 1 – до 10 Гбіт/с [32; 51; 74; 121; 135 – 137].

В подальшому для узгодження з сегменто-орієнтованою концепцією обробки ЗВКР *пропонується* застосовувати кількісну характеристику ΔS_s (сег/с):

$$\Delta S_s = S_{ch} / \hbar_{clr} \cdot I(n; b) = S_{ch} / 24 \cdot n \cdot n \text{ (сег/с)}, \quad (1.3)$$

де $I(n; b)$ - загальна кількість біт на представлення початкових ВС, $I(n; b) = \hbar_{sp} \cdot \hbar_{px} = 8 \cdot n \cdot n$ (біт/сег).

IV. Характеристиками бортових та наземних бездротових ІКТ *кодування* ЗВКР. Такі технології використовуються для зменшення вимог щодо характеристик бортових ІКС. В основі побудови сучасних ІКТ кодування лежить стандартизована апаратно-програмна платформа сімейства JPEG [75 – 77; 94; 96; 112 – 114; 116; 117; 119; 123; 125; 129; 130]. Прикладами тут є такі кодеки JPEG, JPEG 2000, JPEG XR, JPEG XL. Дані платформи використовуються в якості :

- уніфікованих платформ для кодування ЗВКР, що формується окремими відеокадрами (панорамними аерофотознімками);

Таблиця 1.2. - Основні характеристики інфокомунікаційних технологій бездротової передачі даних, які формують мобільний сегмент інфокомунікацій (наземного та повітряного базування)

Інфокомунікаційна технологія бездротової передачі даних (ІКТБПД)	Мобільний зв'язок			ZigBee	Wi-Fi						WiMax	WiMax2	OcuSync 2.0	OcuSync 3.0	SC4400E “Silvus Technologies”	Радіоканали зв'язку NanoStation Loco M900 Ubiquiti								
Стандарт згідно IEEE	3G / HSPA / DC-HSPA+	4G / LTE-A	IMT2020/5G	802.15.4	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.16d	802.16e	802.16m	-	-	-									
Частотна характеристика, ГГц	2	1,8	-	2,4	0,915	0,868	5	2,4	2,4	2,4	5	5	1,5 - 11	2,3 - 13,6	2,3; 2,5	3,4-3,8	2,4	5,8	2,4	5,8	1,36	2,5	5,5	0,9 ГГц
Пропускна спроможність, Мбіт/с	21,6	$10^2 - 10^3$	10^4	0,02-0,25	до 54	до 11	до 54	до 150	до 600	до 1000	до 70	до 40	до 1000	до 100 (mobile WMAN)	до 12	до 50	5 - 100	7 - 76						
Радіус дії (відстань збереження якісних показників ІКТБПД), км	10 - 15	0,5 - 1	до 0,1	до 0,3	25-80	1 - 5	120 - 150	3 - 12	до 60	13														

- комплексних складових для кодування ЗВКР, які утворюються послідовністю відеокадрів. В такому разі вони є складовими стандартизованих концептів сімейства H26*, а саме: H.264/AVC, H.265/HEVC та H.266/VVC.

Ключовими показниками якості функціонування ІКТ кодування є:

1. Показники σ_{real} та ρ_{real} для кількісного визначення рівня цілісності відеоконтенту (ЗВКР) на приймальній стороні.

2. Рівень $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ зменшення об'єму V_{beg} бітового опису ЗВКР.

З врахуванням дисбалансу між потрібною та реальною швидкостями передачі інформації до ІКТ кодування за показником $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ висуваються наступні вимоги: $\mathcal{G}^{(k,\ell)} \geq 3$, якщо $S_{\text{ch}} \geq 100$ Мбіт/с; $\mathcal{G}^{(k,\ell)} \geq 7$, якщо $S_{\text{ch}} \geq 50$ Мбіт/с.

В той же час величини $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ в залежності від рівня w_{sem} інформативності ВС та умови $\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$, щодо їх цілісності, мають обмежені значення (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. – Залежність величини $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ для ВС від рівня w_{sem} та умови $\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$

Характеристики складності та інформативності ВС		$\rho_{\text{real}}, \text{дБ}$		
Граничні значення величини $\rho_{\text{nes}}, \text{дБ}$		21 – 25	27 – 33 (30)	37 – 47 (35)
Величина $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ (високий рівень – 3)	$\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$	-	-	1,5
	$\rho_{\text{real}} < \rho_{\text{nes}}$	4,7	3,1	-
Величина $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ (середній рівень – 2)	$\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$	-	4,1	1,8
	$\rho_{\text{real}} < \rho_{\text{nes}}$	6	-	-
Величина $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ (низький рівень – 1)	$\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$	12	6,1	2,5
	$\rho_{\text{real}} < \rho_{\text{nes}}$	-	-	-

В табл. 1.3 прийнято позначення :

— — — — — рівень верхньої межі для рівня $\mathcal{G}^{(k,\ell)}$ в залежності від інформативності ВС за умов $\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$ щодо його цілісності.

З огляду на дані в табл. 1.3 можна стверджувати на те, що :

- найбільший рівень зменшення об'єму бітового опису ЗВКР досягається у разі використання методів компресійного кодування за умови $\sigma_{\text{real}} > 0$, тобто у разі скорочення кількості ПСВ надмірності;

- рівень зменшення бітового об'єму компактного представлення ВС знаходиться в межах від 1,5 до 11 (позначено в табл. 1.3 кольором) в залежності від рівня w_{sem} їх інформативності за СТС складністю в умовах $\rho_{real} \geq \rho_{nes}$.

Отже рівень стиснення за умови $\rho_{real} \geq \rho_{nes}$ *незавжди* задовольняє вимогам щодо локалізації дисбалансу між потрібною та реальною швидкостями БКС.

3. Складність обчислювального процесу для технологічної реалізації методу кодування ЗВКР. Така складність визначається за кількістю типових арифметичних операцій, яка витрачається на процес кодування ВС.

Оцінювання можливості характеристик бортових ІКТ щодо своєчасної доставки ЗВКР з потрібним рівнем повноти проводиться за показником $T(v_s)$. Тут $T(v_s)$ - часові затримки на доставку ЗВКР з використанням БКТК. Обліковуються залежності величини $T(v_s)$ від (табл. 1.4): w_{sem} ; v_s ; ΔS_s . Розглядається випадок коли: ЗВКР має середній рівень інформативності; $\rho_{real}=27$ – 33 дБ, $\vartheta^{(k,\ell)}=5$. З аналізу даних в табл. 1.4 можна стверджувати те, що: починаючи з формату відеокадру 4К UHD; (4128 x 3096) не забезпечується доставка ЗВКР в реальному часі за умов збільшення відстані БПП до НС до 15 км; починаючи з формату відеокадру 8К (8192 x 3357) не забезпечується доставка ЗВКР в реальному часі навіть на відстані БПП до НС до 1 км. Отже з врахуванням обґрунтованих критичних *факторів впливу* утворюються ключові вимоги щодо характеристик СТП на базі ЗВКР. Така відповідність надана в табл. 1.5. Наявність вимог до СТП дозволяє здійснити відповідне оцінювання ефективності їх застосування для захисту інформації.

За викладеним матеріалом можна заключити що обґрунтовано вимоги до характеристик СТП з врахуванням умов щодо: деструктивного впливу протиборчої сторони на характеристики надання відеосервісів з використанням БКТ; забезпечення потрібного рівня своєчасності та цілісності доставки спеціальної інформації та ЗВКР згідно вимог з боку систем управління КРІС та ОСД для досягнення інформаційної переваги; складності СТС змісту ЗВКР, які використовуються в якості контейнерів.

Таблиця 1.4. - Залежність величини $T(v_s)$ на доставку ПВС від рівня його інформативності та складності, v_s , ΔS_s , $dist$, з використанням ІКТ на платформі JPEG з рівнем $\vartheta^{(k,\ell)}$ за умов $\rho_{real} \geq \rho_{nes}$

Формат цифрового відеокادру, $v_{fr}=1, n=8$	Рівень інформативності та складності, $(\vartheta^{(k,\ell)})$	Швидкість ΔS_s передачі сегментів, Мсегмент/с (Мбіт/с)			
		До 0,03 (50), $dist \leq 2\text{км}$	До 0,065 (100), $dist \leq 2\text{км}$	NanoStation Loco M900, 10 МГц, (10), $dist \leq 15\text{ км}$	SC4400E «ST», 20МГц, (25), $dist \leq 30\text{ км}$
Full HD (1920 x 1080); $\dot{h}_{vk}=2$ Мрх; $v_s=0,03$ Мсег/с; $V(v_s)=49$ Мбіт	1 (12)	0,08	0,04	0,4	0,16
	2 (4)	0,25	0,12	1,2	0,5
	3 (1,5)	0,7	0,35	3,5	1,4
4K Ultra HD HV (3840 x 2160); $\dot{h}_{vk}=8,3$ Мрх; $v_s=0,13$ Мсег/с; $V(v_s)=199$ Мбіт	1 (12)	0,33	0,15	1,5	0,66
	2 (4)	1	0,5	5	2
	3 (1,5)	2,7	1,35	13	5,4
4K UHD; (4128 x 3096); $\dot{h}_{vk}=12,78$ Мрх; $v_s=0,2$ Мсег/с; $V(v_s)=307$ Мбіт	1 (12)	0,5	0,25	2,5	1
	2 (4)	1,5	0,75	7,5	3
	3 (1,5)	4	2	20	8
8K (8192 x 3357); $\dot{h}_{vk}=27$ Мрх; $v_s=0,42$ Мсег/с; $V(v_s)=660$ Мбіт	1 (12)	1,1	0,5	5	2,2
	2 (4)	3,25	1,6	16	6,5
	3 (1,5)	8,7	4,3	43	17
8K (8192 x 4915); $\dot{h}_{vk}=40$ Мрх; $v_s=0,62$ Мсег/с; $V(v_s)=960$ Мбіт	1 (12)	1,6	0,8	8	3,2
	2 (4)	4,7	2,4	24	9,5
	3 (1,5)	12,7	6,5	65	25
12K (12288 x 5228); $\dot{h}_{vk}=64$ Мрх; $v_s=1$ Мсег/с; $V(v_s)=1536$ Мбіт	1 (12)	2,6	1,3	13	5,2
	2 (4)	7,8	3,9	39	15,6
	3 (1,5)	21	11	110	42
12K (12288 x 6144); $\dot{h}_{vk}=75$ Мрх; $v_s=1,17$ Мсег/с; $V(v_s)=1800$ Мбіт	1 (12)	3	1,5	15	6
	2 (4)	9	4,5	45	18
	3 (1,5)	24	12	120	48

1.3. Обґрунтування необхідності розвитку стегнографічних систем для захисту інформації в процесі відеоінформаційного забезпечення функціонування критичної інфраструктури з використанням бортових інфокомунікаційних технологій

Найбільш значимими характеристиками СТП у разі використання ЗВК ресурсів в системах управління з використанням бортових ІКТ є наступні [33 – 37]:

1. Оцінка впливу стеганографічних технологій на втрату ефективності компресійного кодування щодо демаскування прихованої у ВС інформації:

1) показник $\Delta \rho_{\text{real}}^{(k, \ell)}$ втрати семантичної цілісності $(k; \ell)$ -го ВС:

$$\Delta \rho_{\text{real}}^{(k, \ell)} = | \rho_{\text{real}}^{(k, \ell)} - \rho_{\text{steg}}^{(k, \ell)} |, \quad (1.4)$$

де $\rho_{\text{real}}^{(k, \ell)}$, $\rho_{\text{steg}}^{(k, \ell)}$ - ПВСШ для $(k; \ell)$ -го ВС відповідно для випадків застосування: компресійного перетворення; компресійного та стеганографічного перетворень.

В загальному випадку виконується нерівність $\rho_{\text{real}}^{(k, \ell)} \neq \rho_{\text{steg}}^{(k, \ell)}$. Це зумовлено виникненням в процесі СТП додаткових спотворень. Звідси слідує збільшення загального значення СКО $\sigma_{\text{steg}}^{(k, \ell)}$ на величину $\Delta \sigma_{\text{steg}}^{(k, \ell)}$;

2) показник $\Delta \mathcal{G}^{(k, \ell)}$ втрати рівня стиснення для $(k; \ell)$ -го ВС:

$$\Delta \mathcal{G}^{(k, \ell)} = V^{(k, \ell)} / V_{\text{steg}}^{(k, \ell)}, \quad (1.5)$$

де $V^{(k, \ell)}$, $V_{\text{steg}}^{(k, \ell)}$ - об'єм компактно-представленого $(k; \ell)$ -го ВС відповідно: без вбудовування та наявності вбудованої інформації.

2. Оцінка складності СТП за кількістю $\mu_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$ типових арифметичних операцій щодо вбудовування даних до $(k; \ell)$ -го ВСК (часовими затримками $T_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$ на СТП). Допустима кількість $\mu_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$ типових операцій визначається її лінійною залежністю від кількості $v_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$ прихованої до $(k; \ell)$ -го ВСК інформації, тобто:

$$\mu_{\text{hid}}^{(k, \ell)} \sim o(v_{\text{hid}}^{(k, \ell)}). \quad (1.6)$$

Таблиця 1.5. – Відповідність вимог щодо характеристик стеганографічних перетворень (СТП) на базі ЗВКР до множини критичних факторів з врахуванням особливостей процесів інформаційного забезпечення в управлінні КРІС та ОСД в умовах воєнного часу

№	Вразливі фактори, які впливають на ефективність функціонування стеганографічних систем в процесі обробки та передачі ЗВК ресурсів з використанням бортових інфокомунікаційних технологій	Вимоги щодо характеристик стеганографічних перетворень (СТП) на базі ЗВКР
1	Існує дисбаланс між бітовою інформаційною інтенсивністю послідовності ВС та швидкістю передачі даних з безпілотних платформ (БПП) на пункти управління (ПУПР) та наземні станції (НСТ)	Звідси стеганографічні системи потрібно створювати в умовах обмеженості: часових витрат $T_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ на СТП, $\mu_{\text{hid}}^{(k,\ell)} \sim o(v_{\text{hid}}^{(k,\ell)})$; використання завадостійкого кодування; деструктивного впливу на ефективність компресійного кодування (зменшити втрати рівня $\Delta \mathcal{G}^{(k,\ell)} \rightarrow 1$ стиснення та $\Delta \rho_{\text{real}}^{(k,\ell)} \rightarrow 0$ цілісності ЗВКР) та в загалі на ефективність інформаційного забезпечення (своєчасність $T(v_s)_{\text{steg}} \leq T(v_s)_{\text{steg,nes}}$ доставки та цілісність $\rho_{\text{real}}^{(k,\ell)} \geq \rho_{\text{nes}}$ інформації)
2	Відео-контейнери, які формуються на основі бортових відеоресурсів мають обмежені та нестаціонарні потенційні спроможності щодо приховування інформації	Звідси потрібно створювати такі стеганографічні системи, які: враховують не лише доступну для скорочення кількість ПСВ надмірності; враховують рівень w_{sem} інформативності ВС та оцінку спроможності за його властивостями щодо вбудовування інформації

№	Вразливі фактори, які впливають на ефективність функціонування стеганографічних систем в процесі обробки та передачі ЗВК ресурсів з використанням бортових інфокомунікаційних технологій	Вимоги щодо характеристик стеганографічних перетворень (СТП) на базі ЗВКР
3	Бортові відеоресурси, для яких передбачається встановлення значимих фрагментів, як спеціальної інформації, що потребує захисту, є достатньо інформативними за структурно-семантичним змістом. В цьому випадку кількість відеосегментів, що потребують захисту (приховуванню) сягає в середньому від 10 до 30 % від їх загальної кількості у відеокадрі (аерофотознімку)	<p>Звідси:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формуються (визначаються) можливі вимоги до $10 \leq R_{\text{steg, nes}}^{(k, \ell)} \leq 30\%$ та кількості $v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid, nes}}$ вбудованих біт в реальному часі, $v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid}} = R_{\text{steg}}^{(k, \ell)} \cdot V(v_s)$: <p>HD (720p) (1280 x 720) - $2,2 \leq v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid, nes}} \leq 7$ Мбіт; Full HD (1920 x 1080) - $4,8 \leq v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid, nes}} \leq 14,5$ Мбіт; 4K Ultra HD HV (3840 x 2160) - $19 \leq v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid, nes}} \leq 60$ Мбіт; 4K UHD; (4128 x 3096) - $30 \leq v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid, nes}} \leq 90$ Мбіт; 8K (8192 x 3357) - $96 \leq v(\tilde{h}_{\text{clr}})_{\text{hid, nes}} \leq 290$ Мбіт;</p> <ul style="list-style-type: none"> - висувається потреба у вилученні інформації на приймальній стороні або з потрібним рівнем семантичної цілісності $\rho_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$, $\rho_{\text{hid}}^{(k, \ell)} \geq \rho_{\text{nes}}$ (ПВСШ $\rho_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$, як для високоінформативних ВС) або без втрат синтаксичної цілісності, тобто $\sigma_{\text{hid}}^{(k, \ell)} \rightarrow 0$ (або ймовірність $P_{\text{hid}}^{(k, \ell)}$ безпомилкового вилучення інформації дорівнює 1, $P_{\text{hid}}^{(k, \ell)} \rightarrow 1$), у разі якщо значимий ВС був попередньо стиснутий (тобто тут вже враховані допустима кількість ПСВ надмірності)
4	Складна заводова обстановка під час передачі компактно-представлених відео стегано-сегментів (ВСС)	Звідси потрібно створювати стеганографічні системи в умовах стійкості до деструктивного впливу каналних помилок на процес вилучення вбудованих даних на приймальній стороні
5	Можливість доступу протиборчої сторони до носія (ББП) ЗВК ресурсу з вбудованою спеціальною інформацією	Звідси порібно створювати стеганографічні системи в умовах: демаскування слідів наявності у ЗВКР прихованої інформації (показник додаткової СКО, що виникає у разя СТП $\Delta \sigma_{\text{steg}}^{(k, \ell)} \rightarrow 0$ або $\rho_{\text{steg}}^{(k, \ell)} \geq \rho_{\text{nes}}$); стійкості до несанкціонованого вилучення та розкриття прихованої інформації (ймовірність несанкціонованого вилучення та розкриття прихованої інформації, $P_{\text{un}}^{(k, \ell)} = 0$)

При цьому потрібно зменшувати кількість найбільш ресурсно-затратних типів арифметичних операцій : множення та поділу.

3. Оцінка синтаксичної цілісності вилучених на приймальній стороні в авторизованому режимі прихованих даних G_u за показником:

- ПВСШ $\rho_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ або показника $\sigma_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ між елементами $a_{i,j}^{(k,\ell)}$, $a_{i,j}^{*(k,\ell)}$ значимого прихованого ВС $A^{(k,\ell)}$ відповідно на передавальній та приймальній стороні:

$$\sigma_{\text{hid}}^{(k,\ell)} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{i,j}^{*(k,\ell)} - a_{i,j}^{(k,\ell)})^2 \right) / \hbar_s; \quad (1.7)$$

- ймовірності $P_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ безпомилкового вилучення інформації з ВСС на приймальній стороні:

$$P_{\text{hid}}^{(k,\ell)} = 1 - \left(\sum_{u=1}^{v_{\text{hid}}^{(k,\ell)}} |g_u^* - g_u| \right) / v_{\text{hid}}^{(k,\ell)}, \quad (1.8)$$

де g_u^* , g_u - значення двійкових елементів прихованого повідомлення G_u відповідно на передавальній та приймальній стороні.

4. Відносна стеганографічна ємність $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$:

$$R_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = v_{\text{hid}}^{(k,\ell)} / \hbar_{\text{sp}} \cdot \hbar_{\text{px}}. \quad (1.9)$$

Фізичний смисл стеганографічної ємності – це частка прихованої інформації, яка приходить (вбудовується) на один біт синтаксичного опису початкового ВС. Величина $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ може представлятись у відсотках $R_{\text{steg},\%}^{(k,\ell)} = 100 \cdot v_{\text{hid}}^{(k,\ell)} / \hbar_{\text{sp}} \cdot \hbar_{\text{px}}$ (%), тобто який відсоток має вбудована інформація відносно бітового об'єму $V_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = I(n; b)$ початкового ВС.

Узагальнюючим показником оцінювання ефективності СТІ в умовах компресійного кодування ЗВК ресурсів для передачі бортовими ІКТ є швидкість S_{hid} прихованого у компресійному відеопотоці каналу передачі спеціальних (вбудованих) повідомлень. Складовими показника S_{hid} є:

- швидкість S_{ch} передачі даних в інфокомунікаційному каналі (або сегментована швидкість ΔS_s , $\Delta S_s = S_{ch} / I(n; b) = S_{ch} / 8 \cdot n \cdot n$);

- рівень $\mathfrak{G}_{steg}^{(k, \ell)}$ стиснення з врахуванням процесу вбудовування інформації:

$$\mathfrak{G}_{steg}^{(k, \ell)} = V_{beg}^{(k, \ell)} / V_{steg}^{(k, \ell)} = I(n; b) / V_{steg}^{(k, \ell)} = \hbar_{sp} \cdot \hbar_{px} / V_{steg}^{(k, \ell)}; \quad (1.10)$$

- значення $R_{steg}^{(k, \ell)}$ стеганографічної ємності відносно початкового бітового об'єму послідовності ВС.

Відповідно до чого маємо наступні співвідношення:

1) швидкість S_{steg} відео каналу з прихованою інформацією з врахуванням сегменто-орієнтовної обробки ЗВК ресурсів:

$$S_{steg} = v_s \cdot S_{ch} / \sum_{\tau=1}^{v_s} \frac{I(n; b)}{\mathfrak{G}_{steg}^{(\tau)}} = v_s \cdot (\Delta S_s / (\sum_{\tau=1}^{v_s} \frac{1}{\mathfrak{G}_{steg}^{(\tau)}})) \text{ (сег/с)}; \quad (1.11)$$

2) показник S_{hid} :

$$S_{hid} = v_s \cdot S_{ch} / \sum_{\tau=1}^{v_s} \frac{I(n; b)}{R_{steg}^{(\tau)} \cdot \mathfrak{G}_{steg}^{(\tau)}} = v_s \cdot (\Delta S_s / (\sum_{\tau=1}^{v_s} \frac{1}{R_{steg}^{(\tau)} \cdot \mathfrak{G}_{steg}^{(\tau)}})) \text{ (сег/с)}. \quad (1.12)$$

В співвідношеннях (1.11), (1.12) для спрощення двовимірні координати $(k; \ell)$ ВС замінюються одновимірною τ .

У разі, якщо рівень стиснення та стеганографічної ємності не має значимих змін в послідовності ВС, то можна використовувати відповідно усередненні значення $\bar{\mathfrak{G}}_{steg}$

та \bar{R}_{steg} : $\bar{\mathfrak{G}}_{steg} = (\sum_{\tau=1}^{v_s} \mathfrak{G}_{steg}^{(\tau)}) / v_s$; $\bar{R}_{steg} = (\sum_{\tau=1}^{v_s} R_{steg}^{(\tau)}) / v_s$. Тоді співвідношення (1.12) для

S_{hid} виглядатиме:

$$S_{hid} = \bar{R}_{steg} \cdot \bar{\mathfrak{G}}_{steg} \cdot \Delta S_s \text{ (сег/с)}. \quad (1.13)$$

Розглянемо оцінювання існуючих методів СТІ за базовими показниками.

Варіант класифікації основних за напрямками методів СТІ представлена на рис. 1.8. Серед означених СТІ одним з найбільш потенціальних за рівнем

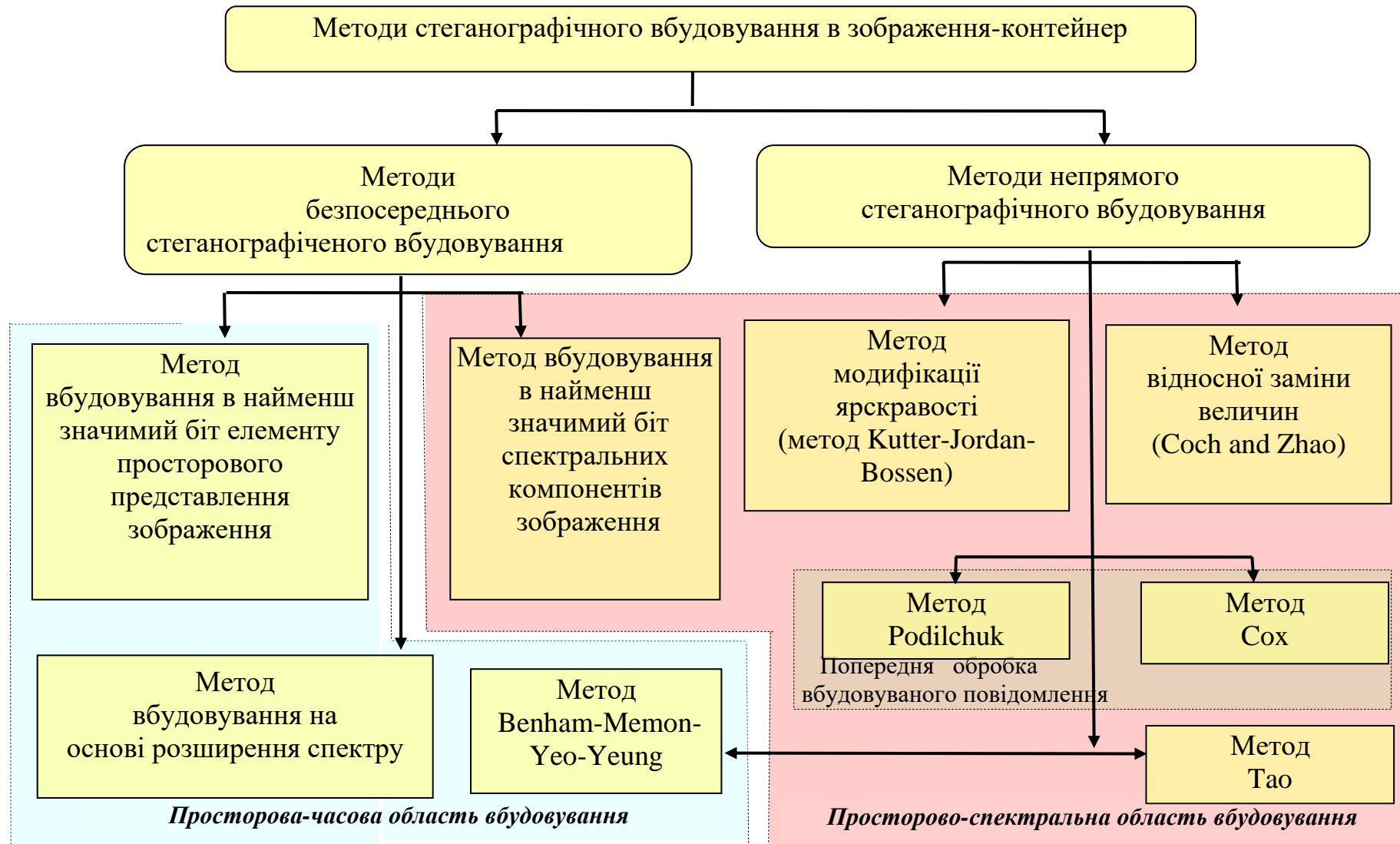


Рисунок 1.8. – Варіант класифікації основних стеганографічних методів вбудовування інформації до відео-контейнеру

стеганографічної ємності є клас методів вбудовування в наймолодший значимий біт (LSB) [97; 115; 118]. Отже досягається умова (1.6). Для збільшення ймовірності $P_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ безпомилкового вилучення інформації метод LSB впроваджується в спектральному просторі ВС. Найбільше значення величини $R_{\text{steg},\%}^{(k,\ell)}$ дорівнює 13 %. В цьому випадку вбудовується один біт на молодший біт кожної компоненти трансформованого ВС. Відповідно величина $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ досягає найбільшого значення, $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = n^2$.

Однак такий режим вбудовування інформації методом LSB має недоліки за іншими показниками ефективності СТП, а саме (табл. 1.6):

- збільшуються втрати за рівнем стиснення $\Delta \vartheta^{(k,\ell)} \lll 1$ (оскільки порушуються структурно-семантичні залежності для трансформованого ВС). В залежності від рівня інформативності ВС та режиму квантування втрати рівня стиснення можуть сягати від 10 до 70%;

- значно зменшується рівень ПВСШ, тобто $\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)} < \rho_{\text{nes}}$. Це вказує на: втрату цілісності ЗВКР; демаскування факту наявності прихованої у ВС інформації;


- за умов зменшення втрат рівня стиснення та збільшення семантичної цілісності ВСС за показником $\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ відбувається падіння рівня стеганографічної ємності в 4 рази.

Навпаки, у разі забезпечення умови: $\Delta \vartheta^{(k,\ell)} \rightarrow 1$ відбувається втрата цілісності вилучених на приймальній стороні прихованих повідомлень, $P_{\text{hid}}^{(k,\ell)} \rightarrow 0$, та/або рівня стеганографічної ємності; $\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)} \geq \rho_{\text{nes}}$ відбувається втрата рівня стеганографічної ємності. Наслідком означених недоліків є те, що рівень швидкості прихованого у компресійному відеопотоці вбудованої інформації буде недостатнім для забезпечення потрібних властивостей відеосервісів в процесі управління в КРІС та ОСД в умовах воєнного часу. Це впливає на збільшення часу доставки повідомлень, які необхідно приховувати та відповідно має деструктивний вплив на збільшення часової затримки щодо доставки ВСК.

Звідси існуючі методи СТП не забезпечують вимог за показниками: швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованих

Таблиця 1.6. - Залежність значення $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$, $\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$, $\Delta \mathcal{G}^{(k,\ell)}$ від режиму квантування для методу LSB для ВС з різним рівнем інформативності

Відносна стеганографічна ємність $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$, %	Режим квантування	Показники ефективності стеганографічних перетворень								
		Низький рівень інформативності, $\rho_{\text{nes}} = 21$ дБ; $\mathcal{G}^{(k,\ell)} = 12$			Середній рівень інформативності, $\rho_{\text{nes}} = 30$ дБ; $\mathcal{G}^{(k,\ell)} = 4,1$			Високий рівень інформативності, $\rho_{\text{nes}} = 35$ дБ; $\mathcal{G}^{(k,\ell)} = 1,5$		
		$\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ дБ	$\Delta \mathcal{G}^{(k,\ell)}$	$P_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$	$\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ дБ	$\Delta \mathcal{G}^{(k,\ell)}$	$P_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$	$\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ дБ	$\Delta \mathcal{G}^{(k,\ell)}$	$P_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$
13	1	13,5	30%	1	13,2	27%	1	13,6	25%	1
	2	12,2	50%	1	12,1	43%	1	12,5	41%	1
	3	10,7	70%	1	10,5	51%	1	10,9	49%	1
6,25	1	17,62	22%	1	17,12	20,5%	1	17,67	20%	1
	2	14,13	37%	1	15,03	35,2%	1	14,17	35%	1
	3	11,79	41%	1	12,11	41%	1	11,69	42%	1
3,1	1	31,43	10%	1	33,42	15%	1	32,12	19%	1
	2	20,45	17%	1	22,15	19%	1	26,43	27%	1
	3	18,03	20%	1	18,27	22%	1	18,54	31%	1

 - режим стеганографічних та компресійних перетворень, для якого забезпечується умова $\rho_{\text{steg}}^{(k,\ell)} \geq \rho_{\text{nes}}$

повідомлень; стеганографічної ємності; обмеження впливу на ефективність компресійного кодування; цілісність вилученої на приймальній стороні прихованої інформації; демаскування факту наявності вбудованих до ВС прихованих повідомлень. Отже в процесі забезпечення захисту інформації на основі СТП з використанням компресійного кодування ЗВК ресурсів в бортових ІКС виникає *протиріччя*. Воно стосується наступного (рис. 1.9):

1) з одного боку для забезпечення конфіденційності спеціальної інформації необхідно підвищувати ефективність СТП з використанням ЗВКР;

2) з іншого боку виникають втрати за показниками ефективності компресійного процесу та відповідно за такими властивостями інформаційного забезпечення, як своєчасність доставки та цілісність відеоінформації.

Це спричиняє додаткове зростання дисбалансу між потрібною та реальною швидкостями передачі даних з використанням бортових ІКС.

Таким чином, існує актуальна *науково-прикладна задача*, яка полягає у необхідності підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень для заданих властивостей відеосервісів з використанням бортових інфокомунікаційних систем.

Математичне формулювання. Необхідно забезпечити потрібний рівень $S_{\text{hid,nes}}$ швидкості прихованого у компресійному відеопотоці каналу вбудованої інформації:

$$S_{\text{hid}} \rightarrow S_{\text{hid,nes}} \quad (1.14)$$

з врахуванням:

1) умов обмеженості щодо: втрати рівня цілісності ЗВК ресурсу (втрати рівня демаскування прихованої у ВС інформації) $\Delta \rho_{\text{real}}^{(k,\ell)} \rightarrow 0$; складності технологічної реалізації СТП, $\mu_{\text{hid}}^{(k,\ell)} \sim o(v_{\text{hid}}^{(k,\ell)})$;

2) вимог щодо: цілісності вилученних на приймальній стороні в авторизованому режимі прихованих даних, тобто $\rho_{\text{hid}}^{(k,\ell)} \geq \rho_{\text{nes}}$; $P_{\text{hid}}^{(k,\ell)} = 1$; повноти $v_{s,nes}$ ЗВК ресурсу, тобто $v_s \geq v_{s,nes}$; обмеженої швидкості $\Delta S_{s,nes}$ передачі даних з використанням бортових ІКТ, $\Delta S_s \leq \Delta S_{s,nes} \leq v_{s,nes}$; рівня інформативності ВС.

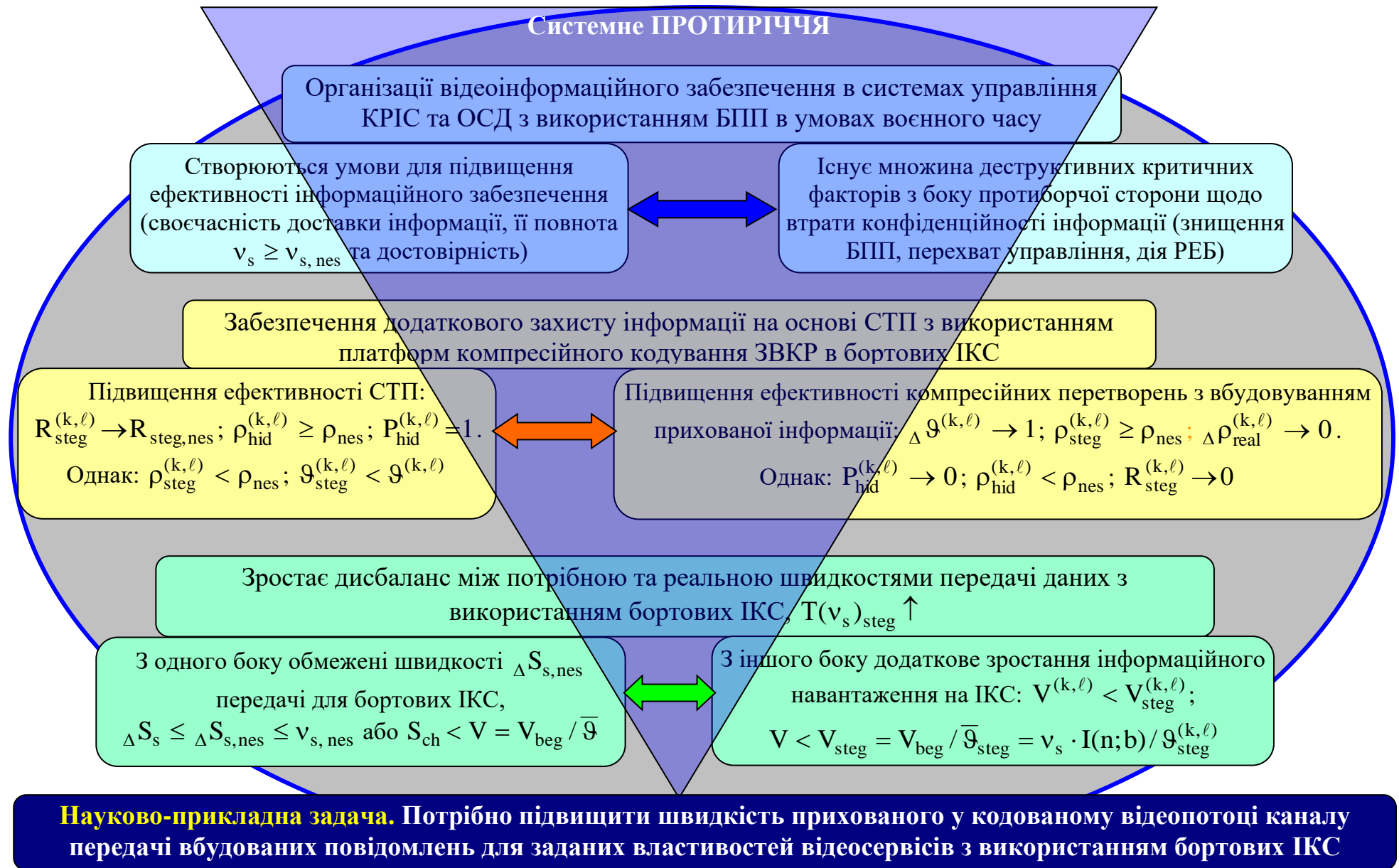


Рисунок. 1.9. – Структурна схема формування системного протиріччя в процесі сумісного застосування стеганографічних та компресійних перетворень для забезпечення потрібних властивостей відеосервісів з використанням бортових ІКС за умов воєнного часу

1.4. Постановка завдань на дослідження

В основі проблемних недоліків сучасних стеганографічних систем на концептуальному рівні їх створення лежить наступне **системне протиріччя** (рис. 1.10) [3; 14; 17; 97 – 100; 107 – 109; 112 – 114; 116; 117; 119; 123 – 134]:

1. З одного боку існуючі ІКТ кодування створюються без попереднього врахування можливості прихованого вбудовування повідомлень. Тобто в процесі побудови технологічних етапів трансформації та кодування не закладається можливість поточних модифікацій синтаксичного опису, який описує психовізуальні, статистичні та структурні залежності у ВС.

2. З іншого боку теоретична база сучасних стеганографічних перетворень не в повній мірі враховує технологічні особливості процесів скорочення кількості надмірності та кодування (рис. 1.10).

Водночас вагомим дестабілізуючим фактором в процесі організації компресійного кодування ВС з СТП є неоднорідність властивостей ВС щодо створення умов для досягнення компресійного та стеганографічного потенціалу. Це зумовлено тим, що ВС формуються для бортових відеоінформаційних ресурсів (аерофотознімки), та характеризується: неоднорідністю СТС контенту; високим рівнем інформативності за рівнем СТС складності; значною динамікою зміни СТС контенту між ВС в послідовності.

Для локалізації означеного системного протиріччя **пропонується** створювати двохситуаційну технологічну платформу кодування послідовності ВС, яка включатиме до себе:

1) метод попередньої селекції ВС за типами інформативності згідно обраного ситуаційного варіанту. Це дозволяє заздалегідь оцінювати СТС навантаження ВС та рівень допустимої до скорочення кількості ПСВ надмірності. Створюються умови для встановлення допустимого рівня семантичної цілісності поточного ВС. Відповідно оцінюється потенціал реалізації компресійних та стеганографічних властивостей ВС;

2) метод компресійного кодування ВС з вбудовуванням прихованої інформації

Системне протиріччя на концептуальному рівні побудови сучасних стеганографічних систем

З одного боку існуючі інфокомунікаційні технології кодування створюються без попереднього врахування можливості прихованого вбудовування повідомлень

З іншого боку теоретична база сучасних стеганографічних перетворень не в повній мірі враховує технологічні особливості процесів скорочення кількості надмірності та кодування

стеганографічні перетворення застосовуються для відео-контейнерів з врахуванням особливостей етапів технологічного процесу їх компресії. При цьому в основному для вбудовування інформації враховуються ПСВ залежності для ВС

основна частина методів СТП супроводжується: внесенням спотворень щодо візуального оцінювання якості ВС (додаткові втрати семантичної цілісності); скороченням частини від загальної кількості допустимої ПСВ надмірності; порушенням (руйнуванням) структурно-статистичних залежностей ВС, які визначають кількість допустимої для скорочення відповідних видів надмірності

в процесі СТП не враховуються: наявні особливості та рівень інформативності структурно-семантичного змісту ВСК; структурні та статистичні залежності у ВСК

вбудовування інформації здійснюється за фактично-наявним перехідним синтаксисом загального технологічного процесу компресійного кодування, тобто по завершенню або попереду кожного технологічного етапу компресійних перетворень

для більшості методів безпосереднє вбудовування інформації здійснюється шляхом модифікації на рівні бітового представлення елементів ВС

Мета дисертаційних досліджень стосується розробки методу стеганографічних та компресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегменті-контейнері

Рисунок 1.10. – Схема системного протиріччя на концептуальному рівні побудови стеганографічних систем

з наступними технологічними характеристиками: локалізувати взаємний деструктивний вплив між стеганографічними та компресійними перетвореннями; зменшити долю кількості ПСВ надмірності в результуючому рівні стиснення ВС та стеганографічної ємності вбудованих даних; забезпечити в процесі компресії та СТП врахування структурно-комбінаторних залежностей для ВС та їх перехідних форматів; створити підходи щодо вбудовування прихованої інформації безпосередньо в динаміці реалізації процесу кодування та створення поточного формату ВС; адаптуватися за рівнем скорочення кількості надмірності та об'єму вбудованих даних відповідно до визначеного рівня СТС інформативності ВС.

З'являється можливість балансування на поточному етапі процесу компресії *між*: залишковою кількістю ПСВ надмірності (яку ще можна використати для візуально-непомітного приховування інформації) та меншим ступенем порушень СТС властивостей (які ще потрібно враховувати для зменшення бітового об'єму ВС). Тому потрібно:

1. Створити метод ідентифікації ВС за складністю їх СТС змісту.
2. Розробити технологію стеганографічного приховування інформації з врахуванням умов, щодо : збільшення швидкості прихованого каналу передачі повідомлень у відеопотоці; забезпечення: потрібного рівня достовірності в процесі авторизованого вилучення прихованої інформації; зменшення спотворень у візуальному сприйнятті ВС за умов наявності вбудованої інформації; зниження впливу СТП на втрату рівня стиснення ВС; допустимих часових затримок на кодування та вбудовування інформації.

Звідси *мета дисертаційних досліджень* стосується розробки методу стеганокомпресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегменті-контейнері.

Для досягнення мети досліджень необхідно вирішити наступні задачі:

1. Удосконалити метод ідентифікації відеосегментів за рівнем інформативності структурно-семантичного змісту та потенціалу щодо стеганокомпресійних властивостей.

2. Обґрунтувати та створити форматований стегано-поліадичний базис з врахуванням маскуванню слідів прихованої інформації у відеосегментах.

3. Створити метод змішаного стеганокомпресійного кодування відеосегментів в форматованому стегано-поліадичному базисі з маскуванням прихованої інформації.

4. Розробити метод стеганокомпресійного декодування відео стегано-сегментів за умов збереження потрібного рівня цілісності контейнерної та прихованої інформації.

5. Розробити диференційну технологію стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів з врахуванням їх інформативності в умовах потрібного рівня надання відеосервісів з використанням бортових інфокомунікаційних систем.

Висновки за першим розділом

1. Обґрунтовано, що в процесі надання відеосервісів з використанням бортових платформ в умовах активного протидіяння виникає множина факторів, за яких зростає значимість стеганографічних перетворень для забезпечення конфіденційності спеціальної інформації з врахуванням вимог щодо своєчасності та цілісності доставки значимих відео-контейнерних ресурсів.

2. Обґрунтовано, що вимоги до характеристик стеганографічних систем потрібно формувати з врахуванням: деструктивного впливу протидіяної сторони на характеристики надання відеоінформаційних сервісів з використанням бортових ІКТ; забезпечення потрібного рівня своєчасності та цілісності доставки спеціальної інформації та значимих бортових відео-контейнерних ресурсів згідно вимог з боку систем управління КРІС та ОСД для досягнення інформаційної переваги; складності структурно-семантичного змісту бортових відеоресурсів, які використовуються в якості контейнерів, для забезпечення ефективності стеганографічних та компресійних перетворень.

3. Доведено те, що в процесі забезпечення захисту інформації на основі існуючих СТП з використанням сучасних платформ компресійного кодування ЗВКР в бортових ІКТ виникає *протиріччя*, а саме:

1) з одного боку для забезпечення конфіденційності спеціальної інформації необхідно підвищувати ефективність СТП з використанням ЗВКР за показниками стеганографічної ємності та цілісності вилучення вбудованих даних. Однак це призводить до втрати ефективності компресійного процесу;

2) з іншого боку потрібно забезпечити задані характеристики інформаційного забезпечення за своєчасністю та цілісністю доставки відеоінформації. Для цього необхідно підвищувати ефективність компресійного кодування. Однак це супроводжується втратою ефективності СТП.

4. Для збільшення ефективності стеганографічних та компресійних перетворень в процесі надання відеосервісів в умовах воєнного часу з використанням бортових ІКТ потрібно вирішити суперечність: з одного боку існуючі інфокомунікаційні технології кодування створюються без попереднього врахування можливості прихованого вбудовування повідомлень; з іншого боку теоретична база сучасних стеганографічних перетворень не в повній мірі враховує технологічні особливості процесів скорочення кількості надмірності та кодування.

5. Напрямок вирішення суперечності полягає у розробці методу стеганокомпресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегментах-контейнерів.

Основні результати досліджень, які викладено в першому розділі дисертації опубліковано та апробовано в наступних наукових працях [3; 16; 14; 33; 39; 40].

2. РОЗРОБКА ДВОСТУПЕНЬКОВОЇ КОНЦЕПЦІЇ СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В ПРОЦЕСІ КОМПРЕСІЙНОГО КОДУВАННЯ З СЕЛЕКЦІЄЮ ВІДЕОСЕГМЕНТІВ ЗА РІВНЕМ ІНФОРМАТИВНОСТІ

Обґрунтовується напрямок подальшого розвитку технологій кодування в умовах використання стандартизованих протоколів з попередньою типізацією сегментів за складністю їх структурно-семантичного змісту.

Розробляється метод контейнерної типізації відеосегментів на основі їх ідентифікації шляхом визначення інформативної ваги за рівнем складності структурно-семантичного змісту. Метод базується на встановленні та кількісній компіляції інформативної ваги з врахуванням локально-інтегрованих структурних залежностей в позиційному просторі ВС.

Стверджуються вимоги щодо побудови маскованого базового поліадичного базису з встановленим стегано-кодовим значенням та врахуванням особливостей форматowanego РСПБ в умовах: усунення демаскуючих слідів прихованої у ВС інформації; збереження цілісності ВС у разі несанкціонованого відновлення.

Створюється метод форматування розширеного стегано-поліадичного базису з маскуванням прихованої інформації в умовах неавторизованого доступу (стеганоатак). Включає дві базові технології: розширення та форматування базового поліадичного базису; змішане СК-маскування базового поліадичного базису, включно: маскування базового ПБ під форматований СППБ; маскування базового ПБ для реалізації непрямого приховування інформації.

2.1. Обґрунтування підходу щодо побудови стеганографічних перетворень в процесі компресійного кодування послідовності відеосегментів в інфокомунікаційних системах

Розглянемо обґрунтування підходу для компресійного кодування відеосегментів (ВС) з вбудовуванням прихованої інформації. Тут *пропонується* наступне (рис. 2.1) [3; 4; 6 – 8; 14; 15; 19; 44; 55; 59; 64; 70]:

- створювати єдину концепцію відносно компресійного кодування контейнера та стеганографічного вбудовування інформації. Це визначає новий тип кодування - *стеганокомпресійне кодування* [3; 6 – 10; 21];

- враховувати в процесі компресії та стеганографічних перетворень структурно-комбінаторні залежності для ВС та їх перехідних форматів;

- здійснювати приховування інформації після технологічних етапів скорочення кількості ПСВ надмірності з врахуванням рівня їх інформативності [4];

- вбудовувати приховану інформацію безпосередньо в динаміці процесу кодування та створення поточного синтаксичного формату ВС.

Даний підхід покладається на такі аспекти [3; 16; 44; 56; 60 – 62]:

- 1) відеоконтент можна описати сукупністю структурних компонент. Ефективність такого підходу підтверджується в процесі побудови загорткових нейронних мереж;

- 2) візуальне оцінювання та експерименти з використанням нейронних мереж показали те, що потенційна спроможність опису відеосцен на основі структурних складових сягає не менш ніж 70 %. В той же час саме можливість встановлення, опису та врахування структурних залежностей становить процес усунення кількості структурної надмірності.

Звідси існує потенційна спроможність для додаткового зменшення бітового об'єму ВС та вбудовування інформації з потрібною розподільною здатністю та цілісністю шляхом усунення кількості структурної надмірності.

Водночас існуючим технологіям компресійного кодування притаманний проблемний недолік. Його зумовлено тим, що переважно використовуються найбільш прості структурні (СТР) залежності, окресленість яких в ВС аерофотознімків

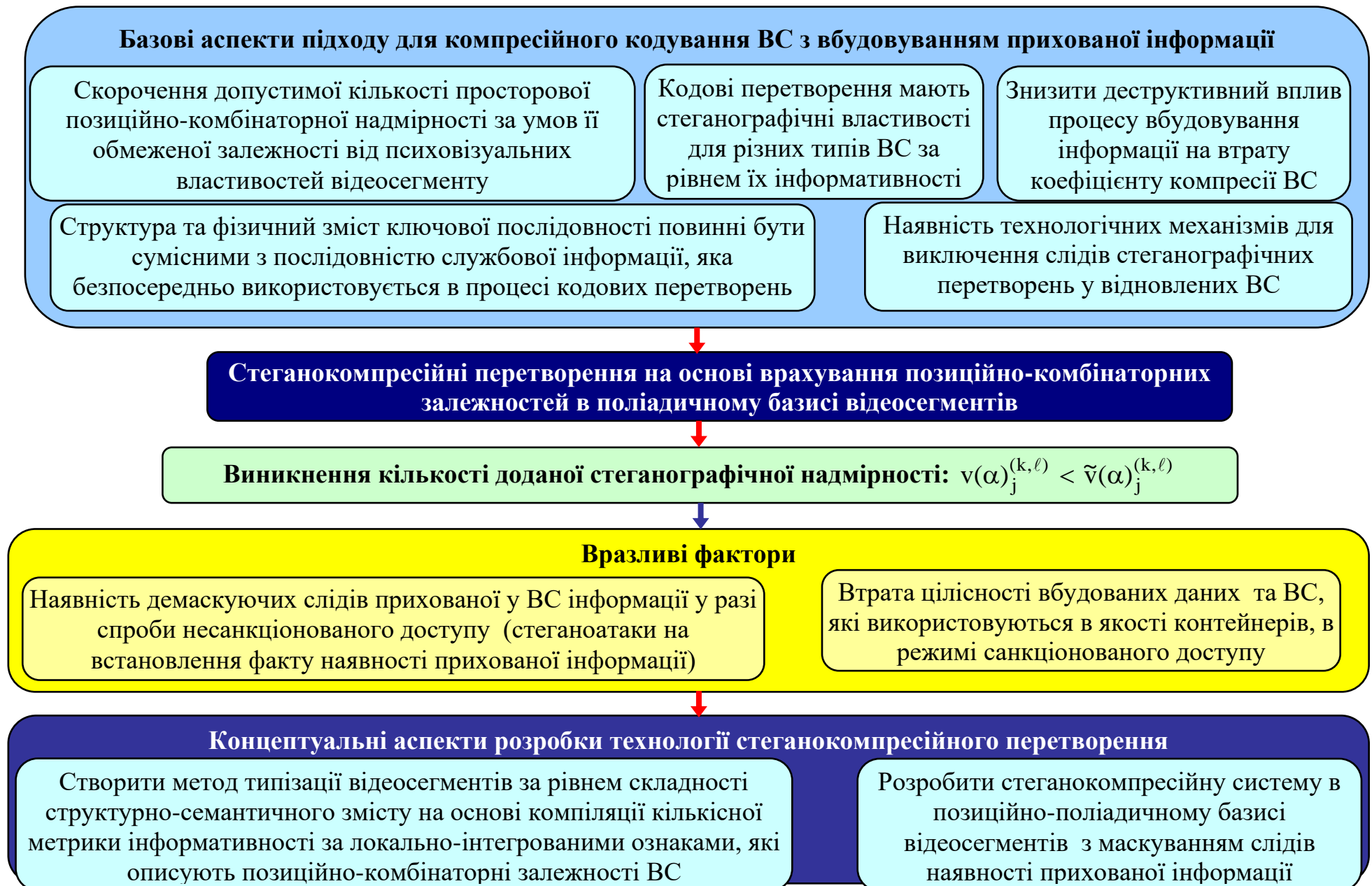


Рисунок 2.1. – Схема обґрунтування підходу для компресійного кодування ВС з вбудовуванням прихованої інформації

в умовах потрібної цілісності є обмеженою. Більш виразні структурні ознаки проявляються у разі усунення кількості ПСВ надмірності. Тобто супроводжуються втратами цілісності ВС. Звідси кількість СТР надмірності у разі обробки аерофотознімків залежить від: наявності та встановлення ПСВ особливостей ВС. Водночас в умовах забезпечення потрібного рівня цілісності можливість врахування ПСВ особливостей є обмеженою. Отже існуючими ІКТ кодування скорочуються лише незначна кількість структурної надмірності від її наявної або потенційно-встановленої кількості. Тому необхідно створити технологію вбудовування інформації з врахуванням такого виду надмірності, який не зв'язується з ПСВ закономірностями.

Одним з актуальних напрямків є використання структурних перетворень просторового представлення ВС для виявлення структурно-комбінаторної надмірності на основі поліадичного базису. При цьому потрібно враховувати додаткові вимоги, що представлені на рис. 2.1. Варіант реалізації означеного підходу викладається в таких наукових працях: [3; 19; 20; 44; 57]. Він організується на базі позиційних кодових структур. Безпосередньо вбудовування інформації X_u здійснюється в послідовність $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в процесі формування для неї перехідного кодового еквіваленту $N(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Така послідовність $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ позначається, як позиційне число в поліадичному базисі або позиційно-поліадичне число (ППЧ). В цьому випадку для забезпечення стеганокомпресійних перетворень враховується один з типів структурно-комбінаторних залежностей, а саме просторові позиційно-комбінаторні (ППК) залежності. Такий тип залежностей зумовлено наявністю позиційних обмежень $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ (ПОБ) на фактичний діапазон зміни значень елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ у відеосегменті $A^{(k,\ell)}$. Відповідно формується сукупність $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ ПОБ. Скорочення кількості ППК надмірності здійснюється в процесі формування кодового значення $N(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з використанням вагових коефіцієнтів $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ (вага i -го елементу α -ї складової j -го стовпця $(k;\ell)$ -го ВС), $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = f_w(\alpha; i; q(\alpha)_j^{(k,\ell)})$.

В працях [3; 19; 20; 44; 57; 68; 69] пропонується здійснювати додавання χ -го біту $g(u)_\chi$ послідовності G_u , що приховується, на старшу позицію ППЧ, $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = g(u)_\chi \cup A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з позиційним обмеженням $(\tilde{q}(\alpha)_{(n/\alpha)+1,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2$.

Водночас для створеного підходу існують вразливості. Вони виникають:

1. У разі неавторизованої реконструкції СК-представлення відеосегментів. В такому випадку можуть виникати втрати семантичної цілісності ВС.

2. В процесі врахування особливостей СТС змісту ВС за допомогою побудови двовимірного поліадичного базису в умовах додавання вбудованої інформації. Може статись, що у разі додавання вбудованого елемента довжина $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стегано-кодограми перевищуватиме довжину $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ компресійної кодограми, яка формується в умовах відсутності вбудовування інформації:

$$v(\alpha)_j^{(k,\ell)} < \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}; \quad (2.1)$$

Нерівність (2.1) є передумовою виникнення кількості $\Delta \tilde{h}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ штучної доданої стеганографічної (ДСГ) надмірності. Величина $\Delta \tilde{h}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ визначається різницею $\Delta \tilde{h}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} - v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ між довжинами кодограм для α -ї складової j -го стовпця $(k; \ell)$ -го ВС з врахуванням позиційно-поліадичного кодування в умовах: відсутності вбудовування інформації та за наявності прихованої інформації. Тут : $\Delta \tilde{h}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = 1$ (біт). Звідси створюються умови для:

1. Встановлення фактору наявності прихованої інформації у кодограмі компактно-представленої складової $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ВС. Даний фактор виявляється на основі перевірки потрібної довжини $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ кодограми з реальною $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

2. Втрати синтаксичної та семантичної цілісності складової $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ВС в процесі її неавторизованого відновлення. У разі неавторизованого відновлення є інформація лише стосовно контейнерного поліадичного базису $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Тому для декодування стегано-кодового значення з СК-кодограми замість $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ біт

буде вибрано $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Звідси детектоване в такому випадку кодове значення $\tilde{N}''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ не буде відповідати стегано-кодовому значенню $\tilde{N}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, яке є фактичним: $\tilde{N}''(\alpha)_j^{(k,\ell)} \neq \tilde{N}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Для усунення таких недоліків потрібно створювати технологічні механізми усунення демаскуючих структурних слідів. В роботах [3; 19; 20; 44; 57] для цього пропонується використовувати механізм локалізації (маскування) кількості $\Delta \tilde{h}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ доданої стеганографічної (ДСГ) надмірності. Це реалізується шляхом усунення одного наймолодшого біту в кодограмах. В цьому випадку досягається умова $v(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Однак такий процес локалізації демаскуючих слідів супроводжується зниженням ефективності стеганокомпресійних характеристик.

Розглянемо оцінювання ефективності СТП з врахуванням існуючого механізму маскування [3; 19; 20; 44; 57] в умовах політики авторизації (рис. 2.2, 2.3). Для візуалізації оцінок обрано два відеозображення з різною інформативністю за СТС змістом [109]. Відповідно вони відрізняються різним розподілом типів ВС. Перше відеозображення характеризується значною кількістю ВС з високою інформативністю за СТС змістом («Фрагмент аеропорту», рис. 2.2.а). Друге - має обмежену кількість таких ВС («Відеознімок Район місцевості», рис. 2.3.а). Експериментальне оцінювання здійснюється за наступними умовами: контейнери формуються на основі складових $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стовпців ВС, так, що $n_\alpha = 4$; біт прихованого повідомлення для імплементації у стегано-кодовому значенні додається на старшу позицію ППЧ.

Згідно до умов забезпечення політики авторизації можливі два варіанти.

Перше – варіант авторизованого відновлення та вилучення вбудованої інформації. Результати СК-декодування послідовності ВСС відеозображень «Фрагмент аеропорту» та «Район місцевості» представлені відповідно на рис. 2.2.б та 2.3.б. За результатами аналізу *авторизовано-відновлених* відеозображень з СК-демаскуванням, що представлені на рис. 2.2.б та 2.3.б, можна заключити таке:

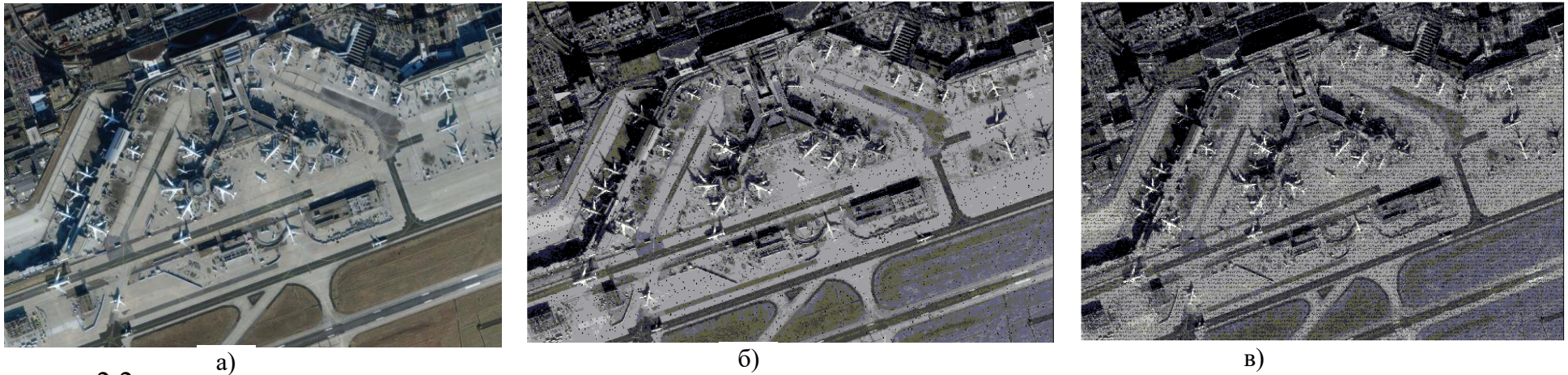


Рисунок 2.2.



а)

б)

в)

Рисунок 2.3. – Порівняльне оцінювання ефективності стеганографічних перетворень з врахуванням існуючого механізму маскування доданої стеганографічної надмірності: а) початкові відеозображення; б) відновлено за результатами СК-демаскування в режимі авторизованого користувача; в) відновлено в неавторизованому режимі

1) для вбудованої інформації в процесі її вилучення забезпечується виключення помилок (відсутні втрати цілісності вилученої прихованої інформації);

2) має місце наявність візуальних спотворень для відновлених відеозображень: характер спотворень є обмеженим та рівномірно розподіленими по всім ВС; спотворення можна використовувати для встановлення факту наявності вбудованих повідомлень. Найбільший візуальний прояв спотворень спостерігається для ВС, які мають обмежений рівень інформативності за СТС змістом. Рівень семантичної цілісності за показником ПВСШ для відеозображення: «Фрагмент аеропорту» - 27 дБ; «Район місцевості» - 22 дБ. Водночас є перекручування для об'єктів незначного розміру. Отже це створює умови для: зниження рівня семантичної цілісності та втрати рівня розподільної здатності ВС.

Другий – варіант неавторизованого відновлення та вилучення вбудованої інформації. Відновлені відеозображення «Фрагмент аеропорту» та «Район місцевості» для неавторизованого режиму наведені відповідно на рис. 2.2.в та 2.3.в. За результатами аналізу **неавторизовано-відновлених** відеозображень в умовах їх СК-перетворень з маскуванням можна стверджувати наступне. Вилучення вбудованих даних досягається з виключенням втрат їх цілісності. Однак процес маскування кількості ДСГ надмірності для неавторизованого відновлення має значний деструктивний вплив на втрату семантичної цілісності ВС. Найбільші семантичні втрати проявляються для незначних за розміром об'єктів ВС. Хоча за показником ПВСШ найменше значення втрат досягається для насичених за СТС змістом послідовності ВС, тобто для «Фрагмент аеропорту» - 17 дБ проти значення ПВСШ 13 дБ для середньо інформативного відеознімку «Район місцевості». Отже рівень візуальної оцінки, семантичних втрат та кількісних оцінок рівня семантичної цілісності за показником ПВСШ дозволяє стверджувати те, що:

1) в неавторизованому режимі за аналізом відновлених відеозображень встановлюється факт наявності вбудованих повідомлень;

2) *неавторизовано-відновлені* відеоресурси не можливо використовувати в процесі аналізу та прийняття рішень в системах управління сегментами оборонної та критичної інфраструктури (СОКРІ).

Таким чином необхідно розробити новий підхід для маскуванню кількості ДСГ надмірності з врахуванням рівня інформативності ВС за їх структурно-семантичним змістом в процесі СК-перетворень в поліадичному базисі з виключенням модифікацій стегано-кодових значень та їх кодограм.

2.2. Розробка методу оцінювання інформативної ваги відеосегментів на основі використання структурних властивостей в яскравісно-позиційному просторі

Для додаткового підвищення ефективності кодування ВС з вбудовуванням прихованих повідомлень *пропонується* використовувати попередню селекцію ВС. Селекцію ВС потрібно проводити з врахуванням [14]:

- 1) рівня інформативності та структурно-семантичної ваги ВС для збереження семантичної цілісності відеокадру;
- 2) наявності областей та рівня властивостей, які можна використовувати для прихованого вбудовування інформації;
- 3) наявної кількості допустимої для скорочення ПСВ надмірності.

Це відповідно для різних ситуаційних варіантів, щодо типу інформації для приховування, дозволяє:

- 1) перший ситуаційний варіант – розподілити ВС за спроможностями щодо забезпечення компресійних характеристик та стеганографічної ємності. Тут пропонується три наступних типа ВС:

- відеосегменти з високим потенціалом щодо зменшення бітового об'єму та прихованого вбудовування інформації без втрат семантичної цілісності. Такі ВС характеризуються: значною кількістю допустимої до скорочення ПСВ надмірності значною кількістю ПСВ-незалежної статистичної надмірності;

- відеосегменти з обмеженою спроможністю щодо скорочення бітового об'єму та вбудовування інформації в умовах збереження потрібної якості візуального сприйняття ВС. Для ВС такого типу можна утворити такий перехідний формат, для якого в умовах потрібного рівня семантичної цілісності з'являється потенціал щодо: скорочення допустимої кількості ПСВ надмірності; вилучення частково ПСВ-залежних структурно-статистичних залежностей;

- відеосегменти з низькими спроможностями щодо зниження бітового об'єму та забезпечення стеганографічної ємності вбудованих повідомлень. Такі ВС відрізняються високим рівнем інформативності (мають низький рівень допустимої для скорочення ПСВ надмірності). Відповідно: потрібний рівень стиснення та стеганографічної ємності можливий лише за внесенням значних втрат семантичної цілісності ВС;

2) другий ситуаційний варіант - ідентифікувати ВС відповідно до:

- відеосегментів контейнерного типу (ВС вважаються такими, що не містять значимої інформації щодо об'єктів інтересу або об'єктів невизначеності в заданих операційних районах);

- значимих (інформативних) ВС, які за СТС змістом вміщують в собі значиму інформацію щодо об'єктів інтересу та операційних районів;

Ключовим аспектом щодо типізації сегментів $A^{(k,\ell)}$ за структурно-семантичною складністю є визначення моделі оцінювання їх інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$. Наявність інформативної ваги ВС створює умови для кількісної оцінки його якісних та/або семантичних особливостей (складності). Тобто означена модель виступає своєрідною **компіляцією** якісних та семантичних особливостей ВС в набір кількісних показників. Отже **пропонується** створити модель кількісного оцінювання інформативної ваги сегменту в часовому просторі його описання на основі [14; 15; 18; 39; 55; 59] :

- використання таких структурних особливостей, які дозволяють врахувати як локальні так й інтегральні залежності між елементами сегменту;

- використання різнорідних за структурними особливостями ознаки семантичного змісту сегменту;

- врахування вимог щодо використання таких технологій дій під час визначення показника, що мають допустиму складність обчислень.

Для забезпечення сумісності зі стандартизованими технологічними платформами щодо кодування та формування компактного синтаксичного опису, будемо використовувати таке сегментування відеокадру A , для якого :

1) формуються макросегменти;

2) макросегменти складаються чотирма рівномірними ВС $A^{(k,\ell)}$, з однаковою роздільною здатністю n за рядками та стовбцями.

Розглянемо $(k; \ell)$ -й відеосегмент $A^{(k,\ell)}$, який $A^{(k,\ell)}$ утворюється елементами $a_{i,j}^{(k,\ell)}$ на перетині i -го рядка та j -го стовпця.

Для формування інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ ВС $A^{(k,\ell)}$ *пропонується* використовувати ознаки його семантичного змісту стосовно врахування [4; 14; 33; 39] :

- локальних змін яскравості (ознака 1);

- інтегрованих структурних ознак (ознака 2);

- інтегрованих яскравісних властивостей (ознака 3);

Виявлення та встановлення обраних типів ознак будемо здійснювати для рядків $A_i^{(k,\ell)}$ ВС $A^{(k,\ell)}$. Тут $A_i^{(k,\ell)}$ - i -й рядок $(k; \ell)$ -го ВС. Отже

пропонується властивості щодо локальних змін яскравості та інтегрованих структурних особливостей визначати такою ознакою, як кількість $v(i)_{\text{fluct}}$ значимих яскравісних перепадів між значеннями сусідніх елементів $a(\alpha)_{i,j-1}^{(k,\ell)}$ та

$a_{i,j}^{(k,\ell)}$ в i -му рядку. Дана властивість в умовах додаткового використання

параметру q_{loc} значимості локальних яскравісних змін дозволяє узагальнити

одночасно відомості щодо двох обраних ознак (ознака 1 та ознака 2). Надалі

величину $v(i)_{\text{fluct}}$ будемо визнавати наступним чином.

Визначення. Частота флуктуацій визначається, як кількість значимих яскравісних перепадів між сусідніми елементами в рядку. Відповідно частота флуктуацій для i -го рядку ($k; \ell$)-го ВС позначається величиною $v(i)_{\text{fluct}}$.

Знаходження величини $v(i)_{\text{fluct}}$ забезпечується функціоналом $\varphi(A_i^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}})_{\text{fluct}}$,

$$v(i)_{\text{fluct}} = \varphi(A_i^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}})_{\text{fluct}},$$

де q_{loc} - встановлений рівень значимості яскравісного перепаду, тобто рівень відсутності флуктуації (інтервал яскравісної не значимості).

Схематично процес знаходження частоти флуктуацій представлено на рис. 2.4.

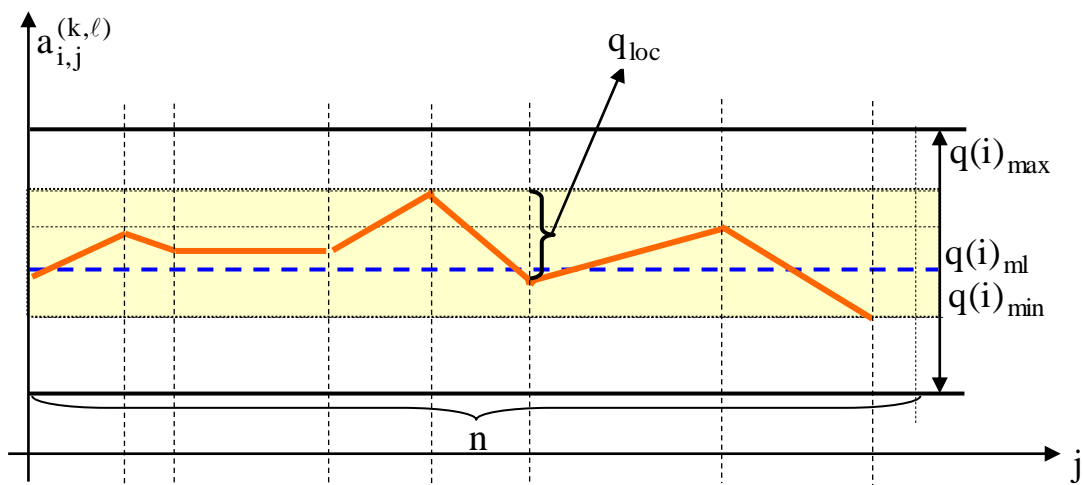


Рисунок. 2.4. – Варіант флуктуацій в i -му рядку ($k; \ell$)-го ВС з визначеною амплітудою $q(i)$

Вплив параметру q_{loc} на величину $v(i)_{\text{fluct}}$ полягає в наступному :

1. Якщо значення $a_{i,j}^{(k,\ell)}$ поточного j -го елемента в i -му рядку за модулем відрізняється від значення $a_{i,j-1}^{(k,\ell)}$ попереднього $(j-1)$ -го елемента на

величину не менш ніж q_{loc} , то флуктуації немає (немає значимого яскравісного перепаду). Тобто

$$| a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)} | < q_{loc}, \text{ то } v(i)_{fluct,j} = v(\alpha; u)_{fluct,j-1}, \quad (2.2)$$

де $v(i)_{fluct,j-1}$, $v(i)_{fluct,j}$ - значення частоти флуктуації відповідно по результатах врахування значення елемента $a_{i,j-1}^{(k,\ell)}$ до та після додаткового аналізу значення елемента $a_{i,j}^{(k,\ell)}$.

2. Навпаки, якщо між значеннями елементів $a_{i,j-1}^{(k,\ell)}$ та $a_{i,j}^{(k,\ell)}$ виконується умова

$$| a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)} | \geq q_{loc}, \quad (2.3)$$

то поточний яскравісний перепад є значимим, та формує чергову флуктуацію. Отже поточне значення $v(i)_{fluct,j}$ частоти флуктуацій буде дорівнювати

$$v(i)_{fluct,j} = v(i)_{fluct,j-1} + 1. \quad (2.4)$$

Для узагальнення процесу формування складової показника $\delta(k; \ell)$ (формування значень частоти флуктуацій) за частотою флуктуацій **пропонується** застосовувати функціонал $\Phi_{filtr}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{loc})$ фільтрації наявності значимого яскравісного перепаду. Він має наступний опис :

$$\Phi_{filtr}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{loc}) = \text{sign}(1 + \text{sign}(| a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)} | - q_{loc})). \quad (2.5)$$

За допомогою функціоналу $\Phi_{filtr}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{loc})$ забезпечується розмежування (відфільтрування) різних варіантів порівняння між $| a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)} |$ та q_{loc} , а саме :

$$\varphi_{\text{filtr}}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}}) = \begin{cases} 0, & \rightarrow |a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)}| < q_{\text{loc}}; \\ 1, & \rightarrow |a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)}| \geq q_{\text{loc}}. \end{cases} \quad (2.6)$$

На основі чого, отримані вирази (2.2) - (2.4) можна узагальнити таким чином :

$$v(i)_{\text{fluct},j} = v(i)_{\text{fluct},j-1} + \varphi_{\text{filtr}}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}}). \quad (2.7)$$

Отримана формула є складовою функціонала $\varphi(A_i^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}})_{\text{fluct}}$ щодо рекурентного визначення величини $v(i)_{\text{fluct}}$, яка враховує параметр значимості флуктуації q_{loc} та є загальною для елементів α -го рядку сегменту. Відповідно маємо :

$$v(i)_{\text{fluct}} = \varphi(A_i^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}})_{\text{fluct}} = \varphi(X(u)^{(\alpha)}; \varphi_{\text{filtr}}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}}))_{\text{fluct}}.$$

або з врахуванням того, що $v(i)_{\text{fluct}} := v(i)_{\text{fluct},n}$ та узагальнюючі рекурентний вираз (2.7) будемо мати наступне співвідношення :

$$\begin{aligned} v(i)_{\text{fluct}} &= \sum_{j=1}^n v(i)_{\text{fluct},j} = \sum_{j=2}^n \varphi_{\text{filtr}}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}}) = \\ &= \sum_{j=2}^n \text{sign}(1 + \text{sign}(|a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)}| - q_{\text{loc}})). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Схематична реалізація створеного процесу з використанням функції $\varphi_{\text{filtr}}(a_{i,j}^{(k,\ell)}; a_{i,j-1}^{(k,\ell)}; q_{\text{loc}})$ відфільтровування представлено на рис. 2.5.

Розглянемо визначення ознаки 3. Властивість сегменту за інтегрованими яскравісними змінами **пропонується** визначати як діапазон зміни значень елементів $a_{i,j}^{(k,\ell)}$ в i -му рядку. Такі зміни будемо позначати, як $q(i)$ - величина амплітуди. З врахуванням того, що для кожного рядку $A_i^{(k,\ell)}$ виявляються

значимі флуктуації між значеннями сусідніх елементів, то пропонується величину $q(i)$ інтерпретувати, як діапазон можливих флуктуацій для i -го рядка $(k; \ell)$ -го . Для цього використовується наступна формула :

$$q(i) = q(i)_{\max} - q(i)_{\min} .$$

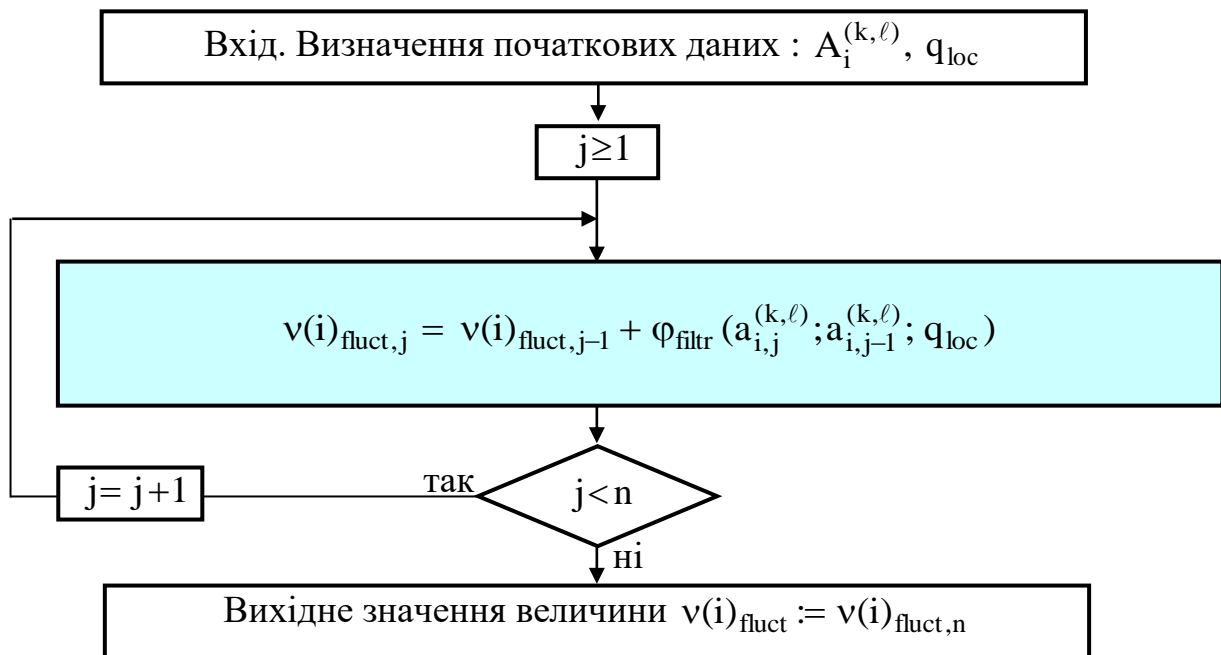


Рисунок. 2.5.-Схема реалізації процесу визначення частоти значимих флуктуацій для i -го рядку ВС

Тут $q(i)_{\max}$, $q(i)_{\min}$ - відповідно максимальне та мінімальне значення флуктуацій в i -го рядка $(k; \ell)$ -го сегменту. Для їх знаходження застосовуються відповідні вирази :

$$q(i)_{\max} = \max_{a_{i, j}^{(k, \ell)} \in A_i^{(k, \ell)}} (a_{i, j}^{(k, \ell)}); \quad q(i)_{\min} = \min_{a_{i, j}^{(k, \ell)} \in A_i^{(k, \ell)}} (a_{i, j}^{(k, \ell)}).$$

Звідки, за допомогою наведених виразів величина $q(i)$ визначається таким співвідношенням :

$$q(i) = \max_{a_{i, j}^{(k, \ell)} \in A_i^{(k, \ell)}} (a_{i, j}^{(k, \ell)}) - \min_{a_{i, j}^{(k, \ell)} \in A_i^{(k, \ell)}} (a_{i, j}^{(k, \ell)}). \quad (2.9)$$

В цій формулі умова $a_{i,j}^{(k,\ell)} \in A_i^{(k,\ell)}$ означає те, що елемент $a_{i,j}^{(k,\ell)}$ належить рядку $A_i^{(k,\ell)}$.

Отже визначена за допомогою виразу (2.9) величина $q(i)$ є максимально можливим діапазоном, який встановлює межі зміни величин $|a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)}|$ флуктуацій для даного рядку, $j = \overline{2, n}$. Тобто буде вірним співвідношення :

$$\max_{a_{i,j-1}^{(k,\ell)}, a_{i,j}^{(k,\ell)} \in A_i^{(k,\ell)}} |a_{i,j}^{(k,\ell)} - a_{i,j-1}^{(k,\ell)}| \leq q(i).$$

Отже запропоновані процеси визначення обраних яскравісних та структурних ознак сегменту, які враховують відповідно за допомогою формул (2.8), (2.9) його локальні та інтегровані СТС властивості. Дані ознаки є різнорідними (враховують яскравісні та структурні властивості рядків ВС), дозволяють встановлювати залежності за локальними та інтегрованими СТС змінами ВС, та потребують лінійної складності обчислень. Для визначення частоти $\nu(i)_{\text{fluct}}$ значимих флуктуацій за формулою (2.7) використати $2 \cdot n$ операцій віднімання та $(n - 1)$ операцій додавання. Знаходження амплітуди $q(i)$ значимих флуктуацій за формулою (2.9) потребує виконання лише $2 \cdot n$ операцій порівняння та одну операцію віднімання. Звідки, слідує те, що величини $\nu(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ можна використовувати в якості складових загального показника $\delta(k; \ell)$, значення якого визначають інформативну вагу $W(A^{(k,\ell)})$ сегмента $A^{(k,\ell)}$, та є кількісною оцінкою (інтерпретацією) його структурно-семантичної (СТС) складності.

Для обирання форми показника $\delta(k; \ell)$ потрібно враховувати наступні особливості для величин $\nu(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$.

Чим більше частота $\nu(i)_{\text{fluct}}$ значимих флуктуацій тим більше рівень деталізації рядку сегменту отже тим більше його інформативність $W(A_i^{(k,\ell)})$ та відповідно СТС складність. Та, навпаки.

Чим більше значення $q(i)$ амплітуди флуктуацій, тим більше потужність значень елементів рядку та відповідно вище рівень його інформативної ваги $W(A_i^{(k,\ell)})$. Відповідно більшим буде рівень СТС складності даного рядку сегменту. Та, навпаки.

Звідки в процесі знаходження інформативної ваги $W(A_i^{(k,\ell)})$ для α -го рядку i -го сегменту необхідно забезпечити виконання умови :

$$W(A_i^{(k,\ell)}) \sim \nu(i)_{\text{fluct}} \& q(i).$$

Щодо прямо пропорційної залежності інформативної ваги від величин $\nu(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$.

Звідки пропонується обирати наступний вигляд функціоналу для знаходження $W(A_i^{(k,\ell)})$, а саме :

$$\delta(k; \ell) \sim \nu(i)_{\text{fluct}} \cdot q(i).$$

Але ж в цьому випадку існує дисбаланс між значеннями двох складових $\nu(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ інформативної ваги $W(A_i^{(k,\ell)})$.

Суть такого дисбалансу стосується наступного.

1. Діапазон значень величини $\nu(i)_{\text{fluct}}$ залежить від довжини n рядку відеосегменту $A^{(k,\ell)}$. Тоді максимальне значення $\nu(i)_{\text{fluct}}^{(\max)}$ частоти флуктуацій знаходиться за допомогою виразу :

$$\nu(i)_{\text{fluct}}^{(\max)} = n - 1.$$

Наприклад, для $n=8$ матемимо $\nu(i)_{\text{fluct}}^{(\max)} = 7$. Схематично визначення кількості яскравіших перепадів наведено на рис. 2.6.

2. Максимальне значення $q(i)^{(\max)}$ амплітуди залежить від кількості v_{pix} біт, що використовується для синтаксичного опису елементів $a_{i,j}^{(k,\ell)}$ відеосегменту $A^{(k,\ell)}$. Величина $q(i)^{(\max)}$ обчислюється з використанням наступного виразу :

$$q(i)^{(\max)} = 2^{v_{\text{pix}}} - 1.$$

Відповідно, якщо $v_{\text{pix}} = 8$ біт, то максимальне можливе значення $q(i)^{(\max)}$ амплітуди флуктуацій буде дорівнювати $q(i)^{(\max)} = 255$.

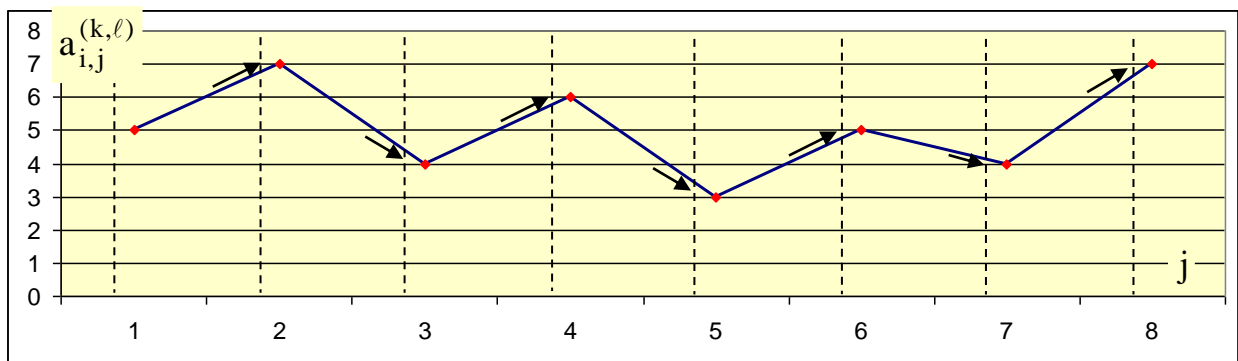


Рисунок. 2.6. - Схематично визначення кількості яскравіших перепадів

Звідки слідую те, що дисбаланс значень величин $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ може складати 36 разів або 93 %. Зрозуміло, що в цьому випадку значення амплітуди $q(i)$ флуктуацій буде мати значно більший вплив, аж до повного анулювання внеску величини $v(i)_{\text{fluct}}$ в загальне значення інформативної ваги $W(A_i^{(k,\ell)})$. Для зменшення такого впливу **пропонується** величину $q(i)$ амплітуди флуктуацій використовувати за логарифмічною шкалою. Тоді максимальне можливе значення $\log_2 q(i)^{(\max)}$ обчислюється, як :

$$\log_2 q(i)^{(\max)} = \log_2 (2^{v_{\text{pix}}} - 1),$$

та для $v_{\text{pix}} = 8$, буде дорівнювати $\log_2 q(i)^{(\max)} = 8$.

Отже запропоновані перетворення дозволяють вирівняти вплив величин

$v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ на значення інформативної ваги $W(A_i^{(k,\ell)})$ для α -го рядку сегменту. Тоді в умовах, коли $v_{\text{pix}} = 8$ та $n=8$, функціональна залежність для знаходження величини $W(A_i^{(k,\ell)})$ буде мати наступного вигляду :

$$W(A_i^{(k,\ell)}) \sim v(i)_{\text{fluct}} \cdot \log_2 q(i). \quad (2.10)$$

Для оцінювання інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ всього сегменту необхідно зважати значення інформативної ваги $W(A_i^{(k,\ell)})$ для всіх його рядків, $\alpha = \overline{1, n}$, тобто :

$$W(A^{(k,\ell)}) \sim \{W(A_1^{(k,\ell)}); \dots; W(A_i^{(k,\ell)}); \dots; W(A_n^{(k,\ell)})\}.$$

Тому для залучання впливу на значення інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ структурних особливостей всіх рядків сегменту **пропонується** здійснювати відповідну інтеграцію значень складових $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ по всім рядкам, $\alpha = \overline{1, n}$, тобто :

$$\delta(k; \ell) \sim \sum_{i=1}^n v(i)_{\text{fluct}} \cdot \log_2 q(i).$$

В теж час після інтеграції по всім рядкам максимальне можливе значення $W(A^{(k,\ell)})^{(\text{max})}$ інформативної ваги сегменту буде встановлюватись за формулою :

$$W(A^{(k,\ell)})^{(\text{max})} \sim \sum_{i=1}^n (n-1) \cdot \log_2 (2^{v_{\text{pix}}} - 1) \approx v_{\text{pix}} \cdot n^2.$$

Для умов, коли $v_{\text{pix}} = 8$ та $n=8$, величина $W(A^{(k,\ell)})^{(\text{max})}$ прийме значення $W(A^{(k,\ell)})^{(\text{max})} = 512$. Такий діапазон ускладнює послідуєчне використання означеного показника для типізації сегментів (макросегментів) та їх структурного переформатування. Отже **пропонується** використовувати **нормування** інтегрованого значення. Для цього потрібно врахувати наступні

особливості : кількість n рядків в сегменті; мінімальну межу для діапазону значимості відхилення між сусідніми елементами рядку, що становить 16 градацій яскравості; верхню межу діапазону надвисокої значимості відхилення між сусідніми елементами за їх значеннями, яка дорівнює 128.

Зважаючи заявлені особливості *пропонується* здійснювати нормування за величиною $16 \cdot n$, яка для $n=8$ буде дорівнювати 128, $16 \cdot n=128$.

Звідки для знаходження нормованого значення $W(A^{(k,\ell)})$ інформативної ваги сегменту *пропонується* використовувати наступне співвідношення :

$$W(A^{(k,\ell)}) = \frac{\sum_{\alpha=1}^n v(i)_{\text{fluct}} \cdot \log_2 q(i)}{16 \cdot n}. \quad (2.11)$$

В цьому разі максимальне можливе нормоване значення $W(A^{(k,\ell)})^{(\max)}$ інформативної ваги для $n=8$ буде обмежена величиною 3,5, $W(A^{(k,\ell)})^{(\max)} = 3,5$. Відповідно можливе нормоване значення $W(A^{(k,\ell)})$ ваги знаходиться в діапазоні $[0; 3,5]$:

$$0 \leq W(A^{(k,\ell)}) \leq 3,5. \quad (2.12)$$

З урахуванням фізичного сенсу складових $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ можна надати наступну інтерпретацію величини $W(A^{(k,\ell)})$.

Чим вище структурно-семантична складність сегменту, тим більше в ньому міститься деталізуючої інформації та більш контрастні яскравісні перепади. Отже більшими будуть значення частоти $v(i)_{\text{fluct}}$ флуктуацій та їх амплітуди $q(i)$. Звідки зростає значення інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ поточного сегменту. Та, навпаки, спрощення СТС складності сегменту сприяє зменшенню значення його інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$.

Структурно-функціональна схема створеного процесу типізації ВС з врахуванням інформаційної ваги наведена на рис. 2.7.

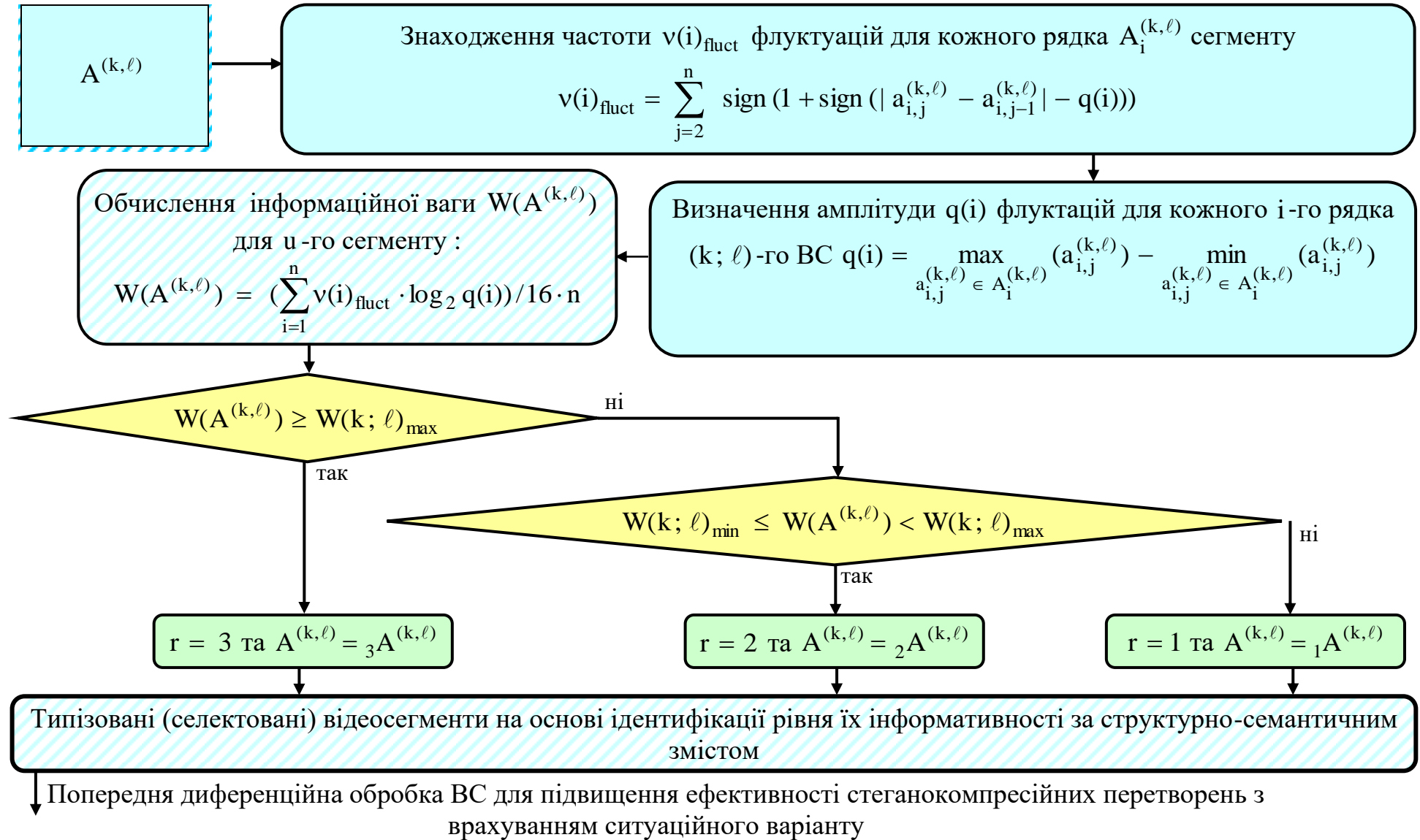


Рисунок 2.7. – Структурно-функціональна схема типізації ВС в залежності від інформативної їх ваги за структурно-семантичним змістом

За викладеним матеріалом науково-прикладних досліджень можна підсумувати наступне. Розроблено метод контейнерної типізації ВС на основі їх ідентифікації шляхом визначення інформативної ваги за рівнем складності СТС змісту. Метод базується на встановленні та кількісної компіляції інформативної ваги з врахуванням локально-інтегрованих структурних залежностей в позиційному просторі ВС. Це дозволяє провести типізацію ВС за: впливом на достовірність інформації або визначення ВС з найбільшою кількістю ПСВ надмірності; розподілом контейнерних типів щодо вбудовування прихованих повідомлень.

2.3. Створення методу форматування розширеного стегано-поліадичного базису з маскуванням прихованої інформації в умовах неавторизованого доступу

В процесі СК-перетворень враховується кількість $N_j^{(k,\ell)}$ надмірності, яка зумовлена наявністю просторових позиційно-комбінаторних (ППК) залежностей. Для цього встановлюються позиційні обмеження $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ (ПОБ) на фактичний діапазон зміни значень елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ в рядках $A_i^{(k,\ell)}$ та/або в стовпцях $A_j^{(k,\ell)}$ відеосегменту $A^{(k,\ell)}$, тобто для $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$:

$$a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1 + \delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)}. \quad (2.13)$$

Тут прийняті наступні позначення: $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - $(i; \alpha; j)$ -й елемент $(k; \ell)$ -го відеосегменту або i -й елемент α -ї складової (послідовності) j -го стовпця для $(k; \ell)$ -го відеосегменту; $q(\alpha)_i^{(k,\ell)}$, $q(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - ПОБ на діапазон зміни значень елементів ПАД числа відповідно в i -му рядку та j -му стовпцю [3; 16; 44; 56]:

$$q(\alpha)_i^{(k,\ell)} = \max_{1 \leq j \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}; \quad q(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \max_{1 \leq i \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}; \quad (2.14)$$

δ - маркер результату порівняння позиційних обмежень $q(\alpha)_i^{(k,\ell)}$, $q(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ відповідно на елементи ПАД числа за i -м рядком $A_i^{(k,\ell)}$ та j -м стовпцем $A_j^{(k,\ell)}$: $\delta = \text{sign} \cdot (\gamma_1 \cdot \max_{1 \leq j \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\} - \gamma_2 \cdot \max_{1 \leq i \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\})$; γ_1, γ_2 - маркери режимів встановлення ППК залежностей для ВС за його рядками та стовпцями, а саме:

$$a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq \begin{cases} q(\alpha)_i^{(k,\ell)}, & \rightarrow \gamma_1 = 0 \ \& \ \gamma_2 = 1; \\ q(\alpha)_j^{(k,\ell)}, & \rightarrow \gamma_1 = 1 \ \& \ \gamma_2 = 0; \\ q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}, & \rightarrow \gamma_1 = 1 \ \& \ \gamma_2 = 1. \end{cases} \quad (2.16)$$

Співвідношення (2.13) – (2.16) дозволяють в загальному вигляді визначити ПОБ $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ для елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ ВС в залежності від режиму їх врахування. Отже, якщо одне зі значень маркерів γ_1, γ_2 дорівнює 0, то обмеження на діапазон зміни значень знаходяться відповідно за рядком ($\gamma_1 = 0$) або стовпцем ($\gamma_2 = 0$). У разі, коли всі значення маркерів дорівнюють 1, то ПОБ визначаються за двовимірним простором всього ВС. Сукупність таких ПОБ в залежності від мірності виявлення їх у $(k; \ell)$ -му ВС утворюють відповідний поліадичний базис $Q(\alpha)^{(1,k,\ell)}$, $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ відеосегменту:

- 1) поліадичний базис $Q(\alpha)^{(1,k,\ell)}$ відповідно за: рядками або стовпцями ВС;
- 2) поліадичний базис $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ за обмеженнями в двовимірному просторі ВС.

Усунення кількості ППК надмірності досягається в процесі формування кодових значень $N(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$N(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \sum_{i=1}^{n_\alpha} a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} ; \quad \forall \alpha = 1 | N_j^{(k,\ell)} = \sum_{i=1}^n a_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w_{i,j}^{(k,\ell)} , \quad (2.17)$$

де $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - ваговий коефіцієнт i -го елементу α -ї складової j -го стовпця $(k; \ell)$ -го відеосегменту, $\alpha = \overline{2; n/2}$.

Коефіцієнти $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ формують умови для скорочення кількості ППК надмірності з врахуванням ПОБ для поточної довжини θ для α -ї складової j -го стовпця ВС. Тому вагові коефіцієнти можна трактувати, як **позиційно-комбінаторна вага** елементів ППЧ. Процес формування кодового значення для ППЧ на основі врахування **позиційно-комбінаторної ваги** їх елементів з використанням виразу (2.17) визначається, як **одновимірне позиційне кодування в двовимірному поліадичному базисі**.

Відповідно процес позиційного кодування в поліадичному просторі з одночасним вбудовуванням (імплантацією) прихованої інформації на основі врахування допустимої кількості ППК надмірності визначається, як **стеганокompресійне (СК) кодування або поліадичне стеганокompресійне кодування** [6 – 10; 53; 54; 58; 60; 64; 70].

Після додавання елементів $g(u)_\chi$ прихованої інформації до ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ утворюються стегано-ППЧ $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Відповідно це супроводжується зміною кількості компонент $(n_\alpha + 1)$ у базовому поліадичному базисі (ПБ). Тому в подальшому такий ПБ визначатимемо розширеним стегано-поліадичним базисом (РСПБ) $\tilde{Q}(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Наявність РСПБ дозволяє провести імплементацію доданих елементів $g(u)_\chi$ до синтаксичного опису СК-представлення. Це досягається за допомогою формування стегано-кодів значень $\tilde{N}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для відповідних СППЧ $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Водночас розширення базового ПБ призводить до виникнення розбіжностей між довжинами $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ кодограм $C(\alpha)_j^{(k,\ell)}$,

$\tilde{C}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для α -ї складової j -го стовпця $(k;\ell)$ -го ВС з врахуванням позиційно-поліадичного кодування в умовах: відсутності вбудовування інформації та з наявності прихованої інформації. Звідси виникає кількість $\Delta \tilde{h}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ штучної доданої стеганографічної (ДСГ) надмірності. Зрозуміло, що така інформація може використовуватись для проведення стеганоаналізу.

Тому для підвищення ефективності функціонування стеганокомпресійних систем з використанням РСПБ $\tilde{Q}(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ для опису ППК залежностей ВС необхідно забезпечити усунення дисбалансу між довжинами $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Це потрібно здійснити без внесення втрат в процесі перетворення стегано-кодів значень $\tilde{N}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Таке стає можливим за рахунок того, що довжини $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ визначаються в поліадичному базисі на основі накопиченого добутку позиційних обмежень (ПОБ) відповідних елементів, а саме:

$$v(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \left[\sum_{i=1}^{n/\alpha} \log_2 (\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \right] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta));$$

$$\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \left[\sum_{i=1}^{(n/\alpha)+1} \log_2 (\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \right] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)).$$

Звідси на основі форматування РСПБ та послідуочого маскування під нього базового ПБ можна одночасно забезпечити: усунення дисбалансу між довжинами $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ кодограм $C(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, $\tilde{C}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$; виключення втрат цілісності ВС-контейнерів (ВСК) та прихованих повідомлень в умовах авторизованого та несанкціонованого доступу (стеганоатак щодо виявлення факту наявності прихованої інформації).

Під **форматуванням** РСПБ розуміється процес перерозподілу комбінаторно-позиційної ваги між елементами СППЧ, включно елементами ППЧ (контейнерні елементи) та доданим елементом приховуемого повідомлення для забезпечення їх цілісності та рівня стиснення. В результаті форматування РСПБ утворюється базис $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ з компонентами $\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$.

Після чого для приховування факту наявності вбудованих в СППЧ даних з позиції неавторизованого доступу базовий ПБ маскується під форматований РСПБ. Такий процес позначатимемо, як **стеганокомпресійне маскування** (СК-маскування). Маскування **пропонується** реалізовувати шляхом корекції позиційних обмежень $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з врахуванням вимог, щодо:

- 1) усунення дисбалансу між довжин кодограм $C(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $\tilde{C}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$;
- 2) кількості елементів прихованого повідомлення, які додаються в СППЧ $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для імплантації в їх стегано-кодових значеннях $\tilde{N}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$;
- 3) позиції ξ доданого елемента $\tilde{a}(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$ прихованого повідомлення X_u до стегано-позиційного числа (СППЧ) $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в РСПБ $\tilde{Q}(\alpha)^{(2,k,\ell)}$;
- 4) позиціонування елемента $\tilde{a}(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ в СППЧ, обмеження $\tilde{q}(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ якого буде кореговано, відносно координати ξ розташування вбудованого елемента.

В цьому випадку створюється маскований базовий ПБ (МБПБ) $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ з компонентами $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$.

Зрозуміло те, що СК-маскування кількості ДСГ надмірності організується для забезпечення прихованості вбудованих повідомлень. Це стосується випадку саме неавторизованого режиму доступу до ВСС. Звідси потрібно забезпечити відновлення ВС для неавторизованого режиму з

потрібним рівнем семантичної цілісності без залучення додаткових службових (ключових) відомостей. Тобто необхідно враховувати те, що процес неавторизованого декодування буде здійснюватись за наявності стандартно-потрібних відомостей (мається на увазі ті відомості, які використовуються для декодування в умовах відсутності вбудованих даних).

Тому СК-маскування базового ПБ під форматований РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ потрібно проводити для вже визначеного стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, тобто для кодового значення з вбудованою інформацією.

Звідси необхідно створити таку **стратегію форматування розширеного стегано-поліадичного базису** щодо технологічної реалізації СК-маскування під нього базового ПБ, для якої **одночасно** буде забезпечено дві умови: по-перше, виключення втрат цілісності в процесі авторизованого вилучення прихованої інформації в форматovanому РСПБ (ФСПБ) $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$; по-друге, усунення (скорочення) спотворень у неавторизовано-відновлених ВС для досягнення заданого рівня їх семантичної цілісності в умовах застосування маскованого базового поліадичного базису (МБПБ) $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$.

Для забезпечення таких умов необхідно:

1. Форматувати РСПБ таким чином, щоб виконувалась наступна відповідність. Масковане позиційне обмеження $q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ в базовому ПБ (з врахуванням меншої потужності його алфавіту щодо розширеного СПБ) повинне відповідати позиційному обмеженню $\tilde{q}'(\alpha)_{x,j}^{(k,\ell)}$ елементу $\tilde{a}'(\alpha)_{x,j}^{(k,\ell)}$ ФСППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в ФСПБ, який є більш старшим ніж доданий елемент $\tilde{a}(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$. Тобто елемент $\tilde{a}(\alpha)_{x,j}^{(k,\ell)}$ матиме більшу вагу $\tilde{w}'(\alpha)_{x,j}^{(k,\ell)}$ ніж вага $\tilde{w}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)}$ доданого елементу $\tilde{a}(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$ прихованого повідомлення X_u , тобто: $\tilde{w}'(\alpha)_{x,j}^{(k,\ell)} > \tilde{w}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)}$ для x та ξ | $x < \xi$.

2. Масковане позиційне обмеження $q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ не повинне мати деструктивний вплив на цілісність елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ складових ВСК $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, які відновлюються в МБПБ базисі $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Тобто потрібно забезпечити умову скорочення кількості та величини розбіжностей між початковим $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ та відновленим за стегано-кодовим значенням в МБПБ елементом $a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$: $a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \rightarrow a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$.

Перша технологічна умова ґрунтується на тому, що за властивостями позиційних кодових структур ПОБ $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ молодших елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, тобто $i > \tau$, впливають на формування позиційно-комбінаторної ваги $w''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ більш старших елементів $a(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$, тобто:

$$w''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} = \prod_{i=\tau+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), \text{ тоді } w''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} = w(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$$

Узагальнюючі далі за умови $\xi = \overline{1}$, τ матимемо:

$$w''(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = \prod_{i=\xi+1}^{\tau-1} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (q(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{i=\tau+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1),$$

тоді оскільки $w(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} = \prod_{i=\tau+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)$, маємо:

$$w''(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = \prod_{i=\xi+1}^{\tau-1} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot w(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \neq w(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} \quad (2.18)$$

Звідси реалізація маскування ПОБ $q''(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)}$ молодших елементів $a(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)}$ відносно елементу $a(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$, тобто $\eta > \tau$, супроводжується модифікацією його ваги $w''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \neq w(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$.

Дійсно, за таких умов, як окремий випадок виразу (2.18), маємо:

$$w''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} = \prod_{i=\tau+1}^{\eta-1} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (q''(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{i=\eta+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \neq \tilde{w}(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}.$$

Водночас це створює умови для втрати синтаксичної цілісності більш старших елементів ППЧ, в тому числі вбудованого елемента. Таке відбувається в процесі їх відновлення у разі маскуванню ПОВ $q''(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)}$ на позиції $\eta > \tau$.

Означене твердження має наступну доказову базу. Розглянемо відновлення довільного елемента $a(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ початкового ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Припустимо наступне:

1) здійснено вбудовування елемента $g(u)_\chi$ прихованого повідомлення на позицію ξ в СППЧ $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\tilde{a}(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi; \quad (\tilde{q}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2; \quad (2.19)$$

2) маскуванню підлягає ПОВ $q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ елемента $a(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$, так, що: $\tau > \gamma$. При цьому в загальному випадку:

$$q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1 = \lambda \cdot (q(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1), \quad \lambda \geq 2; \quad (2.20)$$

3) здійснено форматування СППЧ $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та відповідно його РСПБ $\tilde{Q}(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. При цьому відповідний елемент $\tilde{a}'(\alpha)_{x,j}^{(k,\ell)}$ в форматovanому СППЧ (ФСППЧ), який відповідає елементу з координатою τ в МБПБ з ПОВ $q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$, позиціонується на молодших позиціях відносно вбудованого елемента, тобто: $x > \xi$. Зрозуміло, що тоді виконуються співвідношення:

$$\tilde{a}'(\alpha)_{\tau+1,j}^{(k,\ell)} = a(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}, \text{ тобто } x = \tau + 1; \quad (2.21)$$

$$w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \tilde{w}'(\alpha)_{i+1,j}^{(k,\ell)}, \quad i = \overline{\xi, n_\alpha}; \quad (2.22)$$

4) відновлення елемента $a(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ здійснюється з використанням відомого в незалежності від авторизації стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в форматованому РСПБ. При цьому його позиція γ має наступне відносне розташування щодо вбудованого елемента в ФСППЧ та маскованого елемента в МБПБ: $\xi < \gamma < \tau$.

Згідно до властивостей позиційних кодових структур в поліадичному базисі для відновлення елементів використовується такий вираз:

$$a''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} = \left[\frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} \right] - \left[\frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{(q(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} \right] \cdot (q(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (2.23)$$

Тут $a''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ - значення γ -го елемента за умов його відновлення за стегано-кодовим значенням $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в ФСПБ з маскованим ПОВ $q''(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)}$, в умовах $\tau > \gamma$.

Розпишемо співвідношення (2.23) з врахуванням виразів для стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в ФСПБ та позиційно-комбінаторної ваги $w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ в МБПБ для елемента $a''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$, значення якого відновлюється. В даному випадку враховуватиме означені умови. Вбудований елемент $\tilde{a}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$ в $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, займає більш старшу позицію ніж відновлюємий елемент $a''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ в $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, $\xi < \gamma$. Отже формули для величини $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ елемента $a''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ матимуть такого вигляду:

$$\begin{aligned}
\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= \sum_{i=1}^{\gamma-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} + \\
&+ \sum_{i=\gamma+1}^{\tau-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_\alpha+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} ; \\
w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} &= \prod_{i=\gamma+1}^{\tau-1} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (q''(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{i=\tau+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \\
&= \lambda \cdot \prod_{i=\gamma+1}^{\tau-1} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (q(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{i=\tau+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1).
\end{aligned}$$

Узагальнюючі формулу для ваги за умов $1 \leq \eta \leq \tau+1$ будемо мати такий вираз:

$$\begin{aligned}
w''(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} &= \lambda \cdot \prod_{i=\eta+1}^{\tau-1} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (q(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{i=\tau+1}^{n_\alpha} (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \\
&= \lambda \cdot w(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} > w(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)}.
\end{aligned}$$

Тоді за цих умов для $\eta = \gamma$:

$$\begin{aligned}
w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} &= \lambda \cdot w(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} > w(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} > \\
&> \sum_{i=\gamma+1}^{\tau-1} a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + a(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_\alpha} a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}.
\end{aligned}$$

В свою чергу для правої частини даної нерівності за умов (2.21) для $\xi+1 \leq i \leq n_\alpha+1$ виконується наступне співвідношення:

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=\gamma+1}^{\tau-1} a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + a(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_\alpha} a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \\
&= \sum_{i=\gamma+2}^{\tau-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_\alpha+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}.
\end{aligned}$$

Звідси

$$\begin{aligned}
& w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} = \lambda \cdot w(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} > w(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} > \\
& > \sum_{i=\gamma+2}^{\tau-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_{\alpha}+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}.
\end{aligned}$$

або

$$\frac{\sum_{i=\gamma+2}^{\tau-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_{\alpha}+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} < 1 \Rightarrow$$

$$\left[\frac{\sum_{i=\gamma+2}^{\tau-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_{\alpha}+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} \right] = 0.$$

Тоді перша компонента виразу (2.23) буде перетворюватись виразом:

$$\begin{aligned}
\left[\frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} \right] &= \left[\frac{\sum_{i=1}^{\gamma} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\gamma+1,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\gamma+1,j}^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} + \right. \\
&+ \left. \frac{\sum_{i=\gamma+2}^{\tau-1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + \tilde{a}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=\tau+1}^{n_{\alpha}+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} \right].
\end{aligned}$$

Для подальшого перетворення отриманого виразу будемо враховувати співвідношення (2.19) та (2.22), тобто: $w(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} = \tilde{w}'(\alpha)_{\gamma+1,j}^{(k,\ell)} \Rightarrow$

$w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} = \lambda \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\gamma+1,j}^{(k,\ell)}$; $(\tilde{q}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2$. Звідси для ваги $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$:

$$\begin{aligned}
\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} &= \prod_{\eta=i+1}^{\xi-1} (\tilde{q}'(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot (\tilde{q}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{\eta=\xi+1}^{\gamma+1} (\tilde{q}'(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1) \times \\
&\times \prod_{\eta=\gamma}^{n_{\alpha}+1} (\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2 \cdot \prod_{\eta=i+1}^{\xi-1} (\tilde{q}'(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{\eta=\xi+1}^{\gamma+1} (\tilde{q}'(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{\gamma+1,j}^{(k,\ell)}.
\end{aligned}$$

Відповідне його використання дозволяє сформулювати наступне співвідношення першої частини функціонального перетворення для відновлення елементів в МБПБ за стегано-кодовим значенням $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\left[\frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{w''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}} \right] = \sum_{i=1}^{\gamma} \tilde{a}''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \frac{2 \cdot \prod_{\eta=i+1}^{\xi-1} (\tilde{q}'(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1) \cdot \prod_{\eta=\xi+1}^{\gamma+1} (\tilde{q}'(\alpha)_{\eta,j}^{(k,\ell)} + 1)}{\lambda} + \tilde{a}'(\alpha)_{\gamma+1,j}^{(k,\ell)} / \lambda. \quad (2.24)$$

З аналізу даного співвідношення можна зробити наступні твердження (рис. 2.8):

1. Згідно властивостей позиційних кодових систем умова відновлення елементів ППЧ без втрат синтаксичної цілісності полягає у виконання рівності $\lambda = 1$. Водночас це суперечить умові маскування базового поліадичного базису. Звідси слідує, що за умов $\lambda \geq 2$ відбуваються втрати синтаксичної цілісності, тобто $a''(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)} \neq a(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$. Для усунення такої суперечності між вимогами до маскування базового ПБ та збереженням синтаксичної цілісності ВС *пропонується* обирати для маскування ПОБ найбільш старшу позицію, тобто

$$\tau \rightarrow 1 \Rightarrow q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1 = \lambda \cdot (q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (2.25)$$

Цього разу позиційно-комбінаторна вага $w''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ першого (найбільш старшого) елементу $a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в МБПБ буде більшою ніж вага $w(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$ інших елементів $a(\alpha)_{\gamma,j}^{(k,\ell)}$, $\gamma = \overline{2, n_\alpha}$. Це дозволяє уникнути деструктивного впливу маскованого ПОБ $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ на процес відновлення молодших елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, $i > \tau$.

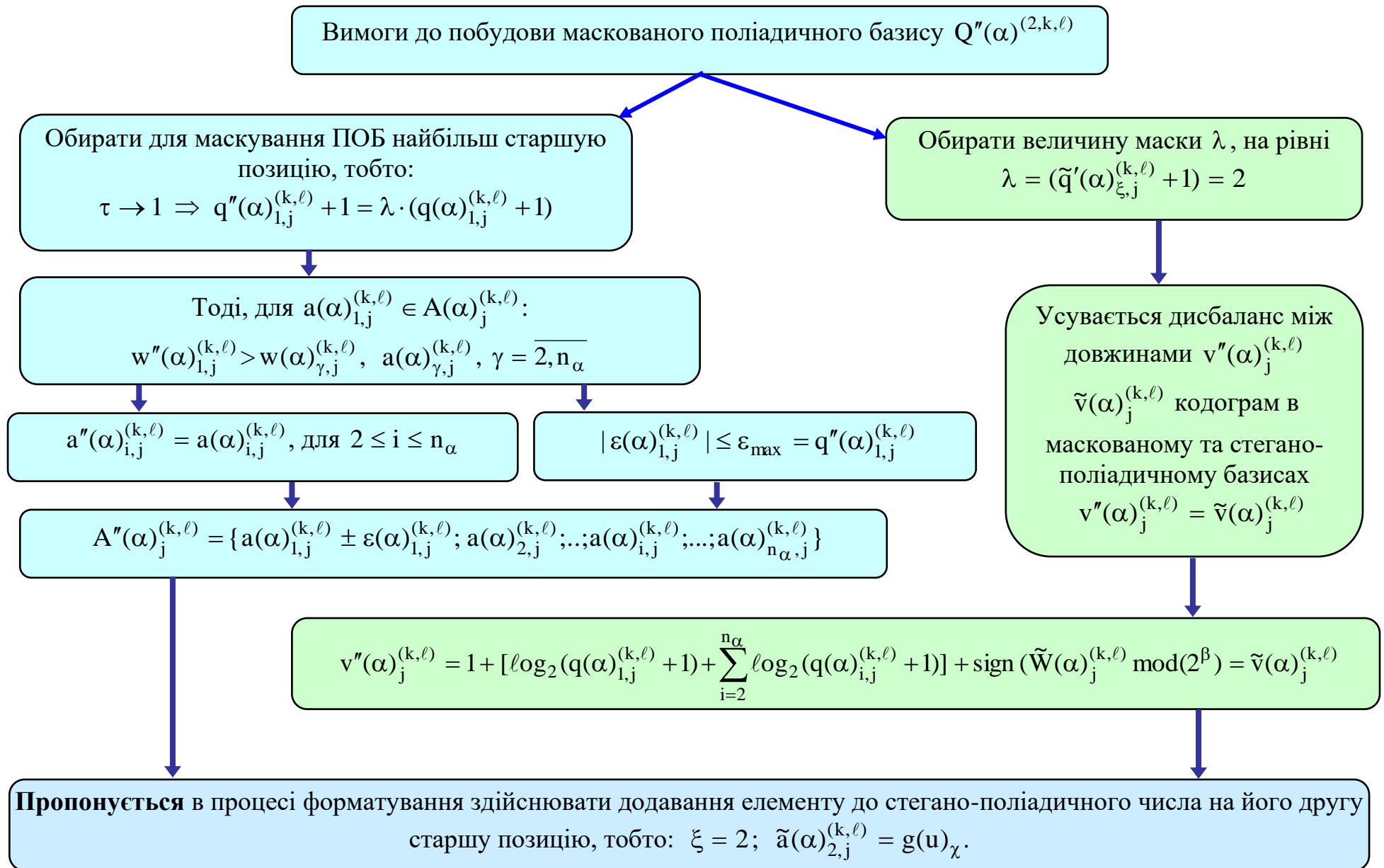


Рисунок 2.8. – Схема побудови правила форматування стегано-поліадичного базису з врахуванням маскування слідів прихованої у відеосегментах інформації

2. Для компенсування збільшення довжини $\tilde{v}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ кодограм $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в результаті утворення розширеного СПБ (шляхом додавання двійкового елемента прихованого повідомлення з $(\tilde{q}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2$) **пропонується** обирати величину маски λ , на рівні

$$\lambda = (\tilde{q}'(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2. \quad (2.26)$$

Це дозволяє сформуванню кодограму, довжина $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ якої в МБПБ дорівнюватиме $\tilde{v}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Тоді у разі неавторизованого користувача забезпечується умова $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \tilde{v}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ щодо маскуванню кількості ДСГ надмірності.

3. Форматування СППЧ та РСПБ необхідно таким чином, щоб доданий елемент прихованого повідомлення розташовувався за умов: з одного боку його позиція повинна бути молодшою, ніж відповідна позиція в СППЧ, яка відповідає позиції маскованого ПОБ в МБПБ; з іншого боку займати якомога більш старшу позицію відносно інших елементів складової-сегменту контейнеру. Це створює умови для: виключення впливу маскованого ПОБ на формування комбінаторно-позиційної ваги доданого елемента; зменшення впливу ПОБ доданого елемента на процес відновлення інших елементів контейнеру та збереження рівня їх цілісності. Звідси **пропонується** здійснювати додавання елемента до СППЧ на його другу старшу позицію:

$$\xi = 2; \quad \tilde{a}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi. \quad (2.27)$$

Відповідно до встановлених правил розглянемо процеси форматування РСПБ та маскуванню під нього базового ПБ.

Процес форматування СППЧ та РСПБ необхідно проводити з врахуванням умов (2.25), (2.27) та подальшого маскуванню під нього базового

ПБ. Відповідно до чого за умов $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$ *пропонується* здійснювати форматування (рис. 2.9):

1. СППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в умовах послідуочого маскуванню кількості ДСТ надмірності в МБПБ здійснювати за наступною системою виразів:

$$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \begin{cases} a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}, & \rightarrow i=1; \\ g(u)_\chi, & \rightarrow i=2; \\ a(\alpha)_{i-1,j}^{(k,\ell)}, & \rightarrow 3 \leq i \leq n_\alpha + 1. \end{cases} \quad (2.28)$$

Отже утворюється форматове СППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\begin{aligned} \tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= \{ a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; g(u)_\chi; a(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} \} = \\ &= \{ \tilde{a}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{a}'(\alpha)_{n_\alpha+1,j}^{(k,\ell)} \}. \end{aligned}$$

2. Розширеного стегано-ПБ (РСПБ) $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ в умовах авторизованих стеганографічних перетворень:

$$(\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \begin{cases} (q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1), & \rightarrow i=1; \\ (\tilde{q}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2, & \rightarrow i=2; \\ (q(\alpha)_{i-1,j}^{(k,\ell)} + 1), & \rightarrow 3 \leq i \leq n_\alpha + 1. \end{cases} \quad (2.29)$$

Звідси будується ФСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)} &= \{ (q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1); (\tilde{q}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} + 1) \} = \\ &= \{ \tilde{q}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1; \dots; \tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1; \dots; \tilde{q}'(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} + 1 \}. \end{aligned}$$

Розглянемо процес маскуванню базового ПБ $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ під форматований стегано-ПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Тут окреслюються такі технологічні етапи:

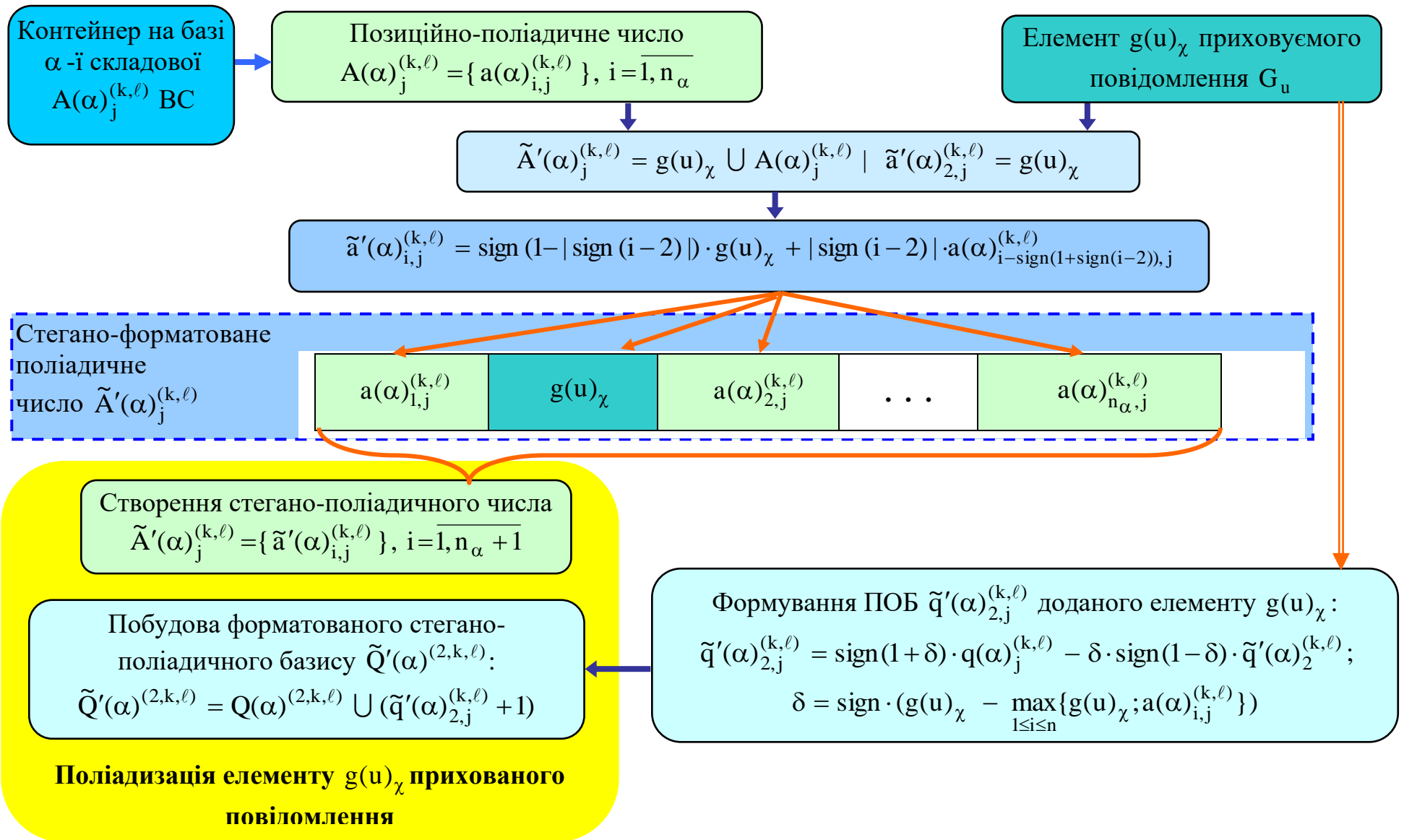


Рисунок 2.9. – Структурно-функціональна схема побудови стегано-форматованого поліадичного базису з врахуванням особливостей маскування під нього базового базису

1) обґрунтування позицій τ елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ в $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для ПОВ $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ яких проводитиметься маскування під форматований СПБ;

2) маскування обраного ПОВ $q(\alpha)_{\tau,j}^{(k,\ell)}$ з врахуванням:

- розташування позиції τ маскованого ПОВ в базовому ПБ, яка відповідає старшій позиції $x=1$ ПОВ $q'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ в ФСПБ відносно позиції $\xi=2$ доданого для приховування елемента;

- меншої потужності n_α алфавіту $|Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}|$ базового ПБ відносно потужності $(n_\alpha + 1)$ алфавіту $|\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}|$ форматowanego стегано-ПБ.

При цьому потрібно враховувати наступні фактори:

1. По-перше, величина модифікатора λ не повинна перевищувати необхідний рівень. Це зумовлено потребою у скороченні втрат рівня стиснення за рахунок СК-маскування.

2. По-друге, необхідність врахування впливу ПОВ $\tilde{q}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}$ доданого елемента $\tilde{a}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$ на довжину $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограми $\tilde{C}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. З цього боку величина модифікатора λ повинна дорівнювати 2. Отже необхідний рівень модифікатора $\lambda = 2$. Тоді модифікація ПОВ першого елемента складової контейнеру стовпця ВСК у разі безпосереднього вбудовування елемента прихованого повідомлення проводиться за умовами (2.25), (2.26), тобто:

$$q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1 = 2 \cdot (\tilde{q}(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (2.30)$$

Це дозволить вирівняти фактичну довжину $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограми $\tilde{C}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з вбудованим елементом прихованого повідомлення з довжиною кодограми $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, яка формується в режимі неавторизованого відновлення з використанням маскованого поліадичного базису $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$, а саме:

$$\begin{aligned}
\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= [\log_2(q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + \log_2(\tilde{q}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1) + \sum_{i=3}^{n_\alpha+1} \log_2(q(\alpha)_{i-1,j}^{(k,\ell)} + 1)] + \\
&\quad + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) = \\
&= 1 + [\log_2(q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + \sum_{i=2}^{n_\alpha} \log_2(q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)); \\
v''(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= [\log_2(q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + \sum_{i=2}^{n_\alpha} \log_2(q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] + \\
&\quad + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) = \\
&= 1 + [\log_2(q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + \sum_{i=2}^{n_\alpha} \log_2(q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)).
\end{aligned}$$

Порівнюючи ці два співвідношення приходимо до висновку щодо виконання умови маскуванню кількості ДСГ надмірності (усунення слідів наявності у ВС прихованої інформації), тобто $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

3. Маскування базового ПОБ можна використовувати для реалізації концепції непрямого вбудовування прихованої інформації. В цьому випадку можна здійснювати додаткову модифікацію ПОБ $q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ першого елементу для приховування ще одного біту. Звідси формується змішано-маскований базис (ЗМПБ) $\hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Отже реалізується одночасно два типи стеганографічних технологій, а саме: безпосереднього та непрямого вбудовування інформації. В подальшому таку концепцію СК-маскування позначатимемо, як *змішане СК-маскування* базового поліадичного базису.

Для реалізації змішаного СК-маскування базового ПБ *пропонується* використовувати наступне правило (якщо $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$) [64; 70; 71]:

Маскований змішаний стегано-ПБ (ЗСПБ) $\hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ в умовах авторизованих стеганографічних перетворень з одночасним безпосереднім та непрямым вбудовуванням прихованих елементів (якщо $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$)

$$(\hat{q}''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \begin{cases} (\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) = \lambda \cdot ((q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}), \\ \rightarrow i=1; \\ (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), \\ \rightarrow 2 \leq i \leq n_\alpha. \end{cases} \quad (2.31)$$

Дане правило одночасне дозволяє:

- маскувати кількість ДСГ надмірності (усунення слідів наявності у ВС прихованої інформації);
- непрямым чином приховати елемент вбудованого повідомлення.

Правило змішаного СК-маскування БПБ враховує ситуацію, коли ПОБ $(q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1)$ першого елемента в базовому ПБ буде дорівнювати 1, тобто $(q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) = 1$. Навпаки, якщо приховування інформації здійснюється в трансформований ВС бортового аерофотознімку високої якості та синтаксичної цілісності, то ситуація, коли $q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} = 0$ буде майже виключена. В цьому разі для зменшення загального рівня маскування ПОБ першого елемента **пропонується** використовувати таку систему правил:

$$(\hat{q}''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \begin{cases} (\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) = \lambda \cdot ((q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) - g(u)_{\chi+1}), \\ \rightarrow i=1; \\ (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), \\ \rightarrow 2 \leq i \leq n_\alpha. \end{cases} \quad (2.32)$$

За викладеним матеріалом можна зробити такі висновки:

1. Обґрунтовано та стверджено вимоги щодо побудови маскованого базового поліадичного базису з встановленим стегано-кодовим значенням та врахуванням особливостей форматowanego РСПБ в умовах: усунення демаскуючих слідів прихованої у ВС інформації; збереження цілісності ВС у разі несанкціонованого відновлення.

2. Створено метод форматування розширеного стегано-поліадичного базису з маскуванням прихованої інформації в умовах неавторизованого доступу (стеганоатак). Включає дві базові технології: розширення та форматування базового поліадичного базису; змішане СК-маскування базового поліадичного базису, включно: маскування базового ПБ під форматований СППБ; маскування базового ПБ для реалізації непрямого приховування інформації.

Висновки за другим розділом

1. Обґрунтовано підхід для компресійного кодування ВС з вбудовуванням прихованої інформації на основі: створення єдиної концепції відносно компресійного кодування контейнера та стеганографічного вбудовування інформації - *стеганокompресійне кодування*; врахування в процесі стеганокompресійних перетворень позиційно-комбінаторні залежності з врахуванням їх типізації за рівнем структурно-семантичної складності; приховування інформації безпосередньо в динаміці процесу кодування та створення поточного формату ВС.

2. Розроблено метод контейнерної типізації ВС на основі їх ідентифікації шляхом визначення інформативної ваги за рівнем складності структурно-семантичного змісту. Метод базується на встановленні та кількісній компіляції інформативної ваги з врахуванням локально-інтегрованих структурних залежностей в позиційному просторі ВС, а саме: визначення інформативної ваги з врахуванням значимих змін в семантичному змісті відеосегменту за такими структурними ознакам, як частота та амплітуда флуктуацій в позиційному просторі ВС; встановлення кількісної залежності (вирішального правила) між рівнем інформативності ВС за СТС змістом та його локально-інтегрованою вагою.

Удосконалено метод кількісного оцінювання інформативної ваги ВС

на основі врахування структурних залежностей в яскравісно-часовому просторі. Відмінності методу полягають у *компіляції* якісних та семантичних особливостей ВС в набір кількісних показників за його локальними та інтегральними структурними залежностями в позиційному просторі. Це створює умови для підвищення рівня компресії відеосегментів та стеганографічної ємності вбудованих даних з виключенням демаскуючих факторів без втрат цілісності.

4. Обґрунтовано вимоги щодо побудови маскованого базового поліадичного базису з встановленим стегано-кодовим значенням та врахуванням особливостей форматowanego РСПБ в умовах: усунення демаскуючих слідів прихованої у ВС інформації; збереження цілісності ВС у разі несанкціонованого відновлення. Це ґрунтується на основі: співвідношення між елементами ППЧ в базовому ПБ та стегано-ППЧ в форматowanego РСПБ; обмежень стегано-кодових значень в позиційно-комбінаторному просторі; наявності у складових ВС просторових позиційно-комбінаторних залежностей.

2. Створено метод форматування розширеного стегано-поліадичного базису з маскуванням прихованої інформації в умовах неавторизованого доступу. Включає дві базові технології: розширення та форматування базового поліадичного базису; змішане СК-маскування базового поліадичного базису, включно: маскування базового ПБ під форматований СППБ; маскування базового ПБ для реалізації непрямого приховування інформації.

Вперше створено метод форматування стегано-поліадичного базису на основі властивостей позиційних кодових систем. Відмінності методу полягають у створенні перерозподіленого позиційно-комбінаторного простору для імплементації безпосередньо доданих елементів в стегано-кодових значеннях СППЧ. Це дозволяє створити умови для прихованої імплементації вбудованої інформації в стеганокомпресійне представлення відеосегментів без втрати їх цілісності під час вилучення та відновлення.

Вперше створено метод змішаного стеганокомпресійного маскуванню базового поліадичного базису на основі особливостей форматування стегано-базису. Відмінності методу стосуються того, що для встановленого стегано-кодового значення маскуванню базового поліадичного базису здійснюється одночасно з врахуванням: позиційного обмеження безпосередньо додаваного для вбудовування елемента в умовах знешкодження деструктивного впливу його ваги на цілісність ВС; значення додаткового елемента для реалізації непрямого стеганографічного приховування. Це забезпечує в умовах потрібного рівня цілісності ВС: усунення слідів наявності у ВС прихованої інформації; додаткове непряме стеганографічне вбудовування інформації без втрат їх цілісності.

Основні результати науково-прикладних досліджень, які викладені в другому розділі дисертації опубліковано та апробовано в наступних працях [3; 6; 14; 17 – 21; 33; 39; 44; 57; 64; 68 - 71].

3. МЕТОД ЗМІШАНОГО СТЕГАНОКОМПРЕСІЙНОГО КОДУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ПРИХОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІДЕОПОТОКОМ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ

Створюється стеганокompresійне кодування в форматovanому стеганополіадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості ППК надмірності. Приховування інформації здійснюється трьома технологічними етапами в залежності від compresійного перетворення перехідного синтаксису стегано-ППЧ. Розробляється зворотний процес стеганокompresійних перетворень з виключенням додаткових (надлишкових) відомостей, який враховує умови авторизації та базується на двошаровій концепції: технологічні функції першого шару забезпечують маскований режим відновлення елементів відеосегментів за вилученим з СК-кодограми стегано-кодovим значенням в маскованому базovому поліадичному базисі; технологічні функції другого шару реалізують демаскований режим, який без втрати синтаксичної цілісності. Будується технологічна база для методу змішаного СК-декодування в маскованому під форматovanий стеганополіадичний базис просторі. Розробляється стратегія диференційного стеганокompresійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом. Створюється селективний метод стеганокompresійних перетворень з вбудовуванням значимих за структурно-семантичним змістом відеосегментів з попереднім їх стисненням в спектральноадичному базисі.

3.1. Створення методу змішаного стеганокомпресійного кодування відеосегментів в форматovanому стегано-поліадичному базисі з маскуванням прихованої інформації

З врахуванням процесу форматування РСПБ пропонується наступне уточнення поняття СК-кодування. Процес формування кодового значення з одночасною прихованою імплантацією доданого елемента в *форматованому* стегано-поліадичному базисі на основі встановлення та скорочення кількості ППК надмірності називається *стеганокомпресійне (СК) кодування в форматovanому розширеному поліадичному базисі* [6 – 10; 53; 54; 58; 60].

В цьому разі елемент $g(u)_\chi$ послідовності G_u додається на другу позицію α -го ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для j -го стовпця ВСК $A^{(k,\ell)}$, тобто $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = g(u)_\chi \cup A(\alpha)_j^{(k,\ell)} \mid \tilde{a}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$. Це зумовлено:

1) зменшенням впливу спотворень на втрату цілісності вбудованих даних в процесі позиційного декодування в маскованому базовому поліадичному просторі. Таке ґрунтується на тому, що найбільшим спотворенням підвергаються молодші елементи ППЧ. Відповідно збільшується стійкість прихованої інформації до перетворень з *стеганокомпресійним кодовим значенням* (стегано-кодовим значенням);

2) виключення потреби у врахуванні позиційних обмежень вбудованих даних на формування ваги базових елементів СППЧ. Отже вбудовування елемента на старшу позицію в ППЧ забезпечує виключення впливу його ПОБ на реконструкцію елементів початкової складової стовпця ВС.

Тоді маємо стегано-ППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в форматovanому РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$:

$$\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{ a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; g(u)_\chi; a(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} \}. \quad (3.1)$$

Тут прийняті такі позначення: $g(u)_\chi$ - χ -й елемент двійкового синтаксичного змісту $[G_u]_2$ кодограми G_u повідомлення X_u для

приховування; $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - α -а стегано-складова (послідовність) j -го стовпця $(k; \ell)$ -го ВСС в РСПБ, елементи якої $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ з врахуванням вбудованого переформатуються за наступною системою (якщо $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$):

$$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1 - |\text{sign}(i - 2)|) \cdot g(u)_\chi + |\text{sign}(i - 2)| \cdot a(\alpha)_{i - \text{sign}(1 + \text{sign}(i - 2)), j}^{(k,\ell)} \quad (3.2)$$

Звідси склад стегано-ППЧ $\tilde{A}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ (СППЧ) матиме вигляд:

$$\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{ \tilde{a}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{a}'(\alpha)_{n_\alpha + 1, j}^{(k,\ell)} \}.$$

В цьому випадку проводиться розширення базового поліадичного базису $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ контейнерного простору, а саме:

$$\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)} = Q(\alpha)^{(2,k,\ell)} \cup (\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1).$$

Тут для варіанту, коли $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ та $i \downarrow$, прийнято такі позначення: $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ - РСПБ з врахуванням позиційного обмеження доданого елементу прихованого повідомлення; $\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}$ - позиційне обмеження на діапазон можливих значень елементів $g(u)_\chi$ прихованого повідомлення в двовимірному поліадичному просторі, $g(u)_\chi \leq \tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}$.

Оскільки $g(u)_\chi \in [0; 1]$, то $0 \leq \tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} \leq 1$. Тоді маємо:

$$\delta = \text{sign} \cdot (g(u)_\chi - \max_{1 \leq i \leq n} \{g(u)_\chi; a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}) = -1.$$

Звідси $\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1 + \delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot \tilde{q}'(\alpha)_2^{(k,\ell)} = \tilde{q}'(\alpha)_2^{(k,\ell)}$.

В той же час для зменшення впливу стеганографічних перетворень на втрату коефіцієнта стиснення приймається $\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = 1$. Відповідно

позиційно-комбінаторна вага $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ для зворотно-залежного процесу розраховується наступним чином (для такого варіанту позиція вбудованого елемента $g(u)_\chi$ визначається, як $\tilde{a}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$):

$$\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = (\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1)^{\text{sign}(1+\text{sign}(1-i))} \cdot \prod_{\xi=i+1}^{n_\alpha+1} (q(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (3.3)$$

Інсталяція (імплементация) доданого елемента $g(u)_\chi$ до стеганокompресійної (СК) кодограми здійснюється за допомогою позиційного кодування СППЧ в форматovanому РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ (рис. 3.1).

Для цього застосовується загальна формула: $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \sum_{i=1}^{n_\alpha+1} \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$.

Потрібно врахувати залежність від напрямку процесу визначення ваги $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$. Для зворотно-залежного процесу визначення ваги з врахуванням формули (3.2) матимемо:

$$\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = g(u)_\chi \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=1}^{n_\alpha+1} |\text{sign}(i-2)| \cdot a(\alpha)_{i-\text{sign}(1+\text{sign}(i-2)),j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}. \quad (3.4)$$

В створених формулах використовуються такі позначення: $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - кодове значення форматovanого стегано-послідовності $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ або стегано-кодове значення для α -ї складової j -го стовпця $(k;\ell)$ -го ВС у разі врахування ППК залежностей.

Вираз (3.4) представляє собою згортку з врахуванням вагових коефіцієнтів $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ елементів $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ форматovanого СППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

При цьому вагові коефіцієнти визначаються з врахуванням ПОБ $\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ та позицій i відповідних елементів $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ в СППЧ.

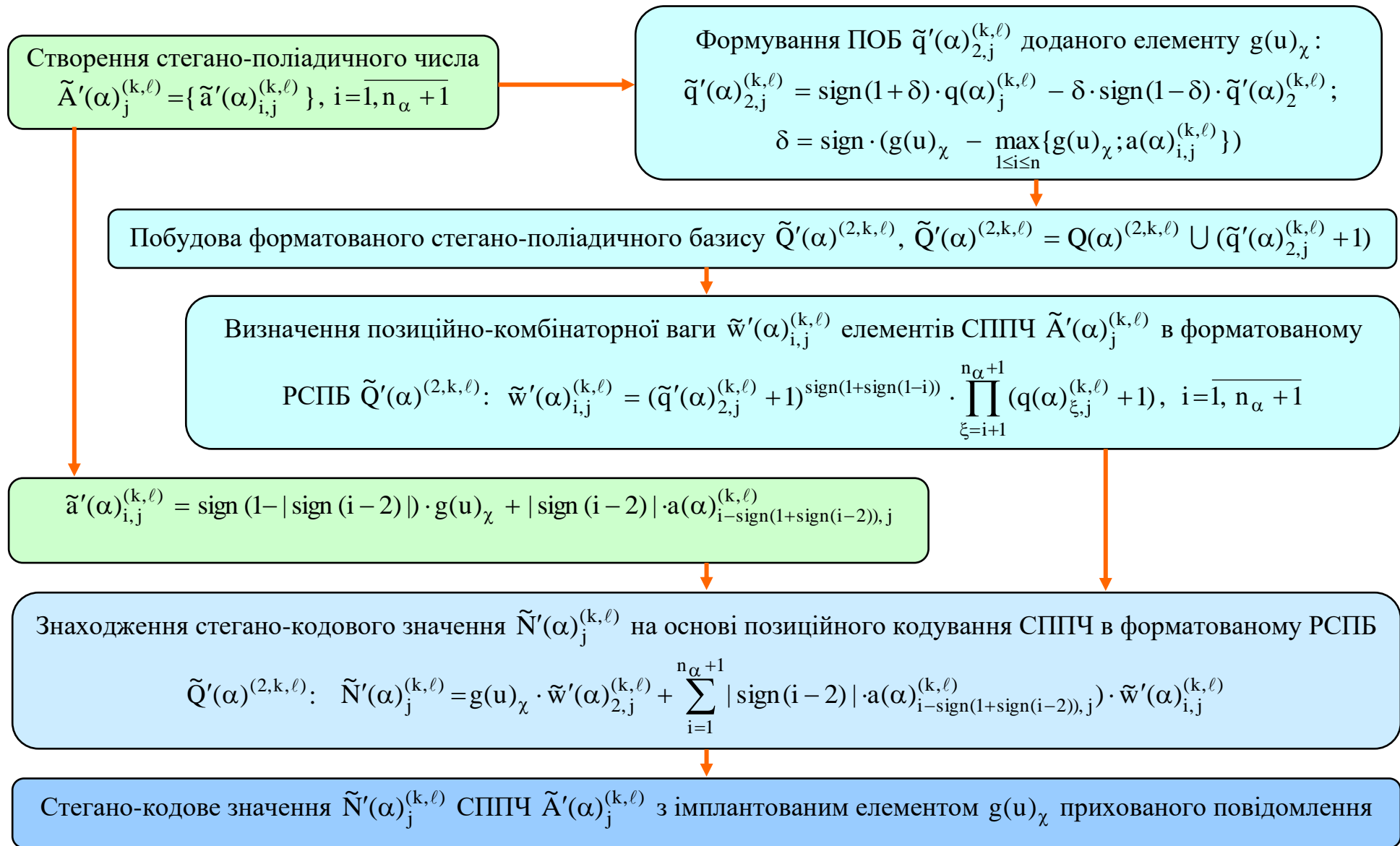


Рисунок 3.1. – Структурно-функціональна схема формування стеганокompресійного кодowego значення на основі позиційно-поліадичного кодування з імплантацією елементу прихованого повідомлення

Такі вагові коефіцієнти з врахуванням напрямку визначення старших елементів СППЧ знаходяться з використанням функціональних залежностей $f_w(\alpha; i; \tilde{q}'(\alpha)_j^{(k, \ell)})$, $\tilde{w}'(\alpha)_{i, j}^{(k, \ell)} = f_w(\alpha; i; \tilde{q}'(\alpha)_j^{(k, \ell)})$.

Процес формування кодового значення для ППЧ з використанням виразів (3.1) - (3.4) визначається, як *стеганокompresійне кодування в форматovanому розширеному стегано-поліадичному базисі* (рис. 31).

Відповідно процес інтеграції доданого біту прихованого повідомлення в процесі формування кодового значення на основі позиційного кодування в поліадичному базисі визначається, як *стеганокompresійна імплементація в розширеному стегано-поліадичному просторі* (рис 3.2).

Фактично тут розуміється технологічна інсталяція доданого біту в СК-кодограму $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k, \ell)}$ через його застосування в процесі позиційно-поліадичного кодування в форматovanому стегано-ПБ.

Процес стеганокompresійного кодування завершується етапом формування відповідного двійкового синтаксичного опису $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k, \ell)}$ для стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k, \ell)}$ послідовності $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k, \ell)}$. Створення такого опису з вбудованою інформацією організується на основі побудови відповідної СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k, \ell)}$. Це необхідно здійснювати з врахуванням форматovаних ППК залежностей $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2, k, \ell)}$. При цьому довжину $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k, \ell)}$ СК-кодограми необхідно визначати за умов [71]:

1. Виконання нерівності щодо виключення кодової надмірності:

$$2^{\tilde{v}(\alpha)_j^{(k, \ell)} - 1} \leq \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k, \ell)} \leq 2^{\tilde{v}(\alpha)_j^{(k, \ell)}}. \quad (3.5)$$

2. Використання для визначення мінімально-потрібної кількості $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k, \ell)}$ біт на представлення СК-опису тільки тієї інформації, яка безпосередньо використовується в процесі СК-кодування. Це забезпечить

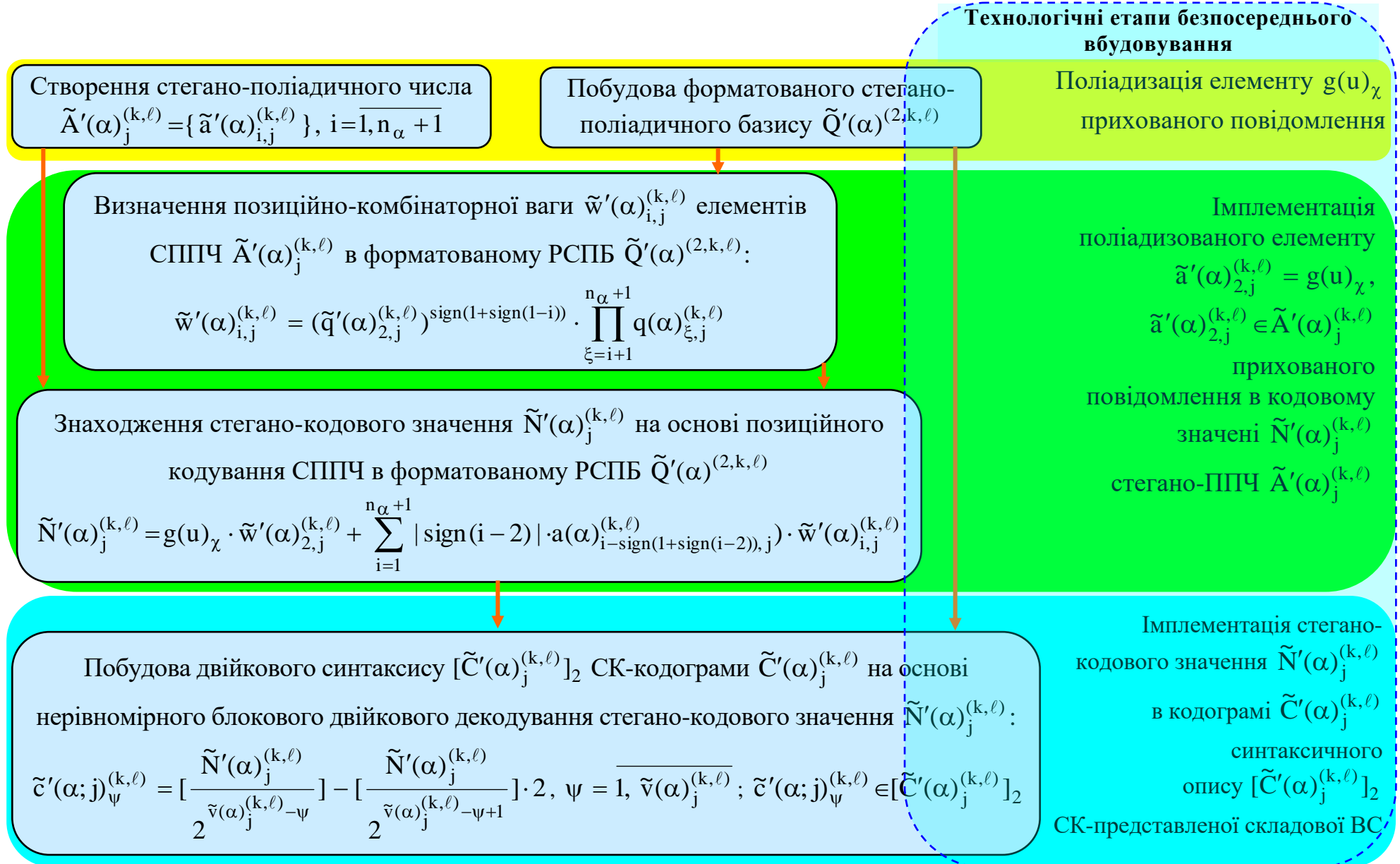


Рисунок 3.2. – Структурно-функціональна схема стеганокомпресійного кодування з поліадизацією та подвійною імплементацією прихованої інформації до синтаксису компактно-представленого ВС

локалізацію взаємного деструктивного впливу стеганографічних та компресійних перетворень. Для цього *пропонується* встановлювати довжину $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з врахуванням такої властивості позиційних кодових систем, як:

$$0 \leq \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \leq \tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} - 1. \quad (3.6)$$

Вона стосується обмеженості стегано-кодового значення $\tilde{N}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ величиною $\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, $\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = |\tilde{\Omega}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}|$. Тут величина $\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ є кількістю допустимих комбінацій з елементів α -ї складової $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для j -го стовпця ВС за умов врахування системи залежностей $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$:

$$\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \prod_{i=1}^{n_\alpha+1} (\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot \tilde{q}'(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1). \quad (3.7)$$

Отже величина $\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ встановлює об'єм множини $\tilde{\Omega}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ допустимих СППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, які утворюються за умов виконання обмежень $\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ на їх елементи $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \in \tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, для $i = \overline{1, (n/\alpha)+1}$:

$$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq \tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)}. \quad (3.8)$$

Співвідношення (3.7) дозволяє визначити кількість $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ біт на представлення стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з виключенням додаткової інформації за умов досягнення нерівності (3.6) (щодо унеможливлення переповнення кодограми). Для цього задіється формула:

$$\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \left[\sum_{i=1}^{n_\alpha+1} \log_2 (\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \right] + \text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)). \quad (3.9)$$

Процес імплементації вбудованого елемента в процесі компресійних

перетворень до двійкового синтаксичного опису через відповідне розміщення стегано-кодового значення на основі блокового двійкового декодування позначатимемо, як **СК імплементація прихованої інформації на двійковому синтаксичному рівні СК представлення**.

Розглянемо імплементацію прихованої у стегано-кодовому значенні вбудованого біту до двійкового опису СК-представлення (рис. 3.3). Для технологічної реалізації побудови СК-кодограм за означених умов (3.5), (3.6) **пропонується** розробити функціональну залежність $f_{scs}(\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}; \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)})$. Функціонал дозволяє розташувати (імплементувати) стегано-кодове значення у визначеній за довжиною СК-кодограмі. Такий функціонал базується на використанні нерівномірного двійкового декодування стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Кількість біт $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ двійкового коду визначається виразом (3.9). Отже маємо: $\tilde{c}'(\alpha; j)_\psi^{(k,\ell)} = f_{scs}(\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}; \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)})$:

$$\tilde{c}'(\alpha; j)_\psi^{(k,\ell)} = \left[\frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{2^{\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \psi}} \right] - \left[\frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{2^{\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \psi + 1}} \right] \cdot 2, \quad \psi = \overline{\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}}, \quad (3.10)$$

де $\tilde{c}'(\alpha; j)_\psi^{(k,\ell)}$ - ψ -й елемент кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стеганокомпресійного представлення, $\tilde{c}'(\alpha; j)_\psi^{(k,\ell)} \in [0; 1]$.

За результатами чого створюється двійковий синтаксичний зміст $[\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2$ для СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з вмістом прихованої інформації:

$$[\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2 = \{ \tilde{c}'(\alpha; j)_1^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{c}'(\alpha; j)_\psi^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{c}'(\alpha; j)_\Psi^{(k,\ell)} \}. \quad (3.11)$$

$$\text{Тут } \Psi = |\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}| = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}.$$

Отже співвідношення (3.7) – (3.10) дозволяють визначити двійковий зміст $[\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2$ для СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ за відповідним стегано-кодовим значенням $N(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в форматованому



Рисунок 3.3. - Структурно-функціональна схема побудови стеганокompresійної кодограми з подвійною імплементацією елемента прихованого повідомлення з виключенням надлишкових службових даних

РСПБ базисі $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ без залучення надмірної інформації.

Імплементація доданого біту здійснюється в умовах його поліадизації (вростанням до поліадичного базису). Тому СК-перетворення за виразами (3.5) та (3.7) – (3.10) забезпечують виключення втрат синтаксичної цілісності контейнера та прихованих повідомлень.

Після побудови стегано-кодowego значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та його розміщення в синтаксичному описі $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-представлення необхідно провести завершальний етап стеганокомпресійних перетворень. Необхідно організувати маскуванню форматowanego РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ з одночасним непрямим вбудовуванням додаткового $(\chi+1)$ -го елемента $g(u)_{\chi+1}$ прихованого повідомлення G_u . Для цього потрібно створити змішано-маскований базис (ЗМПБ) $\hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Побудова такого базису здійснюється з врахуванням (рис. 3.4): правила змішаного маскуванню, що задається системою (2.31); особливостей форматування РСПБ базису, відповідно до системи співвідношень (2.29). Відповідно до чого за умов $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$ потрібно корегувати ПОБ першої компоненти ППЧ, тобто:

$$\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1 = 2 \cdot ((q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}). \quad (3.12)$$

Тут $\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ - перша компонента базису $\hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$.

Отже у разі несанкціонованого доступу (стеганоатаки) буде отримано наступна інформація:

1) метод, що реалізує стандартизований процес позиційного декодування в поліадичному базисі;

2) компоненти $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ змішано-маскованого поліадичного базису $\hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ (який містить інформацію щодо непрямовбудованого елемента $g(u)_{\chi+1}$ прихованого повідомлення):

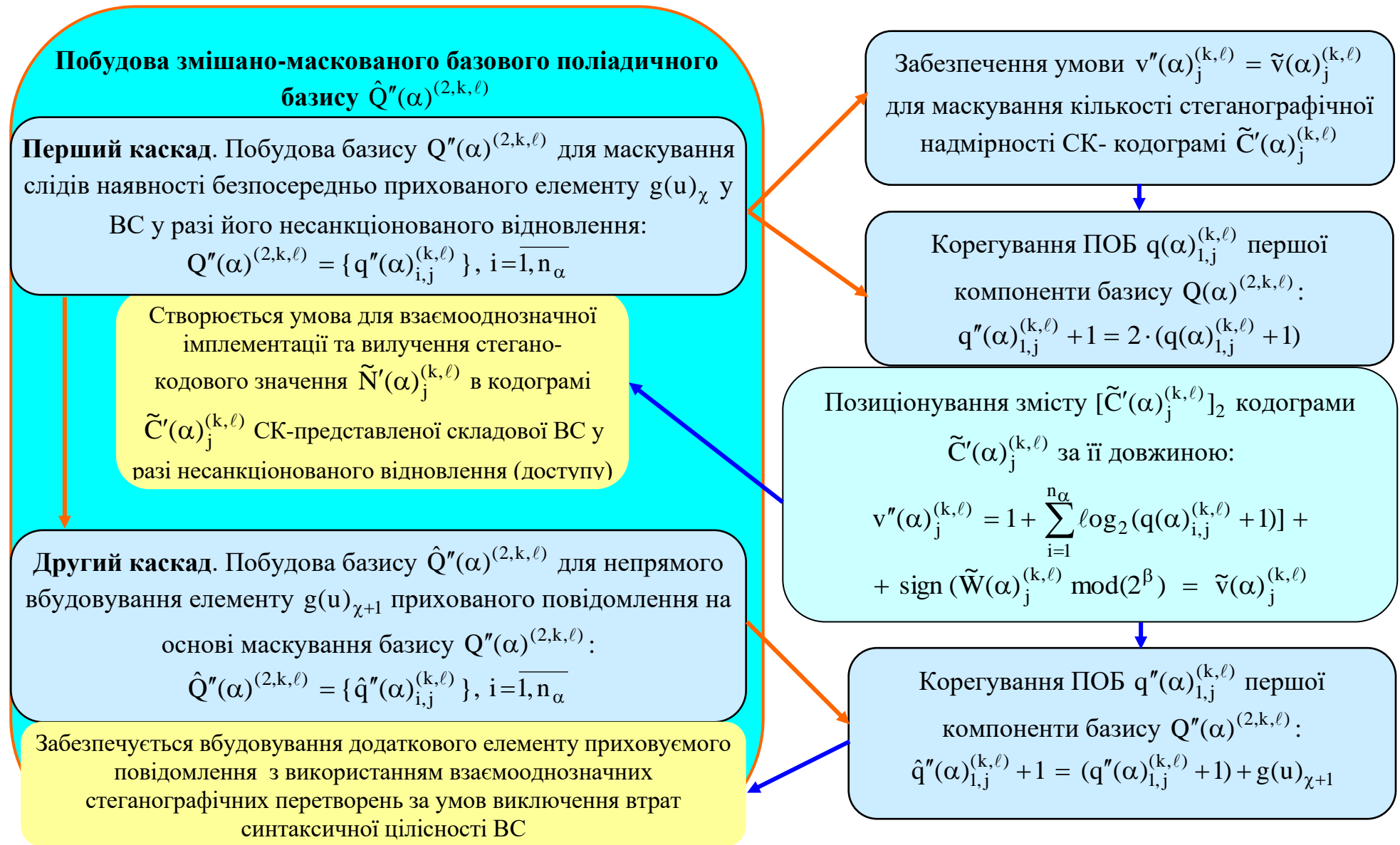


Рисунок 3.4. – Структурно-функціональна схема побудови змішано-маскованого базового поліадичного базису в системі стеганокомпресійних перетворень

$$\begin{aligned}\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)} &= \{(q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1); (\tilde{q}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q(\alpha)_{n_{\alpha},j}^{(k,\ell)} + 1)\} = \\ &= \{q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1; \dots; (q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q''(\alpha)_{n_{\alpha},j}^{(k,\ell)} + 1)\};\end{aligned}\quad (3.13)$$

3) СК-кодограма $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ довжиною $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ біт, яка містить стегано-кодове значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для СППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Структурно-функціональна схема методу СК-кодування у форматovanому РСПБ з маскуваням під нього базового поліадичного базису представлено на рис. 3.5.

За викладеним матеріалом можна зробити наступні висновки:

Створено стеганокompресійне кодування в форматovanому стегано-поліадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості ППК надмірності. В цьому випадку в процесі компресії складових ВС організується безпосереднє вбудовування прихованої інформації. Приховування інформації здійснюється двома технологічними етапами в залежності від компресійного перетворення перехідного синтаксису СППЧ:

1) безпосереднє додавання елемента приховуємого повідомлення до позиційно-поліадичного числа. Відповідно утворюється форматоване стегано-ППЧ в ФСПБ;

2) технологія двокаскадної імплементації доданих до СППЧ елементів приховуємого повідомлення до синтаксису стеганокompресійного представлення складових ВС.

Це дозволяє реалізувати одночасно компресійні та стеганографічні перетворення складових ВС. Відповідно досягається зменшення бітового об'єму ВС та прихована передача вбудованих повідомлень. Виключаються втрати синтаксичної цілісності ВС-контейнеру та вбудованої інформації. Локалізується дисбаланс між характеристиками компресійних та стеганографічних перетворень.

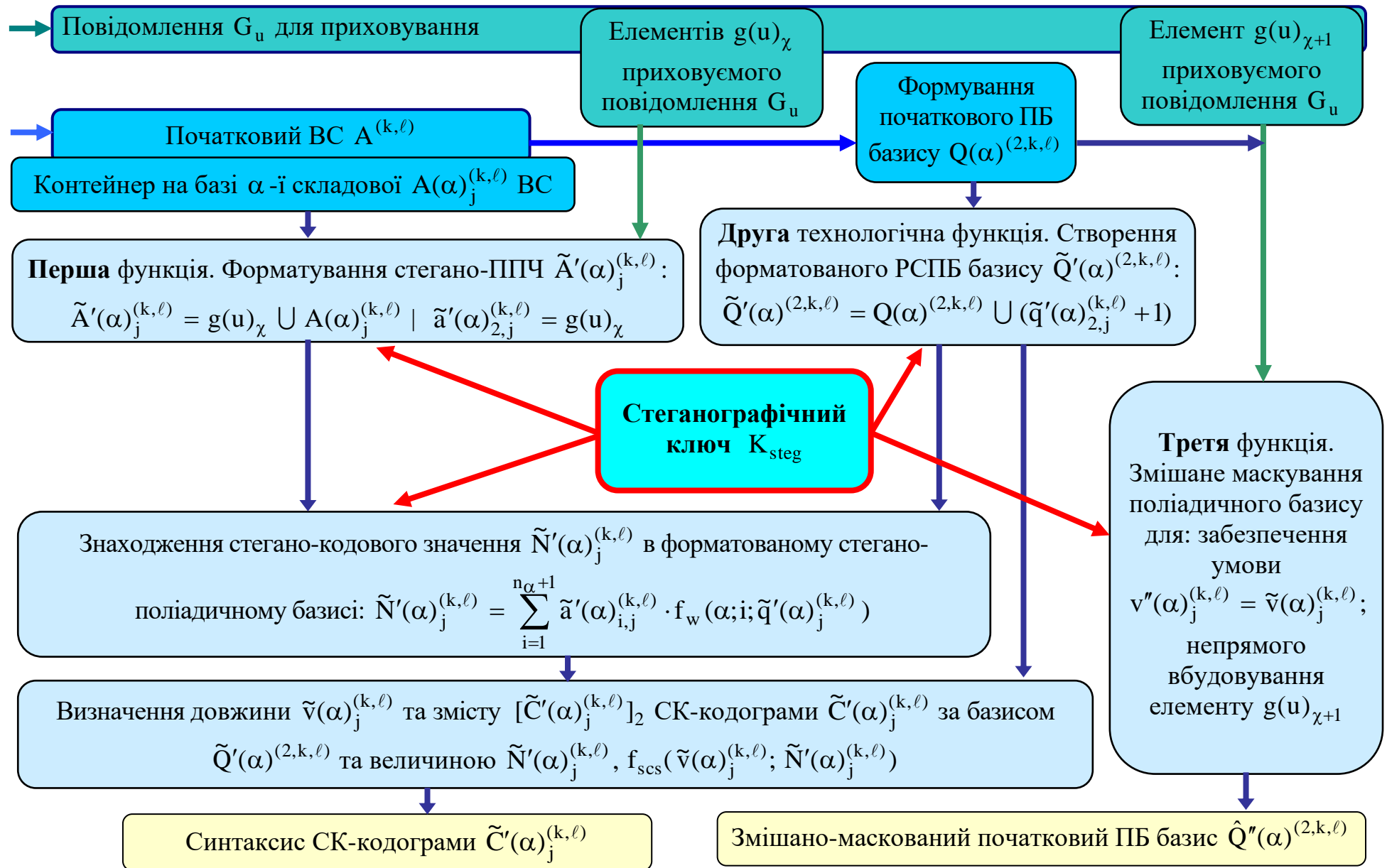


Рисунок 3.5. – Структурно-функціональна схема загального процесу стеганокомпресійного кодування

3.2. Розробка методу стеганокомпресійного декодування з врахуванням змішано-маскованого поліадичного базису

Стеганокомпресійне представлення з маскуваням базового поліадичного базису під форматований стегано-ПБ дозволяє здійснювати відновлення в умовах дотримання політики інформаційної безпеки. В цьому разі для створеного СК-представлення передбачається можливість відновлення інформації в двох режимах: перший режим – маскований. Він автоматично реалізується для несанкціонованого доступу (наприклад, у разі: неавторизованого доступу; здійснення стеганоатаки щодо виявлення факту наявності прихованих повідомлень та їх вилучення); другий режим – демаскований, який підтримується для санкціонованого (авторизованого) доступу до відеоресурсів та/або прихованої інформації.

Відповідно до чого *пропонується* розробляти метод СК-декодування на основі двошарової технологічної концепції (рис. 3.6) [3; 5; 9].

Перший шар реалізує декодування послідовності відеосегментів в маскованому режимі. На даному шарі реконструкції доступними для використання є: маскований базовий ПБ базис $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$; двійковий зміст $[\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2$ синтаксичного опису СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Це дозволяє реконструювати відеоресурси для несанкціонованого доступу в умовах приховування факту наявності вбудованих повідомлень. Отже потрібно на основі використання МБПБ та стегано-кодового значення забезпечити відновлення такої складової $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, яка буде відповідати складовій $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ початкового ВС за умов відсутності вбудовування інформації, тобто $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)} \rightarrow A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Такий процес має наступну математичну трактовку:

$$A''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = f_{\text{unac}}(\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}; \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}; Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}), i=\overline{1, n}, \alpha=\overline{1, n_\alpha}, j=\overline{1, n};$$

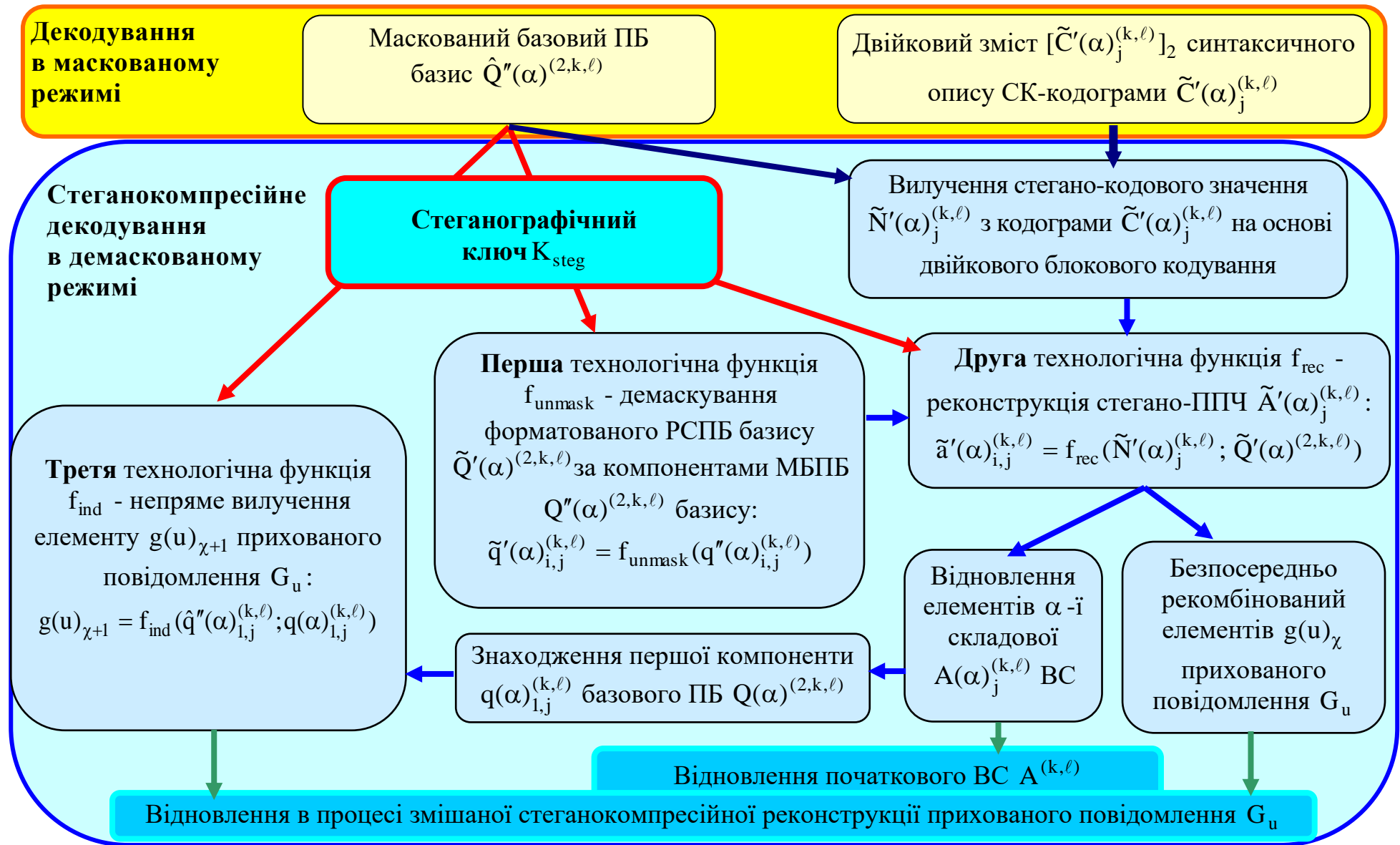


Рисунок 3.6. – Структурно-функціональна схема двошарової концепції стеганокомпресійного декодування в змішано-маскованому стегано-поліадичному базисі

$$\begin{cases} Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)} = \{q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}_{\alpha=\overline{1, n_\alpha}}; \\ A''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}_{\alpha=\overline{1, n_\alpha}}; \\ a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}, \alpha=\overline{1, n_\alpha}, \end{cases} \quad (3.14)$$

де $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - α -я складова j -го стовпця $(k; \ell)$ -го ВС, яка реконструюється в режимі несанкціонованого доступу; $a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - $(i; j)$ -й елемент для складової $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$; $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ - маскована α -а складова базового поліадичного базису; $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - $(i; j)$ -а компонента базису $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$; $f_{\text{unac}}(\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}; \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}; Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)})$ - загальний функціонал відновлення складових ВС для несанкціонованого доступу (unauthorized access).

Для першого шару передбачаються такі технологічні функції (рис. 3.7):

1. Вилучення стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для позиціонованої за довжиною $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Даний функціонал реалізується двома операційними етапами:

1) встановлення позицій та довжини $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограми з використанням компонент $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ МБПБ базису $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Тут потрібно враховувати те, що базис $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ будується таким чином, що б забезпечити умову $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Завдяки чому, досягається встановлення позицій СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ без втрат її цілісності. Для цього задіюються відповідні компоненти $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ МБПБ базису, а саме:

$$\begin{aligned} v''(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= [\log_2(q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + \sum_{i=2}^{n_\alpha} \log_2(q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) = \\ &= 1 + [\log_2(q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + \sum_{i=2}^{n_\alpha} \log_2(q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \end{aligned} \quad (3.15).$$

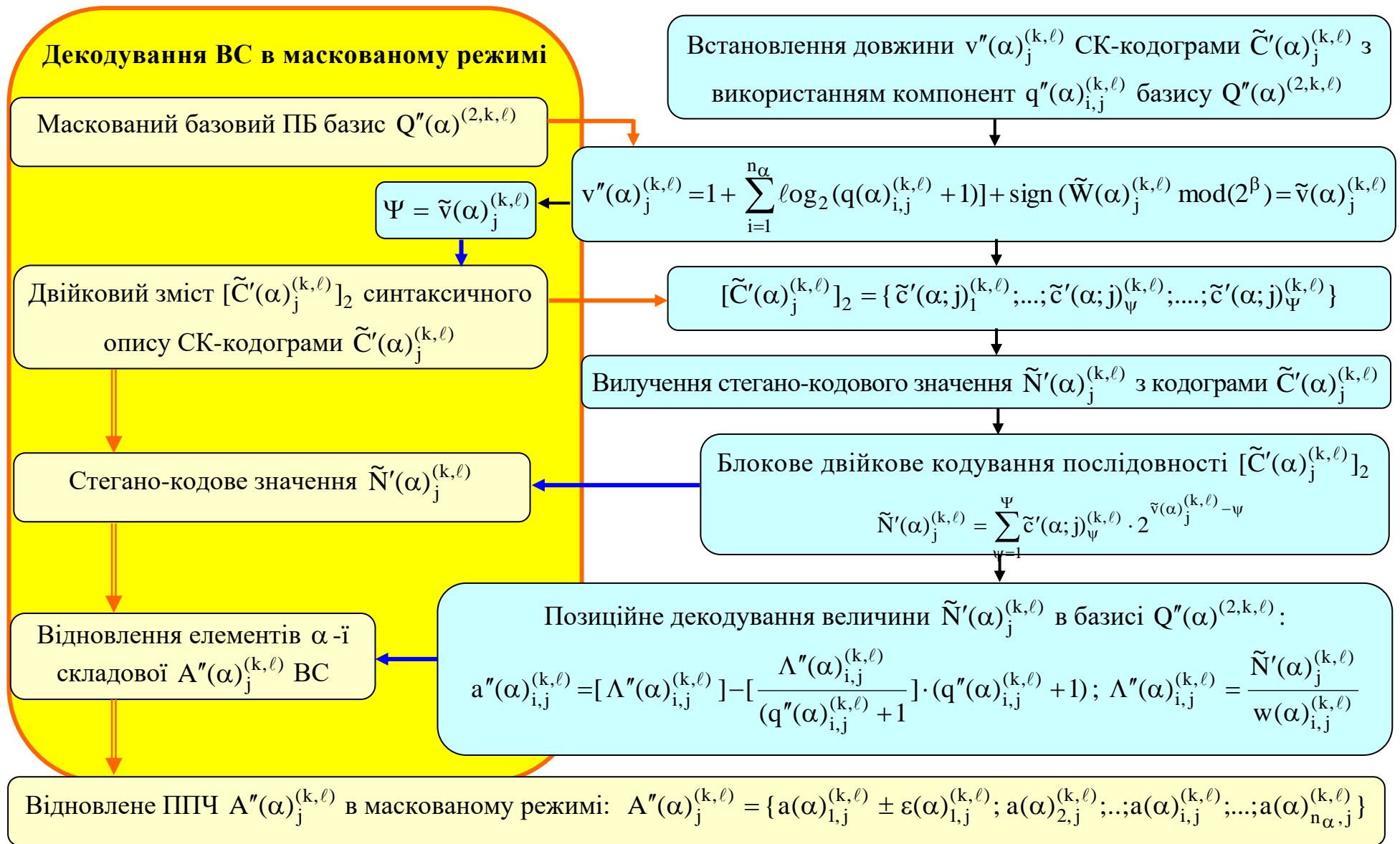


Рисунок 3.7. – Структурно-функціональна схема відновлення послідовності відеосегментів в маскованому режимі (або у разі несанкціонованого доступу)

Відповідно даний етап дозволяє позиціонувати (встановити) двійковий зміст $[\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2$, $[\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2 = \{\tilde{c}'(\alpha; j)_1^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{c}'(\alpha; j)_\Psi^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{c}'(\alpha; j)_\Psi^{(k,\ell)}\}$ поточної α -ї СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в загальному бітовому потоці послідовності компактно-представлених ВС;

2) вилучення стегано-кодowego значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ з двійкової кодограми довжиною $\Psi = |\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}| = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ біт здійснюється на основі блокового двійкового кодування. Отже маємо наступне співвідношення:

$$\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \sum_{\psi=1}^{\Psi} \tilde{c}'(\alpha; j)_\psi^{(k,\ell)} \cdot 2^{\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \psi}. \quad (3.16)$$

В загальному випадку довжина $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ кодограм $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стегано-складових ВС є нерівномірною, тобто $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \text{var}$. Тому означене двійкове кодування буде нерівномірним. Звідси для встановлення значення стегано-коду $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ потрібно попередньо визначити величину $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Відновлення величини $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ проводиться без втрат синтаксичної цілісності, що ґрунтується на умові маскування базового ПБ під форматований РСПБ базис.

2. Позиційне декодування величини $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в МБПБ базисі $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Даний функціонал представляється наступним співвідношенням:

$$a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = [\Lambda''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}] - [\Lambda''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} / (q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] \cdot (q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (3.17)$$

Тут $\Lambda''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - допоміжний параметр, який визначається відношенням:

$$\Lambda''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} / w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}. \quad (3.18)$$

Процес декодування стегано-кодowego значення в МБПБ базисі здійснюється за умов врахування властивостей позиційних кодових систем в

поліадичному базисі та особливостей форматування РСПБ базису з послідуочим маскуванням під нього базового (2.31), а саме:

- значення маскованого ПОВ $q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ згідно до системи (2.31) відповідає елементу ППЧ на першій старшій позиції, та як слідство не впливає на відновлення елементів складової $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ВС;

- елемент приховуємого повідомлення додається на другу позицію стегано-ППЧ. Звідси його ПОВ не впливає на визначення позиційно-комбінаторної ваги $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ молодших елементів ППЧ.

Це складає підґрунтя для забезпечення:

1) відновлення елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ початкового ППЧ $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для $2 \leq i \leq n_\alpha$ без втрат їх синтаксичної цілісності, тобто:

$$a''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}, \text{ для } 2 \leq i \leq n_\alpha; \quad (3.19)$$

2) реконструкції першого елементу $a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ в умовах можливої корекції значення, тобто:

$$a''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} = a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} \pm \varepsilon(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}. \quad (3.20)$$

Тут в загальному випадку виконується нерівність $0 \leq \varepsilon(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} \leq \varepsilon_{\max}$. Однак величина $\varepsilon(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ можливої корекції не буде перевищувати верхню межу ε_{\max} , яка за властивостями позиційних колових систем в поліадичному базисі дорівнює відповідному ПОВ $q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$:

$$|\varepsilon(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}| \leq \varepsilon_{\max} = q''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}. \quad (3.21)$$

За результатами виконання технологічних функцій маємо відновлене ППЧ $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$: $A''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} \pm \varepsilon(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; a(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)}\}$, яке відповідає α -ї складової j -го стовпця $(k; \ell)$ -го ВС. При цьому досягається

відновлення складових ВС без втрат потрібного рівня семантичної або синтаксичної цілісності. Це створює умови для забезпечення приховування факту наявності у ВС вбудованої інформації.

Другий шар реалізує технологічні СК-перетворення для демаскованого режиму (рис. 3.8). При цьому демаскований режим використовує відомості, що попередньо отримано для першого шару загального процесу обробки, а саме: вилучене з СК-кодограми $\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стегано-кодове значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$; компоненти $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ МБПБ $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ базису. Це дозволяє побудувати *три* базові технологічні функції загального процесу зворотних СК-перетворень.

Перша технологічна функція f_{unmask} - демаскування (*unmasking*) форматowanego РСПБ базису за компонентами МБПБ $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ базису:

$$\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = f_{\text{unmask}}(q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}). \quad (3.22)$$

Тут враховується відповідність між компонентам $\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, $q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ відповідно форматowanego РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ та МБПБ базисів $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Дійсно, на основі співвідношення систем (2.29) та (2.31) маємо $f_{\text{unmask}}(q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)})$:

$$\begin{aligned} (\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) &= \text{sign}(1 - |\text{sign}(i - 2)|) \cdot (\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1) + \\ &+ |\text{sign}(i - 2)| \cdot (q''(\alpha)_{i - \text{sign}(1 + \text{sign}(i - 2)), j}^{(k,\ell)} + 1), \end{aligned} \quad (3.23)$$

Тут $\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}$ - ПОБ для другого елемента $\tilde{a}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}$ форматowanego СППЧ. При цьому за умов форматування $\tilde{a}(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$. Звідси $(\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2$. Отже співвідношення (3.23) відновлює (демаскує) компоненти форматowanego РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ за компонентами МБПБ базису:

$$\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)} = \{(q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1); (\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (q(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} + 1)\} =$$

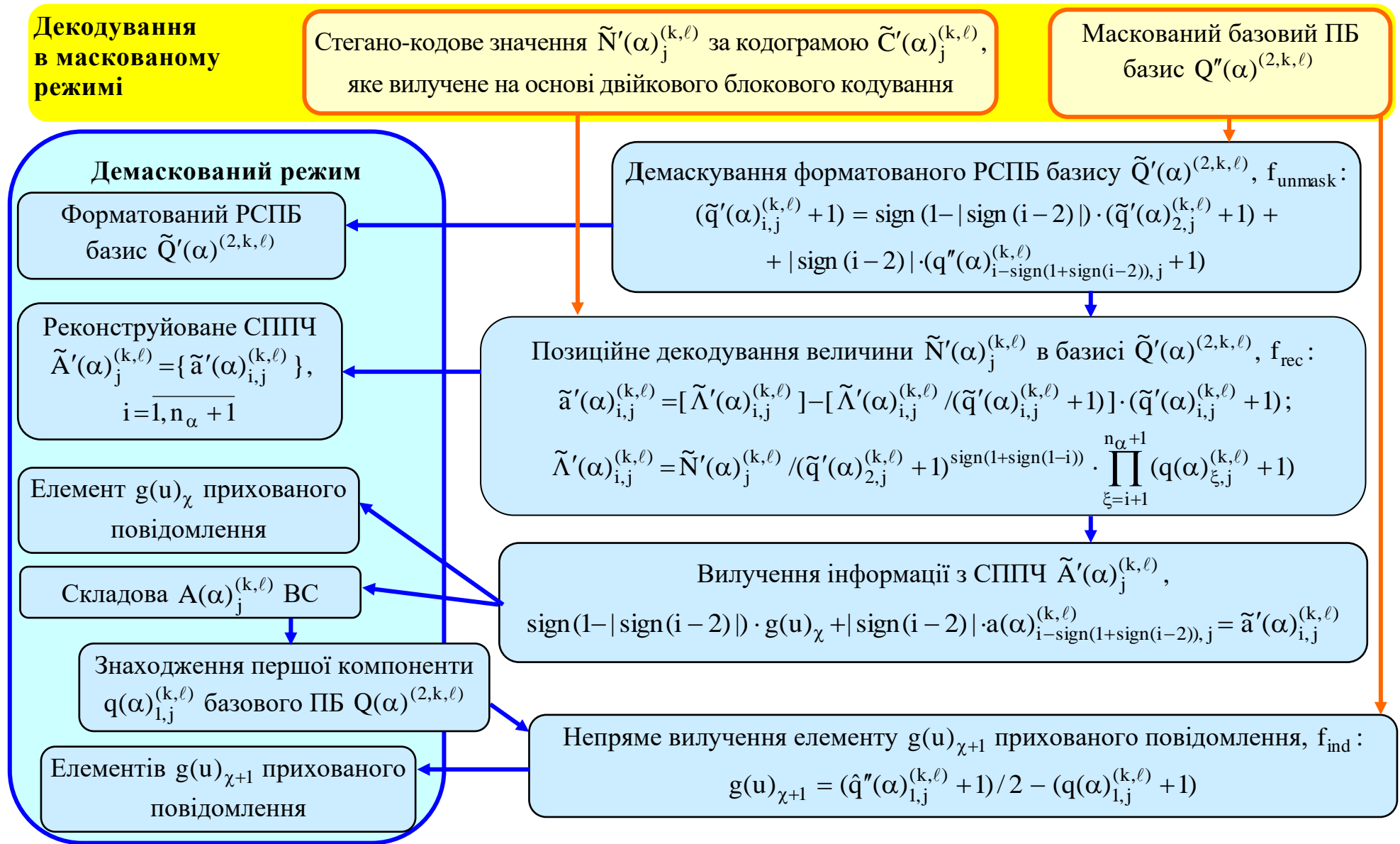


Рисунок 3.8. – Структурно-функціональна стеганокомпресійного декодування в змішано-маскованому стегано-поліадичному базисі

$$= \{ (\tilde{q}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1); \dots; (\tilde{q}'(\alpha)_{n_{\alpha,j}}^{(k,\ell)} + 1) \}.$$

Саме таке функціональне перетворення є основною процесу демаскування (демаскування форматowanego РСПБ базису за компонентами МБПБ $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ базису).

Після чого реалізується *друга технологічна* функція f_{rec} :

$$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = f_{\text{rec}}(\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}; \tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)})$$

Це стосується санкціонованого відновлення (*reconstruction*) елементів $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, які несуть інформацію щодо стегано-ППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$. Для такого випадку функціонал f_{rec} реалізує процес позиційного декодування стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в форматowanego РСПБ $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Відповідно маємо наступне співвідношення для f_{rec} :

$$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = [\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}] - [\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} / (\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)] \cdot (\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), \quad (3.24)$$

де $\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - допоміжний параметр, який визначається відношенням:

$$\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}} = \frac{\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}}{(\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1)^{\text{sign}(1+\text{sign}(1-i))} \cdot \prod_{\xi=i+1}^{n_{\alpha}+1} (q(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1)}. \quad (3.25)$$

Тут за умов $\tilde{a}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_{\chi}$ позиційно-комбінаторна вага $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ знаходиться з використанням співвідношення (3.3).

Відповідно до умов форматування РСПБ базису відновлення стегано-ППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ забезпечується без втрат синтаксичної цілісності їх елементів

$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$. Отже за результатами декодування $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ відновлюється СППЧ

$\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$: $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{ \tilde{a}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; \tilde{a}'(\alpha)_{n_{\alpha}+1,j}^{(k,\ell)} \}$. Даним

технологічним етапом здійснюється **рекомбінація (вилучення з стегано-кодового значення)** вбудованого елемента $g(u)_\chi = \tilde{a}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}$ до СППЧ:

$$\tilde{a}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = [\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}] - [\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} / 2] \cdot 2, \quad (3.26)$$

Процес відновлення доданого елемента у складі стегано-ППЧ на основі зворотних стеганокомпресійних перетворень, а саме вилучення з СК-кодограми та позиційного декодування стегано-кодового значення позначатимемо **двокаскадною кодовою рекомбінацією прихованої інформації** (рис.3.9).

Для зменшення кількості обчислювальних операцій **пропонується** в процесі декодування стегано-кодового значення в форматovanому РСПБ враховувати його структурну залежність з маскованим базовим ПБ.

Такий процес в подалі позначатимемо **масковано-залежним декодуванням стегано-кодового значення в форматovanому стегано-поліадичному базисі**.

Це стверджується існуванням між маскованим та форматovanим стегано-поліадичним базисами структурної залежності. Відповідно з виразом (3.23) та системами (2.29), (2.31) існує залежність між компонентами двох базисів. Це стосується того, що починаючи з позиції $i=2$ в маскованому та позиції $i=3$ в форматovanому РСПБ базисах досягається рівність між відповідними перехідними $\Lambda''(\alpha)_{i-1,j}^{(k,\ell)}$, $\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, $i = \overline{3, n_\alpha + 1}$ параметрами процесів декодування стегано-кодового значення в маскованому БПБ та форматovanому РСПБ базисах. Дійсно, порівнюючи вирази (3.18) та (3.25) за умов $i = \overline{3, n_\alpha + 1}$, можна стверджувати, що виконується наступне:

$$\begin{aligned} \tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} &= \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} / ((\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1)^{\text{sign}(1+\text{sign}(1-i))} \cdot \prod_{\xi=i+1}^{n_\alpha+1} (q(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1)) = \\ &= \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} / \prod_{\xi=i+1}^{n_\alpha+1} (q(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1) = \Lambda''(\alpha)_{i-1,j}^{(k,\ell)}. \end{aligned} \quad (3.27)$$

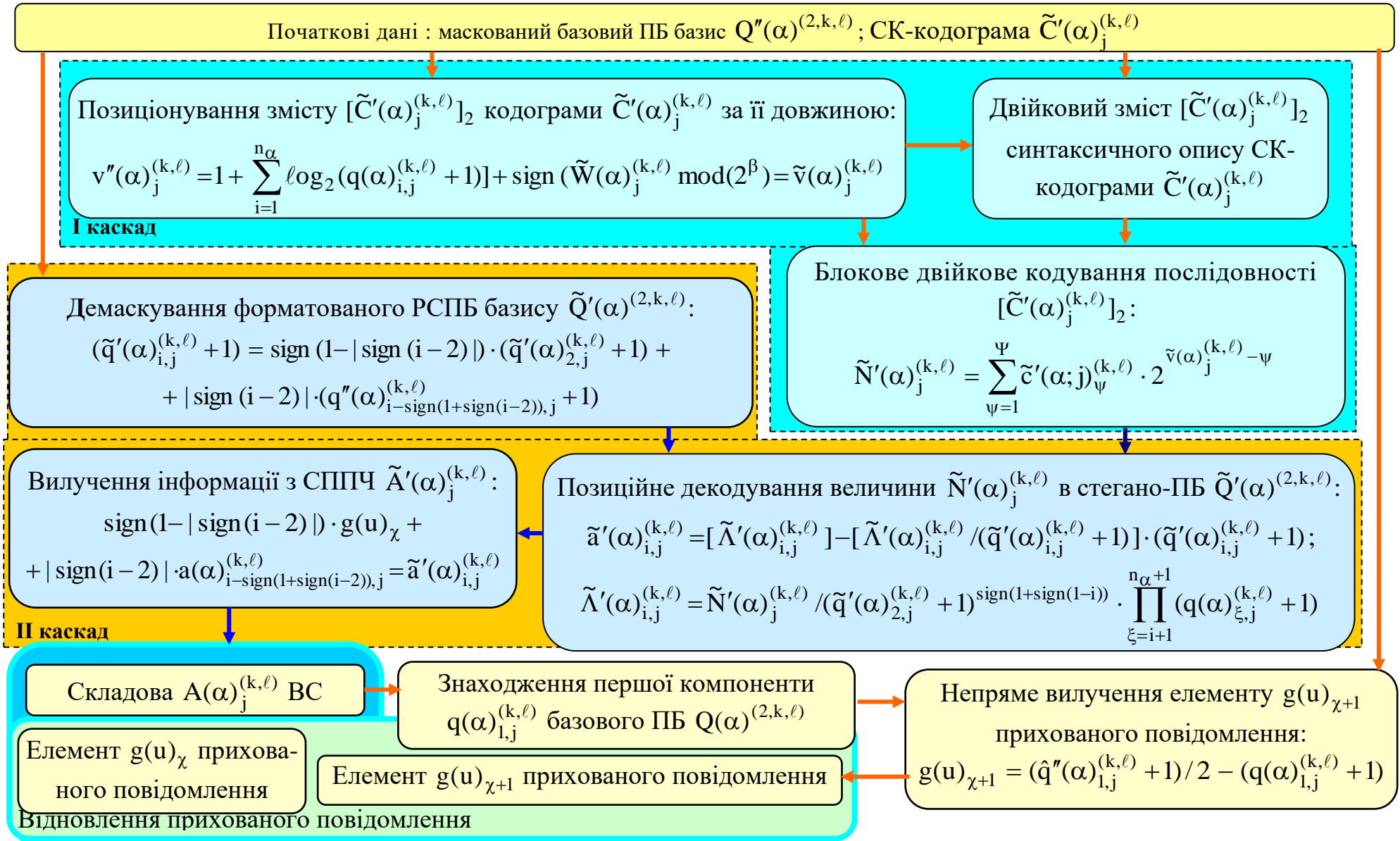


Рисунок 3.9. – Структурно-функціональна схема стеганокompресійних перетворень з двокаскадною кодовою рекомбінацією прихованої інформації

Звідси процес позиційного декодування стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ в демаскованому режимі (в форматованому РСПБ) проводиться лише для відновлення двох старших елементів $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, $i = \overline{1, 2}$.

Отже між-базисне позиційне декодування стегано-кодового значення описується наступною системою виразів:

$$\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \begin{cases} [\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}] - \left[\frac{\tilde{\Lambda}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}}{(\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)} \right] \cdot (\tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), \rightarrow i = \overline{1, 2}; \\ [\Lambda''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}] - \left[\frac{\Lambda''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}}{(q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1)} \right] \cdot (q''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), \rightarrow i = \overline{3, n_\alpha + 1}. \end{cases} \quad (3.28)$$

Даний технологічний процес застосовується у разі, коли авторизовані користувачі (процеси) мають різний рівень доступу. Отже використовується розмежувальний доступ, а саме:

- перша група авторизованих користувачів (процесів) має доступ лише до відеоресурсу;
- друга група авторизованих користувачів (процесів) допускається до отримання прихованої у відеоресурсах інформації.

Відповідно вилучення вбудованої інформації з СППЧ організується одночасно з відновленням початкової складової ВС (або відповідного ППЧ). Для цього задіється наступне співвідношення:

$$\text{sign}(1 - |\text{sign}(i - 2)|) \cdot g(u)_\chi + |\text{sign}(i - 2)| \cdot a(\alpha)_{i - \text{sign}(1 + \text{sign}(i - 2)), j}^{(k,\ell)} = \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}, \quad (3.29)$$

$$1 \leq i \leq n_\alpha + 1$$

або

$$g(u)_\chi = \tilde{a}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}, \rightarrow i = 2; \quad a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \begin{cases} \tilde{a}'(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}, \rightarrow i = 1; \\ \tilde{a}'(\alpha)_{i+1,j}^{(k,\ell)}, \rightarrow 3 \leq i \leq n_\alpha + 1. \end{cases}$$

Тоді узагальнюючі маємо:

$$\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{ a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; g(u)_\chi; a(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; a(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} \} \rightarrow$$

$$\rightarrow A(\alpha)_j^{(k,\ell)} \cup g(u)_\chi.$$

Отже в залежності від позицій елементів $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ в СППЧ досягається реконструкція елементів $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ складових $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ВС-контейнерів та безпосередньо-вбудованих елементів $g(u)_\chi$ прихованого повідомлення G_u .

За результатами відновлення всіх складових $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ будується зміст початкового відеосегменту (ВС) $A^{(k,\ell)}$, а саме: $A^{(k,\ell)} = \bigcup_{j=1}^n A_j^{(k,\ell)} = \bigcup_{j=1}^n \bigcup_{\alpha=1}^n A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Це дозволяє перейти до **третьої технологічної функції** f_{ind} загального процесу СК-перетворень. На цьому етапі процес обробки стосується організації непрямого вилучення (indirect withdrawal) другого елементу $g(u)_{\chi+1}$ прихованого повідомлення G_u . Вилучення непрямо-прихованого елементу $g(u)_{\chi+1}$ **пропонується** здійснювати на основі другого каскаду демаскування МБПБ базису $Q''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. В цьому разі для вилучення елементу прихованого повідомлення потрібно порівняти ПОБ $q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$, $\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ першого елементу ППЧ відповідно для базового ПБ та маскованого БПБ. Величина ПОБ $q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ для базового ПБ знаходиться на основі елементів відновленого ВС $A^{(k,\ell)}$. Тоді для ВС матимемо:

$$q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1 + \delta) \cdot \max_{1 \leq i \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot \max_{1 \leq j \leq n} \{a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}\}; \quad (3.30)$$

$$\delta = \text{sign} \cdot (\gamma_1 \cdot \max_{1 \leq j \leq n} \{a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}\} - \gamma_2 \cdot \max_{1 \leq i \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}); \quad (3.31)$$

З іншого боку перша компонента $\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ маскованого БПБ є відомою за умовами процесу СК-перетворень. При цьому між компонентами $q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$, $\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}$ існує залежність, яка визначається згідно системи (2.31):

$$(\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) = 2 \cdot ((q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}). \quad (3.32)$$

Звідси після перетворень співвідношення (3.32) маємо:

$$g(u)_{\chi+1} = (\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) / 2 - (q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1); \quad (3.33)$$

$$g(u)_{\chi+1} \in [0; 1].$$

Вираз (3.33) реалізує другий каскад демаскування компонент МБПБ базису, та дозволяє встановити значення $g(u)_{\chi+1}$ для $(\chi+1)$ -го елементу прихованого повідомлення.

Таким чином, на основі зворотних СК-перетворень для кожної α -ї складової j -го стовпця $(k; \ell)$ -го відеосегменту матимемо:

1) вилучені два двійкових елементи $g(u)_{\chi}$, $g(u)_{\chi+1}$ прихованого повідомлення G_u - відновлюються на основі змішаних зворотних стеганокомпресійних перетворень в форматovanому РСПБ та маскованому базисах;

2) відновлені елементи $a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ складової $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ВС, який використовується в якості контейнеру – реалізується: знаходження стегано-кодowego значення за допомогою нерівномірного двійкового кодування за змістом СК-кодограми в умовах МБПБ; позиційне декодування стегано-кодowego значення в форматovanому РСПБ.

За розробленим матеріалом можна заключити наступне:

1. Розроблено зворотний процес стеганокомпресійних перетворень з виключенням надлишкових відомостей, який враховує умови авторизації та базується на двошаровій концепції:

1) технологічні функції першого шару забезпечують **маскований режим** відновлення елементів відеосегментів за вилученим з СК-кодограми стегано-кодowym значенням в маскованому базисному поліадичному базисі;

2) технологічні функції другого шару реалізують демаскований режим, який без втрати синтаксичної цілісності забезпечує:

а) відновлення ВС на основі масковано-залежного позиційного декодування стегано-кодowych значень в форматovanому РСПБ;

б) змішане стеганокомпресійне декодування прихованої інформації, а саме: двокаскадну кодову рекомбінацію безпосередньо прихованих елементів з послідуочим їх вилученням з відновлених стегано-ППЧ в форматovanому стегано-поліадичному базисі; вилучення непрямо прихованих елементів на основі демаскування МБПБ базису з врахуванням залежності між старшими компонентами форматovanого РППБ та маскованого базисів.

3.3. Розробка диференціальної технології стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів з врахуванням їх інформативності

Розглянемо з початку ядро стеганокомпресійних перетворень, тобто для різних ситуаційних варіантів. Для приховування інформації використовуватимуться всі три типи ВС. Однак *пропонується* будувати диференціальну технологію застосування створених стеганокомпресійних перетворень в залежності від рівня інформативності ВС [14]. Це зумовлено:

- особливістю процесів стиснення різного рівня інформативності ВС.
- змінними властивостями ВС щодо стеганокомпресійних характеристик в залежності від рівня їх інформативності.

Тобто потрібно розроблений стеганокомпресійний процес адаптувати до рівня структурно-семантичної складності та інформативності ВС. Отже необхідно будувати стратегію реалізації стеганокомпресійних перетворень з врахуванням рівня інформативності ВС. Відповідно до чого означену стратегію *пропонується* реалізовувати наступними концептами (рис. 3. 10 – перша ситуація) [14; 33; 40; 54; 58; 65 – 70].

Перший технологічний концепт. В даному випадку на обробку подаються ВС, які мають значну кількість статистичної (*кореляційної*) та ПСВ надмірності в яскравісному просторі. Такі ВС визначаються низько інформативними. Відповідно для окреслення ПОБ щодо збільшення кількості

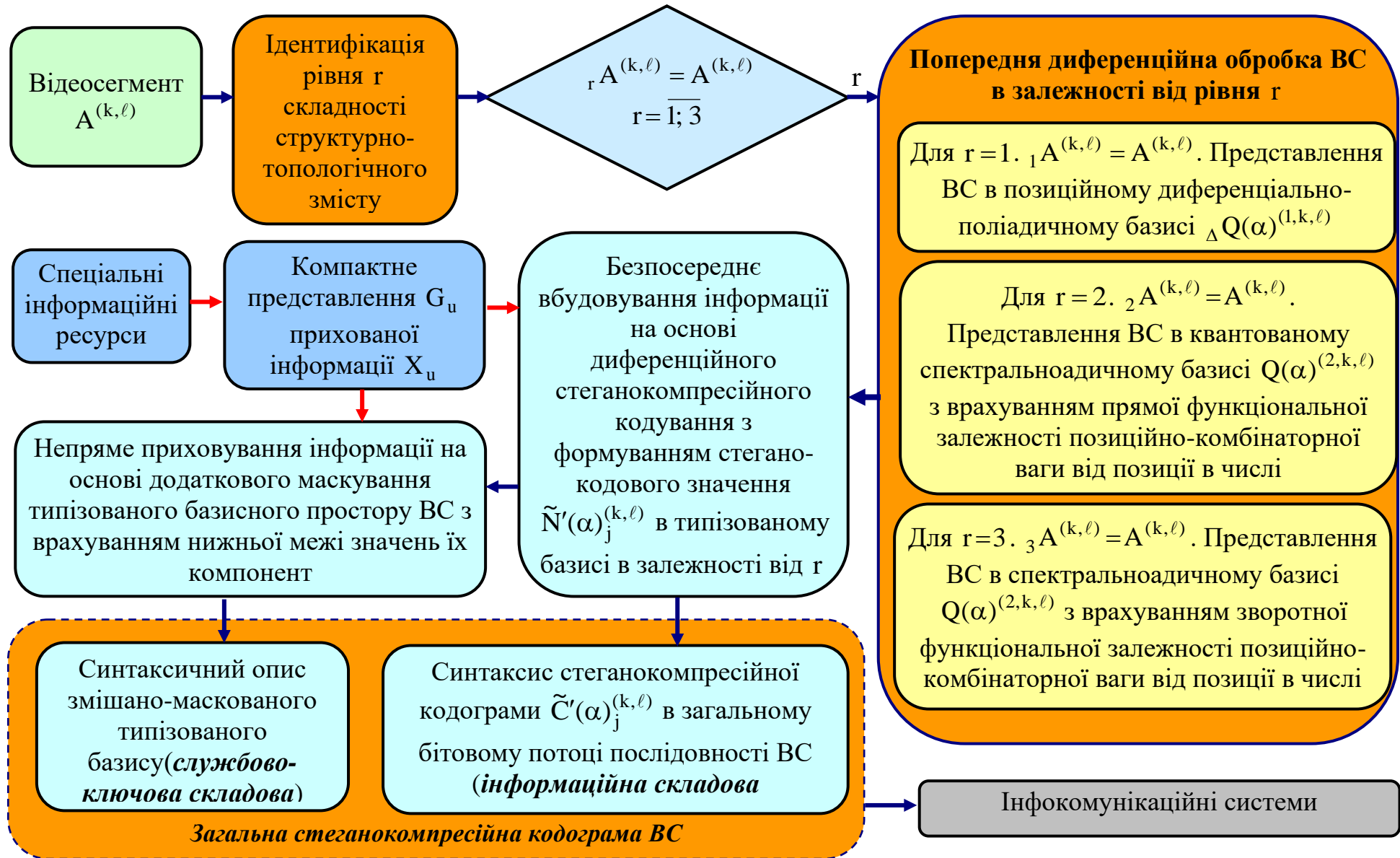


Рисунок 3.10. - Структурно-функціональна схема стратегії диференційного змішаного стеганокompресійного кодування послідовності ВС з врахуванням рівня їх інформативності (перша ситуація)

допустимої для скорочення ППК надмірності *пропонується* використовувати трансформацію ВС $A^{(k,\ell)}$ до *позиційного диференціально-поліадичного базису* (ПДПБ) $\Delta Q(\alpha)^{(1,k,\ell)} : \Delta Q(\alpha)^{(1,k,\ell)} = \{ \Delta q(\alpha)_1^{(k,\ell)}; \dots; \Delta q(\alpha)_i^{(k,\ell)}; \dots; \Delta q(\alpha)_n^{(k,\ell)} \}$.

Для цього в режимі $\gamma_1=0$ (тобто ПОБ встановлюються враховуючи інформацію лише за рядками) виконуються наступні технологічні перетворення з параметром $\delta = -1$:

$$\Delta a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} - \min_{1 \leq j \leq n} \{ a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \}; \quad (3.34)$$

$$\Delta q(\alpha)_i^{(k,\ell)} = q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - \min_{1 \leq j \leq n} \{ a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3.35)$$

Тут:

$\Delta a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - i -й елемент α -ї складової j -го стовпця для $(k; \ell)$ -го ВС в ПДПБ базисі, $\Delta a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \in \Delta A(\alpha)_j^{(k,\ell)} : \Delta A(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{ \Delta a(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; \dots; \Delta a(\alpha)_{n\alpha,j}^{(k,\ell)} \}$;

$\Delta q(\alpha)_i^{(k,\ell)}$ - ПОБ на елементи i -го рядка ВС в ПДПБ, тобто $\Delta a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq \Delta q(\alpha)_i^{(k,\ell)}$;

$\min_{1 \leq j \leq n} \{ a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \}$ - нижня межа позиційних обмежень елементів i -го рядка ВС.

Далі застосовується створений процес стеганокompресійних перетворень в режимі зворотно-позиційної залежності щодо визначення ваги $\Delta \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, тобто $\Delta w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$ та $\Delta \tilde{a}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$ в стегано-форматованому ПДПБ $\Delta \tilde{Q}'(\alpha)^{(1,k,\ell)}$ (рис. 3.11).

$$\Delta \tilde{Q}'(\alpha)^{(1,k,\ell)} = \{ (\Delta q(\alpha)_1^{(k,\ell)} + 1); (\Delta \tilde{q}'(\alpha)_2^{(k,\ell)} + 1); \dots; \Delta q(\alpha)_i^{(k,\ell)}; \dots; \Delta q(\alpha)_n^{(k,\ell)} \}.$$

В цьому випадку опорні функціональні компоненти стеганокompресійного процесу в стегано-форматованому диференційному ПБ (СФДПБ) базисі $\Delta \tilde{Q}'(\alpha)^{(1,k,\ell)}$ визначається наступним співвідношеннями:

1) позиційно-комбінаторної вага $\Delta \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$:

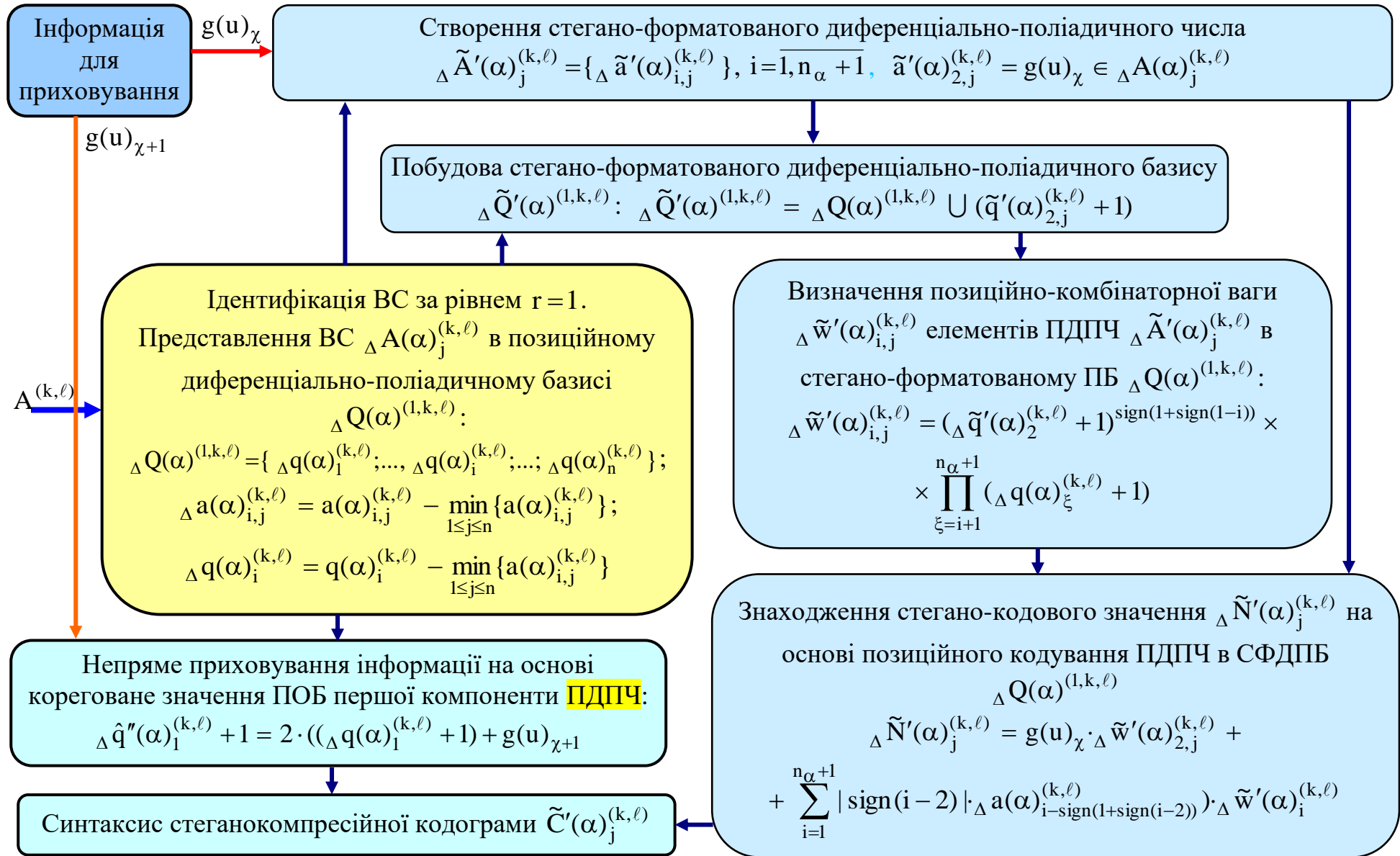


Рисунок 3.11. - Структурно-функціональна схема змішаного стеганокомпресійного кодування вбудованої інформації до ВС з високим рівнем допустимої для скорочення кількості ППК надмірності

$${}_{\Delta} \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = ({}_{\Delta} \tilde{q}'(\alpha)_2^{(k,\ell)} + 1)^{\text{sign}(1+\text{sign}(1-i))} \cdot \prod_{\xi=i+1}^{n_{\alpha}+1} ({}_{\Delta} q(\alpha)_{\xi}^{(k,\ell)} + 1); \quad (3.36)$$

2) стегано-кодового значення ${}_{\Delta} \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\begin{aligned} {}_{\Delta} \tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= g(u)_{\chi} \cdot {}_{\Delta} \tilde{w}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + \\ &+ \sum_{i=1}^{n_{\alpha}+1} |\text{sign}(i-2)| \cdot {}_{\Delta} a(\alpha)_{i-\text{sign}(1+\text{sign}(i-2))}^{(k,\ell)} \cdot {}_{\Delta} \tilde{w}'(\alpha)_i^{(k,\ell)}; \end{aligned} \quad (3.37)$$

3) довжина ${}_{\Delta} \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограми ${}_{\Delta} \tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\begin{aligned} {}_{\Delta} \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= 1 + \left[\sum_{i=1}^{n_{\alpha}+1} \ell \log_2 (q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - \min_{1 \leq j \leq n} \{a(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\} + 1) \right] + \\ &+ \text{sign} ({}_{\Delta} \tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^{\beta})); \end{aligned} \quad (3.38)$$

4) кореговане значення ПОВ першої компоненти ПДПЧ

$${}_{\Delta} \hat{q}''(\alpha)_1^{(k,\ell)} + 1 = 2 \cdot ({}_{\Delta} q(\alpha)_1^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}. \quad (3.39)$$

Тут ${}_{\Delta} \hat{q}''(\alpha)_1^{(k,\ell)}$ - перша компонента *маскованого диференціально-поліадичного* базису ${}_{\Delta} \hat{Q}''(\alpha)^{(1,k,\ell)}$, ${}_{\Delta} \hat{Q}''(\alpha)^{(1,k,\ell)} = \{ {}_{\Delta} \hat{q}''(\alpha)_i^{(k,\ell)} \}$, $i = \overline{1, n_{\alpha}}$:

$$({}_{\Delta} \hat{q}''(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) = \begin{cases} ({}_{\Delta} \hat{q}''(\alpha)_1^{(k,\ell)} + 1) = 2 \cdot ({}_{\Delta} q(\alpha)_1^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}, & \rightarrow i=1; \\ ({}_{\Delta} q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1), & \rightarrow 2 \leq i \leq n_{\alpha}. \end{cases} \quad (3.40)$$

В цьому випадку створюються умови для досягнення стеганокompресійних властивостей в яскравісному просторі ВС з виключенням їх трансформації до спектрального простору. Це дозволяє: знизити загальні часові затримки на обробку послідовності ВС та зберегти їх синтаксичну цілісність.

Другий технологічний концепт. Будується для достатньо інформативних за структурно-семантичним змістом ВС $A^{(k,\ell)}$ (або $A^{(k,\ell)} = {}_2A^{(k,\ell)}$). Такі ВС за умов збереження потрібної якості візуального

сприйняття ВС мають обмежену стеганокомпресійну спроможність в яскравістному просторі. Звідси для збільшення кількості доступної для скорочення та вбудовування інформації ППК надмірності за ПОБ обмеженнями *пропонується* попередньо здійснювати їх трансформування до спектрального простору (рис. 3.12). В цьому випадку для ВС $A^{(k,\ell)}$ утворюється трансформанта $Y^{(k,\ell)}$: $Y_j^{(k,\ell)} = \{y_{i,j}^{(k,\ell)}\}$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, n}$; $Y^{(k,\ell)} = f_{tr}(A^{(k,\ell)})$, де $f_{tr}(A^{(k,\ell)})$ - функціонал трансформування відеосегменту $A^{(k,\ell)}$ до спектрального простору (дискретно-косинусне перетворення, перетворення Хаара, перетворення Уолша-Адамара).

В результаті чого формується нерівномірний за спектральними діапазонами частотний простір, та створюється потенціал для додаткового його зменшення. В основі такого процесу лежать особливості психовізуального сприйняття високочастотних компонент спектрального простору. Означені особливості враховуються в процесі квантування компонент трансформанти. Відповідно в умовах забезпечення потрібного рівня семантичної цілісності з'являється потенціал щодо: підвищення значимості інформативного опису трансформанти за сукупністю позиційних обмежень спектрального діапазону $q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ (для $\gamma_1=1, \gamma_2=1$):

$$q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1 + \delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}; \quad (3.41)$$

$$\delta = \text{sign} \cdot (q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - q(\alpha)_j^{(k,\ell)}); \quad (3.42)$$

$$q(\alpha)_i^{(k,\ell)} = \max_{1 \leq j \leq n} \{y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}; \quad q(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \max_{1 \leq i \leq n} \{y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}\}. \quad (3.43)$$

В наведених виразах встановлено такі позначення:

$y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ - $(i; \alpha)$ -а компонента складової $Y(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для j -го стовпця $(k; \ell)$ -ї трансформанти, $y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \in Y(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, $0 \leq y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$;

$q(\alpha)_i^{(k,\ell)}$, $q(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - позиційні обмеження на спектральний діапазон компонент позиційного спектральноадичного числа (ПСЧ) відповідно в i -му рядку та j -му стовпцю.

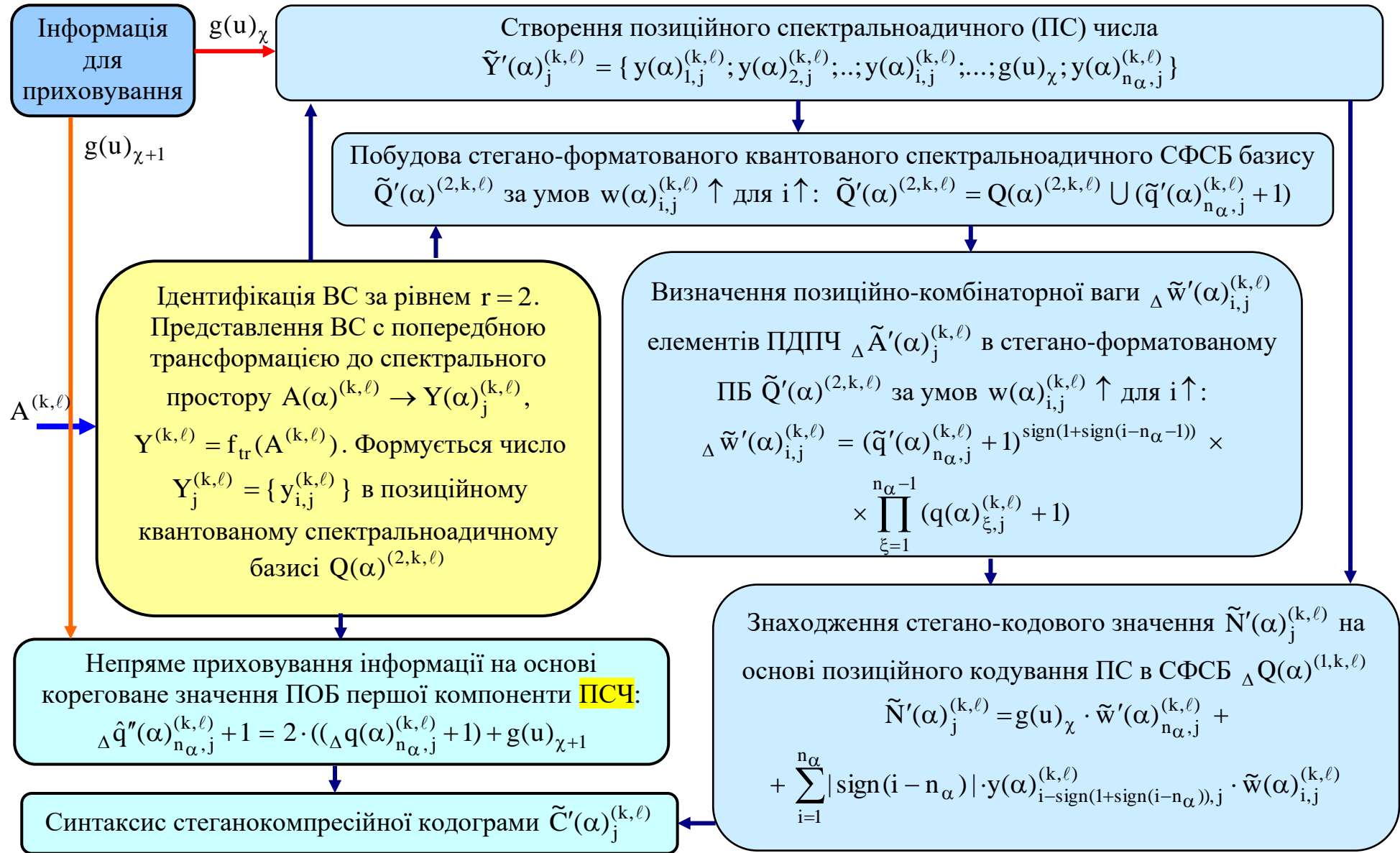


Рисунок 3.12. - Структурно-функціональна схема змішаного стеганокомпресійного кодування вбудованої інформації до ВС, які потребують попередньої трансформації для встановлення ППК залежностей

Отже формується *позиційний спектральноадичний базис* (ПСБ) $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. В цьому разі в процесі стеганокompресійних перетворень необхідно враховувати особливість розподілу спектральних діапазонів в залежності від їх позицій в трансформанті. Це стосується того, що молодші елементи $y(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)}$ позиційних спектральноадичний чисел $Y(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ мають значно менші значення ніж старші елементи $y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$, тобто:

$$y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} > y(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)}, \quad \xi = i + \tau, \quad \tau = \overline{1, n_\alpha - i};$$

$$y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} - y(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} \rightarrow \max, \quad \text{якщо } \tau \rightarrow n_\alpha - i.$$

Після квантування трансформанти з'являються області, які містять компоненти з нульовими або близькими до цього значеннями: $y(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} \rightarrow 0$, якщо $\xi \rightarrow n_\alpha$. Встановлену особливість *пропонується* враховувати в процесі формування стегано-кодових значень $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для створення умов щодо додаткового зменшення бітового об'єму. Таке твердження базується на властивостях позиційних кодових систем, а саме на лексикографічному правилі встановлення порядку індексації ППЧ в допустимій множині.

Отже пропонується використовувати режим прямої залежності позиційно-комбінаторної ваги $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ компонент $y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ складової $Y(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стовпця трансформанти $Y^{(k,\ell)}$ від їх позицій, тобто $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \uparrow$. Відповідно вбудовування елементу $g(u)_\chi$ приховуємого повідомлення буде здійснюватись на позицію $i = n_\alpha$, тобто $\tilde{y}'(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$. Тоді стегано-форматоване позиційне спектральноадичне число (СФПСЧ) $\tilde{Y}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для якщо $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \uparrow$ має наступний зміст:

$$\tilde{Y}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \{ y(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)}; y(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)}; \dots; y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \dots; g(u)_\chi; y(\alpha)_{n_\alpha,j}^{(k,\ell)} \}. \quad (3.44)$$

Для побудови $\tilde{Y}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ використовується наступна формула:

$$\tilde{Y}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = \text{sign}(1 - |\text{sign}(i - n_\alpha)|) \cdot g(u)_\chi + |\text{sign}(i - n_\alpha)| \cdot y(\alpha)_{i - \text{sign}(1 + \text{sign}(i - n_\alpha)), j}^{(k,\ell)}; \quad (3.45)$$

З врахуванням чого базові функціональні компоненти СК-перетворень в стегано-форматованому спектральноадичному базисі (СФСБ) $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ визначатимуться наступним чином:

1) позиційно-комбінаторна вага $\Delta \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$:

$$\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = (\tilde{q}'(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)} + 1)^{\text{sign}(1 + \text{sign}(i - n_\alpha - 1))} \cdot \prod_{\xi=1}^{n_\alpha - 1} (q(\alpha)_{\xi, j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (3.46)$$

2) стегано-кодового значення $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = g(u)_\chi \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=1}^{n_\alpha} |\text{sign}(i - n_\alpha)| \cdot y(\alpha)_{i - \text{sign}(1 + \text{sign}(i - n_\alpha)), j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}(\alpha)_{i, j}^{(k,\ell)}. \quad (3.47)$$

3) довжина $\Delta \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограми $\Delta \tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$:

$$\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \left[\sum_{i=1}^{n_\alpha + 1} \log_2(\text{sign}(1 + \delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \right] + \text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)); \quad (3.48)$$

4) кореговане значення ПОБ першої компоненти ПДПЧ

$$\Delta \hat{q}''(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)} + 1 = 2 \cdot ((\Delta q(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}). \quad (3.49)$$

Тут $\Delta \hat{q}''(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)}$ - n_α -а компонента *маскованого спектральноадичного*

базису $\Delta \hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$, $\Delta \hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)} = \{ \Delta \hat{q}''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \}$, $i = \overline{1, n_\alpha}$:

$$(\hat{q}''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \begin{cases} (\hat{q}''(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)} + 1) = 2 \cdot ((q(\alpha)_{n_\alpha, j}^{(k,\ell)} + 1) + g(u)_{\chi+1}), & \rightarrow i = n_\alpha, j; \\ (\Delta q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), & \rightarrow 1 \leq i \leq n_\alpha - 1. \end{cases} \quad (3.50)$$

Отже співвідношення (3.46) – (3.50) описують процес стеганокомпресійного кодування в стегано-форматованому спектральноадичному базисі в умовах обробки відеосегментів з обмеженим рівнем структурно-семантичної складності.

Третій технологічний концепт пов'язано з реалізацією розроблених СК-перетворень для ВС з високим рівнем інформативності за СТС змістом. В цьому випадку в яскравістному просторі ВС характеризуються низькими спроможностями щодо зниження бітового об'єму та забезпечення стеганографічної ємності вбудованих повідомлень. Тому для створення умов щодо встановлення просторових позиційно-комбінаторних залежностей пропонується трансформувати ВС до спектрального простору.

В залежності від варіанту ситуаційного застосування даний тип ВС буде залучатися, як: контейнер для приховування повідомлень в процесі стеганокомпресійних перетворень в спектральному просторі; повідомлення $X_u = A^{(k,\ell)}$, що потребує приховування в послідовності ВС двох інших типів.

Для першого ситуаційного варіанту в процесі визначення ваги $\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ позицій стегано-форматованого спектральноадичного базису застосовується режим $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$. Відповідно $\tilde{y}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = g(u)_\chi$. Тоді для визначення стегано-кодового значення в СФСРБ базисі $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ маємо:

$$\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = g(u)_\chi \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + \sum_{i=1}^{n_\alpha+1} |\text{sign}(i-2)| \cdot y(\alpha)_{i-\text{sign}(1+\text{sign}(i-2)),j}^{(k,\ell)} \cdot \tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \quad (3.51)$$

$$\tilde{w}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = (\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} + 1)^{\text{sign}(1+\text{sign}(1-i))} \cdot \prod_{\xi=i+1}^{n_\alpha+1} (q(\alpha)_{\xi,j}^{(k,\ell)} + 1). \quad (3.52)$$

Побудова змішано-маскованого спектральноадичного базису $\hat{Q}''(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ для ВС третього типу здійснюється з врахуванням того, що варіант $q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} = 0$ буде майже виключена. Це зумовлено наступним:

- з одного боку збільшенням значень високочастотних компонент;
 - з іншого боку низької кількістю допустимої для скорочення ПСВ надмірності. Відповідно унеможлиблюється застосування квантування трансформанти.

В цьому разі для зменшення загального рівня маскуванню ПОВ першого елемента *пропонується* використовувати таку систему правил:

$$(\hat{q}''(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1) = \begin{cases} (\hat{q}''(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) = \lambda \cdot ((q(\alpha)_{1,j}^{(k,\ell)} + 1) - g(u)_{\chi+1}), & \rightarrow i=1; \\ (q(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} + 1), & \rightarrow 2 \leq i \leq n_\alpha. \end{cases} \quad (3.53)$$

В цьому випадку зменшується вплив корегованого ПОВ на збільшення довжини СК-кодограми.

Для другого ситуаційного варіанту ВС представляється в позиційному спектральноадичному просторі $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ з послідуочим формуванням кодових значень $N(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для складових $Y(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ стовпців трансформанти $Y^{(k,\ell)}$ (рис. 3.13). Для цього використовується співвідношення:

$$N(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \sum_{i=1}^{n_\alpha} y(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \cdot w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}; \quad (3.54)$$

Вагові коефіцієнти з врахуванням напрямку визначення старших елементів ППЧ знаходяться з використанням функціональної залежності $f_w^{(+)}(\alpha; i; q(\alpha)_j^{(k,\ell)})$: $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} = f_w^{(+)}(\alpha; i; q(\alpha)_j^{(k,\ell)})$, де у разі зворотної залежності процесу визначення ваги, тобто $w(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \uparrow$ для $i \downarrow$ маємо:

$$f_w^{(+)}(\alpha; i; q(\alpha)_j^{(k,\ell)}) = \prod_{\xi=i+1}^{n/\alpha} (\text{sign}(1 + \delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot q(\alpha)_\xi^{(k,\ell)} + 1). \quad (3.55)$$

Тоді довжина $v(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ кодограм $S(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, яка містить величину $N(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, знаходиться за формулою:

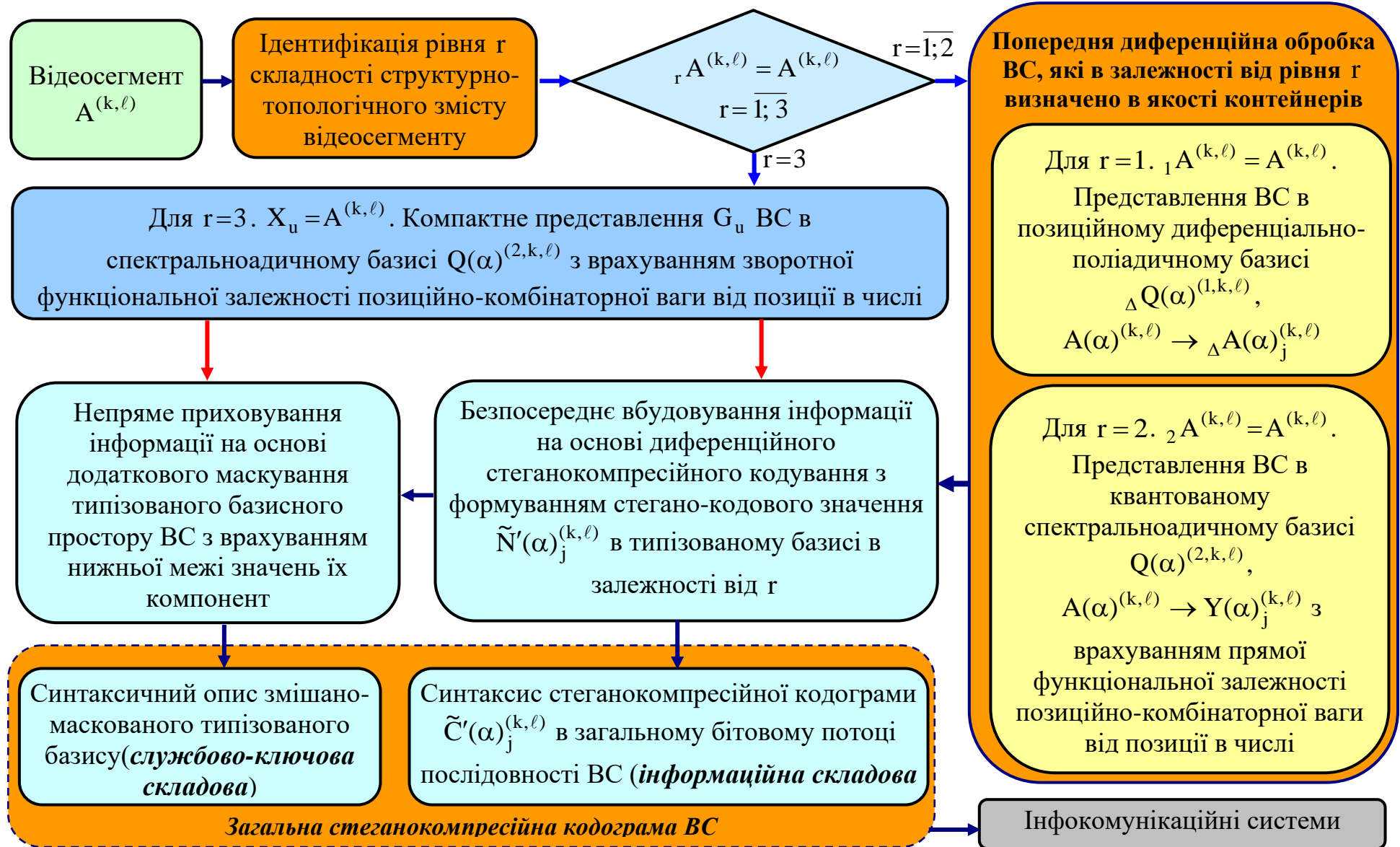


Рисунок 3.13. - Структурно-функціональна схема стратегії диференційного змішаного стеганокомпресійного кодування на основі ідентифікації інформативності з приховуванням значимих ВС (друга ситуація)

$$v(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \left[\sum_{i=1}^{n/\alpha} \ell \log_2 (\text{sign}(1 + \delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1 - \delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \right] + \text{sign}(\tilde{W}(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^B)); \quad (3.56)$$

Отже для другого ситуаційного варіанту (приховування ВС третього типу) матимемо: $X_u = A^{(k,\ell)}$, $G_u = C(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та відповідно $[G_u]_2 = [\tilde{C}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}]_2$.

В цьому випадку за рахунок стиснення ВС досягається зменшення об'єму даних для приховування. Отже знижуються вимоги до стеганографічної ємності.

Структурно-функціональна схема технології диференційного змішаного стеганокompресійного кодування вбудованої до ВС прихованої інформації на основі позиційно-поліадичного перетворення в стеганоформатованому типізованому базисі в залежності від рівня інформативності представлена на рис. 3.14.

За викладеним матеріалом можна заключити наступне:

1. Розроблено стратегію диференційного стеганокompресійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом (перший ситуаційний варіант). Це на основі адаптування особливостей процесу стеганокompресійних перетворень до рівня інформативності відеосегментів за їх структурно-семантичним змістом за вимог допустимої обчислювальної складності та рівня цілісності ВС створює умови для: збільшення стеганокompресійної швидкості відеоінформаційного каналу передачі інформації з використанням інфокомунікаційних систем.

2. Створено селективний метод стеганокompресійних перетворень з вбудовуванням значимих за структурно-семантичним змістом відеосегментів в з попереднім їх стисненням в спектральноадичному базисі (другий ситуаційний варіант).

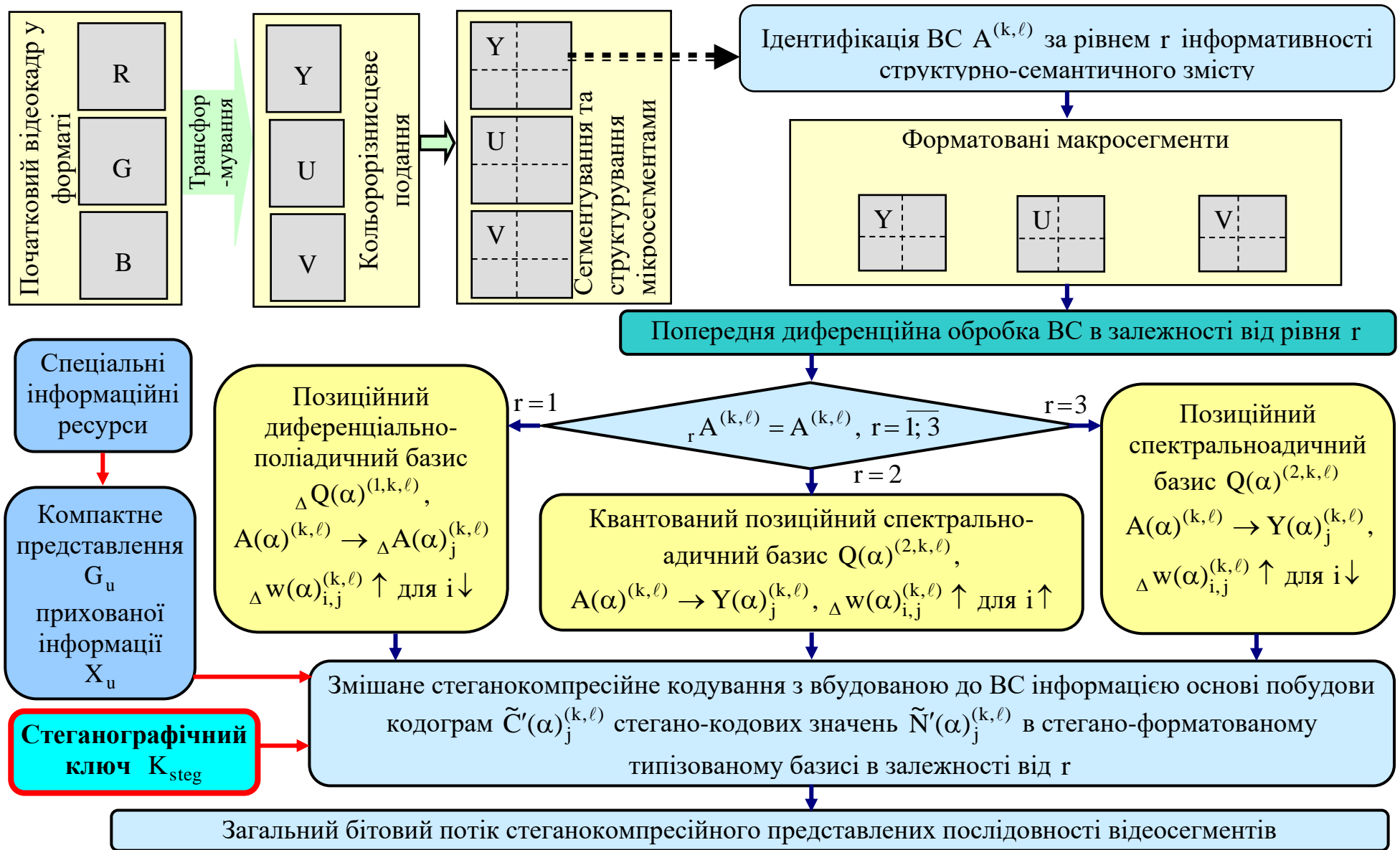


Рисунок 3.14. - Структурно-функціональна схема технології диференційного змішаного стеганокомпресійного кодування вбудованої до ВС прихованої інформації в стегано-форматованому типізованому базисі

Висновки третім розділом

1. Створено стеганокомпресійне кодування в форматованому стегано-поліадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості ППК надмірності. Приховування інформації здійснюється двома технологічними етапами в залежності від компресійного перетворення перехідного синтаксису стегано-ППЧ, а саме:

1) безпосереднє додавання елементу приховуємого повідомлення до позиційно-поліадичного числа, тобто утворення форматованого стегано-ППЧ;

2) технологія двокаскадної імплементації доданих до СППЧ елементів приховуємого повідомлення до синтаксису стеганокомпресійного представлення складових ВС, тобто: імплементація в стегано-кодівому значенні СППЧ в форматованому РСПБ базисі – стеганокомпресійне кодування в форматованому стегано-поліадичному базисі; імплементація в двійковому синтаксичному описі стегано-кодівих значень СППЧ – формування СК-кодограм.

2. Побудована двокаскадна кодова рекомбінація прихованої інформації на основі зворотних стеганокомпресійних перетворень. Відмінності методу полягають у тому що реконструкція стегано-ППЧ організується за двокаскадною концепцією, на основі масковано-залежного позиційного декодування стегано-кодівого значення в форматованому стегано-поліадичному базисі з попереднім вилученням з позиціонованої СК-кодограми за допомогою нерівномірного двійкового блокового кодування її змісту. Це з виключенням надлишкових службових відомостей забезпечує: умови для відновлення початкових ВС та вилучення безпосередньо-прихованої інформації без втрат синтаксичної цілісності; скорочення кількості обчислювальних операцій для СК-перетворень.

3. Розроблено стратегію диференційного стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх

інформативності за структурно-семантичним змістом (перший ситуаційний варіант). Базовими технологічними компонентами є:

1) змішане стеганокомпресійне кодування на основі позиційних систем з використанням сегано-форматованого диференціально-поліадичного базису для відеосегментів з високим потенціалом щодо встановлення просторових позиційно-комбінаторних залежностей;

2) змішане стеганокомпресійне кодування з попередньою трансформацією відеосегментів з обмеженим рівнем інформативності за структурно-семантичним змістом до спектральноадичного простору з врахуванням прямої функціональної залежності позиційно-комбінаторної ваги від позиції в числі;

3) для відеосегментів з низьким рівнем допустимої до скорочення кількості ПСВ надмірності - стеганокомпресійні перетворення в спектральноадичному базисі на основі: врахування зворотної функціональної залежності позиційно-комбінаторної ваги від позиції в числі; додаткового маскування спектральноадичного базису для непрямого приховування елементу шляхом компенсації корегованої компоненти.

4. Створено селективний метод стеганокомпресійних перетворень з вбудовуванням значимих за структурно-семантичним змістом відеосегментів в з попереднім їх стисненням в спектральноадичному базисі (другий ситуаційний варіант).

Вперше створено метод змішаного стеганокомпресійного кодування на основі позиційних систем в *маскованому* поліадичному базисі. Відмінності методу стосуються створення стеганокомпресійного кодування в змішано-маскованому після форматування стегано-поліадичному базисі з реалізацією двокаскадної *кодovo-компресійної* імплементації доданого до стегано-ППЧ елементу прихованого повідомлення. Це дозволяє в процесі стиснення відеосегменту забезпечити приховану подвійну імплементацію інформації в умовах виключення її впливу на цілісність відеоресурсів.

Вперше створено метод змішаного стеганокомпресійного декодування на основі демаскування стегано-поліадичного базису. Відмінності методу полягають у застосування двошарової концепції з використанням: структурної залежності між базовим, маскованим та форматованим стегано-поліадичними базисами в процесі: вилучення та декодування стегано-кодового значення; рекомбінації безпосередньо прихованих елементів з стегано-ППЧ в форматованому РСПБ; вилучення непрямо прихованих елементів демаскуванням стегано-форматованого та відновленням базового поліадичних базисів. Це в умовах виключення втрат рівня стиснення та цілісності забезпечує одночасне відновлення відеосегментів та прихованої інформації.

Вперше створено технологію диференційного стеганокомпресійного перетворення на основі кодування в стегано-поліадичному базисі. Основні відмінності технології стосуються врахування: рівня інформативності відеосегментів за структурно-семантичним змістом, а саме: здійснення СК-перетворень в позиційному диференціально-поліадичному та спектрально-адичному базисах; в процесі змішаного маскування відсутності нульових компонент спектральноадичного базису. Це дозволяє підвищити швидкість прихованого у компресійному відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень за умов забезпечення: цілісності відео сегментів-контейнерів та вбудованих даних; маскування слідів наявності прихованої у ВС інформації.

Основні результати науково-прикладних досліджень, що представлено в третьому розділі опубліковано та апробовано в наступних наукових працях [3 - 5; 6 – 10; 14; 16; 33; 44; 53; 54; 56; 60 – 62; 64 – 71].

4. ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТЕГАНОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ БОРТОВИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Викладено основні науково-прикладні результати щодо оцінювання ефективності стеганокомпресійних перетворень для разработаного та існуючих методів. Оцінка здійснюється з врахуванням інформативності ВС за складністю СТС змісту.

Обґрунтовано, що існує асоціативна відповідність значень інформативної ваги та його складових, які визначаються за створеною моделлю оцінювання та експертних оцінок щодо визначення ділянок за складністю їх структурно-семантичного змісту.

На основі експериментальних даних показано переваги створеного методу змішаного стеганокомпресійного кодування за наступними показниками: складність обчислювального процесу вбудовування інформації; рівень стиснення послідовності ВС з врахуванням вбудовування інформації; вплив стеганографічних перетворень на втрати компресійних характеристик за рівнем стиснення та семантичною цілісністю відновлених ВС; стеганографічною ємністю; швидкістю стеганокомпресійного каналу передачі даних; швидкістю прихованого у кодованій послідовності ВС каналу вбудованої інформації.

Підтверджено експериментами те, що в санкціонованому режимі відновлення послідовності ВС та прихованої інформації проводиться без втрат цілісності. Забезпечується маскуванню прихованої у ВС інформації у разі спроби несанкціонованого доступу.




4.1. Експериментальне оцінювання адекватності моделі для визначення інформативної ваги щодо дійсної структурно-семантичної складності відеосегменту

Для встановлення відповідності моделі визначення інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ сегментів $A^{(k,\ell)}$ відеокадру здійснюється відповідна обробка з врахуванням завідомо встановлених його ділянок з різною складністю структурно-семантичного змісту. Пропонується для реалістичних відеокадрів виділяти ділянки, які за експертною оцінкою (за результатом дешифрування) можуть мати такий зміст :

- 1) простий структурно-семантичний зміст (відсутня структурно-семантична інформація);
- 2) містять структурно-семантичну інформацію;
- 3) мають складний структурно-семантичний зміст.

Приклад експертної обробки (дешифрування) відеокадру наведено на рис. 4.1. Тут для відеокадру «Фрагмент аеропорту» з боку експертів (дешифрувальників) виділені ділянки з наявністю структурно-семантичної складності та з її відсутністю.

На рис. 4.1. використовуються наступні узагальнені позначення :

-  - ділянки, що мають складний структурно-семантичний зміст;
-  - ділянки з наявністю структурно-семантичного змісту;
-  - ділянки з відсутнім структурно-семантичним змістом з позиції інтересів дешифрування (порожні ділянки).

Розглянемо обробку встановлених ділянок з використанням створеної моделі оцінювання інформативної ваги сегментів. В цьому випадку виконуються наступні етапи моделювання :

- 1) для сегментів завідомо дешифрованих ділянок знаходяться значення величин $v(i)_{\text{fluct}}$ частоти та $q(i)$ амплітуди флуктуацій;
- 2) обчислюється нормоване значення інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ з



Рисунок 4.1. – Початковий відеокadres (ВК) «Фрагмент аеропорту» з виділенням ділянок з наявністю структурно-семантичної складності

врахуванням логарифмічної шкали визначення амплітуди $q(i)$,

$$W(A^{(k,\ell)}) = \left(\sum_{\alpha=1}^n v(i)_{\text{fluct}} \cdot \log_2 q(i) \right) / 16 \cdot n . \text{ Де } n - \text{ кількість рядків в сегменті;}$$

3) проводиться суміщення (встановлення асоціативності) визначених оцінок інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ та експертних оцінок відповідних ділянок відеокадру.

Розрахунок величин $v(i)_{\text{fluct}}$, $q(i)$ та результат оцінювання ваги $W(A^{(k,\ell)})$ для ділянок відеокадру, що наведений на рис. 4.1, представлено в табл. 4.1. В цій таблиці наведені усередненні значення величин $\overline{v(i)_{\text{fluct}}}$, $\overline{q(i)}$ за рядками сегментів. Тобто $\overline{v(i)_{\text{fluct}}} = v(i)_{\text{fluct}} / n$, $\overline{q(i)} = q(i) / n$.

Таблиця 4.1. - Залежність граничних значень ваги $W(A^{(k,\ell)})$ від $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ для різних ділянок відеокадру за складністю структурно-семантичного змісту

	Порожні ділянки за структурно-семантичним змістом з позиції інтересу дешифрування	Ділянки з наявністю структурного та семантичного змісту	Ділянки, що мають складний структурно-семантичний зміст
$\overline{v(i)_{\text{fluct}}}$	3	2	1
$\log_2 \overline{q(i)}$	8	16	32
$W(A^{(k,\ell)})$	1,5	2	2

Більш детальніше визначення відповідності значень інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ та встановлених характерних ділянок відеокадру показано в табл. 4.2. Тут наведені усереднені значення величин $W(A^{(k,\ell)})$ для характерних ділянок відеокадру за оцінюванням експертів (тобто за результатами дешифрування).

Таблиця 4.2. - Усереднене значення ваги $W(A^{(k,\ell)})$ для типових локацій відеозображення

Назва виділеної ділянки відеокадру	Усереднене значення $W(A^{(k,\ell)})$
область даху великих будівель	0,75
область взльотної полоси	1,1
тіньова зона	1,7
зона дахів будівель	2,5
локація літака	2,55
зона скупчення будівель	3,2

Відповідно з аналізу даних щодо наведені в табл. 4.1 та 4.2 можна заключити :

1) усередненні значення величин $\overline{v(i)}_{\text{fluct}}$ та $\overline{\log_2 q(i)}$ розподілені в залежності від наявності СТС складності ділянок наступним чином : в залежності від частоти $\overline{v(i)}_{\text{fluct}}$ флуктуацій складність сегменту набуває чинності із більшою швидкістю у разі збільшення величини амплітуди $\overline{\log_2 q(i)}$;

2) нижня межа величини інформативної ваги $W(A^{(k,\ell)})$ сегменту, для якої проявляється наявність структурно-семантичного змісту дорівнює 1,5. Нижньою межею величини $W(A^{(k,\ell)})$ для складних за СТС змістом сегментів є значення 2;

3) діапазон зміни значень інформативної ваги $0 \leq W(A^{(k,\ell)}) \leq 3,5$ дозволяє врахувати всі можливі варіанти ділянок за їх СТС складністю.

Відповідні діапазон значень величин $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ для різних сегментів за наявністю СТС складності показані на рис. 4.2.

На цьому рисунку окрасом та цифрами умовно позначаються діапазони для :

I – сегменти порожніх ділянок за структурно-семантичним змістом з позиції інтересу дешифрування;

II – сегменти ділянок з наявністю структурного та семантичного змісту;

III – сегменти ділянок, що мають складний структурно-семантичний зміст.

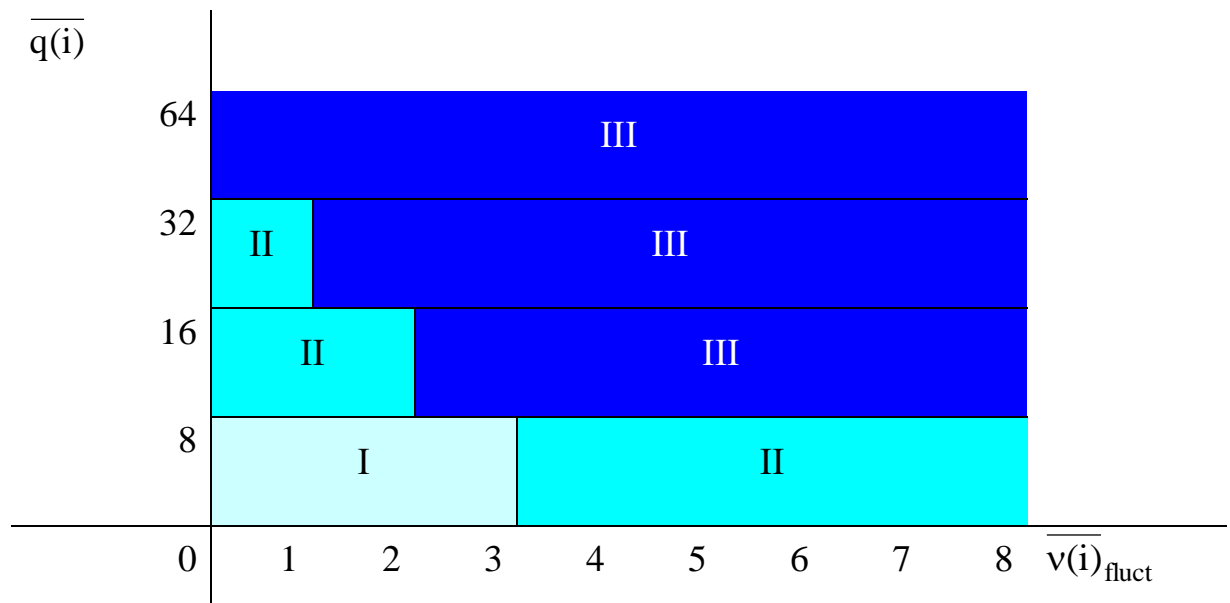


Рисунок 4.2. – Блокова діаграма розподілу значень величин $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$ щодо визначення наявності складності ділянок відеокадру

З аналізу блокової діаграми (рис. 4.2) слідує те, що :

- з ростом амплітуди наявність СТС складності проявляється починаючи з менших значень. Наприклад, для $\overline{q(i)} = 32$ сегмент буде мати складний СТС зміст уже для $\overline{v(i)}_{\text{fluct}} = 1$. Навпаки, у разі якщо $\overline{q(i)} = 16$ таке досягається для $\overline{v(i)}_{\text{fluct}} = 2$;

- для фіксованого значення величини $\overline{v(i)}_{\text{fluct}}$ складність сегменту за СТС змістом збільшується у разі підвищення значень амплітуд $\overline{q(i)}$.

Отже можна стверджувати те, що існує асоціативна відповідність значень інформативної ваги та його складових $v(i)_{\text{fluct}}$ та $q(i)$, які визначаються за створеною моделлю оцінювання та експертних оцінок щодо визначення ділянок за складністю їх структурно-семантичного змісту.

Такий збіг створює умови щодо :

- визначення моделі оцінювання інформативної ваги відеосегментів, як такої, що є адекватною;
- подальшої можливості використання значень інформативної ваги для адаптивної обробки відеосегментів в стеганокомпресійних системах.

Селекцію сегментів за рівнем їх інформативної ваги *пропонується* організувати на основі використання оцінок $W(A^{(k,\ell)})$. За таким оцінюванням сегменти умовно поділяються на три типи в залежності від рівня складності їх СТС змісту, тобто :

- 1) порожні ділянки за структурно-семантичним змістом з позиції інтересу дешифрування, $W(A^{(k,\ell)}) < 1,5$;
- 2) ділянки з наявністю структурного та семантичного змісту, $1,5 \leq W(A^{(k,\ell)}) < 2$;
- 3) ділянки, що мають складний структурно-семантичний зміст, $W(A^{(k,\ell)}) \geq 2$.

Приклад експериментального використання створеного методу ідентифікації ВС для відеокадру «Фрагмент аеропорту» наведено на рис. 4.3.

На цьому рисунку прийняті наступні позначення :

- | | |
|--|---|
| | - сегменти що мають складний СТС зміст; |
| | - сегменти з наявністю СТС змісту; |
| | - сегменти порожні за СТС змістом. |

Аналіз результатів експериментального застосування створеного методу ідентифікації сегментів дозволяє стверджувати те, що :

- 1) стосовно типізації ВС. Кількість виявлених інформативних сегментів за рівнем їх СТС складності становить 93 % відносно дійсної їх кількості у відеокадрі. Кількість сегментів, які мають низку інформативну вагу та встановлюються, як порожні за СТС складністю становить 90 % від їх дійсної кількості у відеокадрі. Звідки можна заключити, що помилка першого роду знаходиться на рівні 7 – 10 % в залежності від інформативної ваги

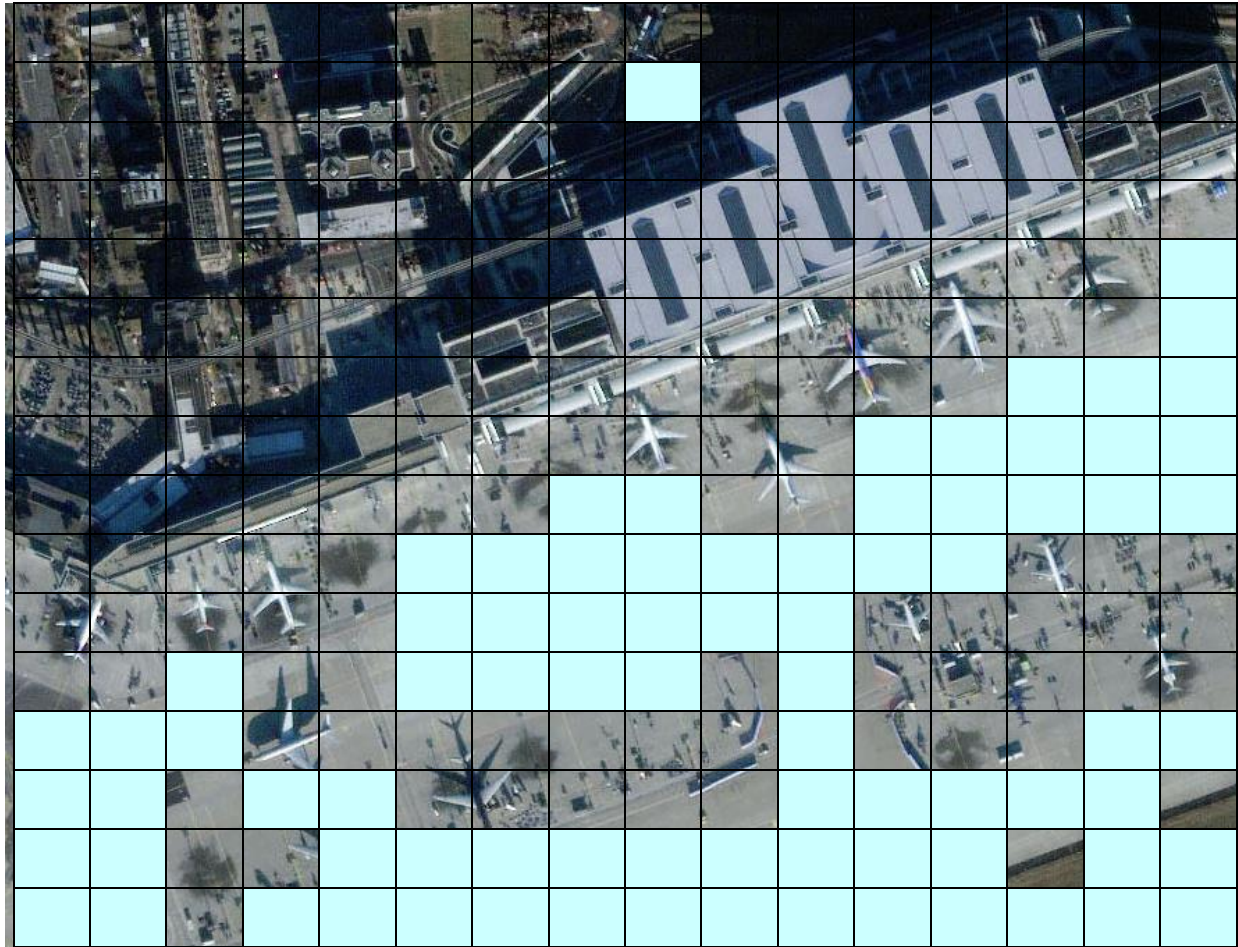


Рисунок 4.3. – Результати функціонування створеного методу ідентифікації відеосегментів за рівнем інформативності СТС складності

сегментів. Відповідно помилка другого роду, а саме факт встановлення сегментів не відповідаючих дійсному їх рівню СТС складності, не перевищує 10 % (уразі коли сегмент з відсутністю СТС змісту визнається, як складний;

2) стосовно ідентифікації неоднорідної структури потоку ВС. Ідентифікація ВС в динамічному потоці з врахуванням їх інформативної ваги створює умови для відкидання більш ніж 60 % ВС без внесення змін (втрат) структурно-семантичного змісту відеокадру. З іншого боку це створює певні умови для додаткового збільшення ефективності компресійних та стеганографічних перетворень за показниками коефіцієнту стиснення та стеганографічної ємності;

3) стосовно оцінювання достовірності результатів методу типізації ВС за кількісним та якісним складом відеосегментів за їх інформативною вагою. На основі експериментів за статистичним планом існує певний збіг (адекватність) не менш ніж в 92 % випадків синтаксису типізації ВС за створеним методом та дійсним, що визначається за допомогою оцінювання (дешифрування) експертів.

В цьому випадку здійснюється типізація ВС в залежності від їх інформативної ваги за складністю СТС змісту. Створюються умови для :

1) додаткового збільшення значення коефіцієнту стиснення за рахунок : встановлення сегментів, для яких допускається збільшення кроку квантування діапазону спектрального простору; відкидання деякої кількості ВС з подальшої обробки, що мають низьку інформативну вагу;

2) збереження рівня достовірності за структурно-семантичним змістом шляхом встановлення та відповідної подальшої обробки ВС з інформативною вагою що селекціонує їх, як складні за СТС змістом;

3) локалізацію додаткового росту кількості арифметичних операцій на основі можливості скоротити кількість даних.

За викладеним матеріалом можна заключити наступне:

1. Експериментальні дослідження показують те, що :

1) усередненні значення величин частоти та амплітуди флуктуацій розподілені в залежності від наявності СТС складності ділянок наступним чином: в залежності від частоти флуктуацій складність сегменту набуває чинності із більшою швидкістю у разі збільшення величини амплітуди;

2) нижня межа величини інформативної ваги сегменту, для якої проявляється наявність структурно-семантичного змісту дорівнює 1,5. Нижньою межею величини для складних за СТС змістом сегментів є значення 2;

3) діапазон зміни значень інформативної ваги дозволяє врахувати всі можливі варіанти ділянок за їх СТС складністю.

2. Стверджено, що існує асоціативна відповідність значень інформативної ваги та його складових, які визначаються за створеною моделлю оцінювання та експертних оцінок щодо визначення ділянок за складністю їх структурно-семантичного змісту. Такий збіг створює умови щодо: визначення моделі оцінювання інформативної ваги відеосегментів, як такої, що є адекватною; подальшої можливості використання значень інформативної ваги для адаптивної технології стеганокомпресійного перетворення типізованої послідовності ВС.

4.2. Порівняльне оцінювання ефективності стеганокомпресійних перетворень з використанням бортових інфокомунікаційних технологій кодування та передачі відеоданих

Покажемо, що створений процес стеганокомпресійних перетворень дозволяє скоротити кількість ППК надмірності. Кількість $\tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ допустимої для скорочення ППК надмірності за врахуванням обмежень $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ на позиційні діапазони елементів в складових ВСС визначається таким виразом:

$$\tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} = V_{n_\alpha} - \tilde{V}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}, \quad (4.3)$$

де V_{n_α} , $\tilde{V}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - об'єм бітового опису, що витрачається на представлення α -ї складової j -го стовпця ВС відповідно до та після встановлення та розширення ППК залежностей $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ в умовах вбудовування інформації.

Позиційно-комбінаторне походження такої надмірності зумовлено наявністю обмеженої кількості $\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ допустимих комбінацій з елементів $\tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)}$ форматованої стегано-складової $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ВС за умов врахування системи залежностей $\tilde{Q}'(\alpha)^{(2,k,\ell)}$. Тобто з врахуванням виразу (3.7), маємо:

$$\begin{aligned} \tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= \prod_{i=1}^{n_\alpha+1} (\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot \tilde{q}'(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \leq \\ &\leq W_{n_\alpha} = 256^{n_\alpha} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\exists \tilde{a}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \leq \tilde{q}'(\alpha)_{i,j}^{(k,\ell)} \mid j \in [1; n_\alpha], \quad (4.3)$$

де W_{n_α} - кількість допустимих комбінацій для α -ї складової $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, що формується n_α восьми-бітними елементами без врахування ПОБ.

Відповідно до виразів (3.9) та (4.2) кількість $\tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ППК надмірності визначається формулою:

$$\begin{aligned} \tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} &= \log_2 256^{n_\alpha} - \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \\ &= 8 \cdot n_\alpha - \left(\left[\sum_{i=1}^{n_\alpha+1} \log_2 (\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)} + 1) \right] - \right. \\ &\quad \left. - \text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) \right). \end{aligned}$$

В цій формулі величина $\text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta))$ за умов нерівності $2^{\beta-1} < \tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \leq 2^\beta$ приймає одно з двох значень, а саме :

$$\text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) = \begin{cases} 0, & \rightarrow \tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta) = 0; \\ 1, & \rightarrow \tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta) \geq 1. \end{cases}$$

Звідси значення $\text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta))$ визначається кратністю величини $\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ степені 2. Отже з врахуванням того, що: $\tilde{q}'(\alpha)_{2,j}^{(k,\ell)} = 2 < 256$ виконується нерівність:

$$\begin{aligned} & \ell \log_2(\text{sign}(1+\delta) \cdot q(\alpha)_j^{(k,\ell)} - \delta \cdot \text{sign}(1-\delta) \cdot q(\alpha)_i^{(k,\ell)}) + 1 - \\ & - \text{sign}(\tilde{W}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} \bmod(2^\beta)) \leq 8, \quad 1 \leq i \leq n_\alpha \Rightarrow \tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} > 0. \end{aligned}$$

Відповідно врахування кількості $\tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ такої надмірності для зменшення бітового об'єму досягається в процесі формування стегано-кодових значень $\tilde{N}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ для стегано-ППЧ $\tilde{A}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

З іншого боку кількість $H(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ ППК надмірності для α -ї складової $A(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ без вбудовування інформації становить: $H(\alpha)_j^{(k,\ell)} = V_{n_\alpha} - V(\alpha)_j^{(k,\ell)}$.

Тут $V(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - об'єм бітового опису α -ї складової j -го стовпця ВС за умов встановлення ППК залежностей $Q(\alpha)^{(2,k,\ell)}$ без вбудованої інформації. Тоді з порівняння виразів для величин $V(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ та $\tilde{V}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ можна стверджувати на таке: $\tilde{H}'(\alpha)_j^{(k,\ell)} - H(\alpha)_j^{(k,\ell)} \leq 1$ (біт). Звідси найбільша величина корекції рівня стиснення за рахунок додавання одного елементу вбудованого повідомлення не перевищуватиме 1 біту. При обробці ВС для бортових відеоресурсів за умов забезпечення їх синтаксичної цілісності така корекція складає не більш ніж 7 – 10 % від загального бітового об'єму на компактне представлення стегано-складових ВС. Таке співвідношення не зміниться для режиму маскованого базового поліадичного базису (МБПБ).

Це ґрунтується на умові $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)} = \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$, де $v''(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ - довжина кодограми за МБПБ.

Оцінювання додаткових часових витрат на вбудовування інформації для розробленого методу ЗСК. Розглянемо окрему структурну складову стовпця ВСС на базі якої утворюються стегано-ППЧ. Для безпосереднього вбудовування одного біту прихованого повідомлення необхідно виконати:

- одну операцію двійкового циклічного здвигу для визначення структурно-позиційної ваги вбудованого до ППЧ елемента (оскільки ПОЗ доданого елемента дорівнює 2);

- одну операцію двійкового циклічного здвигу для визначення компоненти згортки в процесі формування стегано-кодового значення для СППЧ (оскільки значення елемента прихованого повідомлення відноситься до двійкового простору);

- одну операцію додавання щодо обчислення стегано-кодового значення.

Для непрямого вбудовування елемента потрібно лише виконати одну операцію додавання в молодшій біт ПОЗ старшого елемента.

Звідси додаткова кількість $\bar{\mu}_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ типових операцій, яка в середньому приходить на один елемент прихованого повідомлення, буде меншою ніж 1. Тобто складність обчислювальних операцій на вбудовування елементів для створеного методу ЗСК буде меншою ніж лінійна, $\bar{\mu}_{\text{hid}}^{(k,\ell)} \sim o(v_{\text{hid}}^{(k,\ell)})$.

Оцінювання рівня $\mathfrak{G}_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ стиснення з врахуванням процесу вбудовування інформації для розробленого методу СК перетворень. Величина $\mathfrak{G}_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ з врахуванням коефіцієнту стиснення $\mathfrak{G}^{(k,\ell)}$ без вбудовування інформації залежить від рівня втрат $\Delta \mathfrak{G}^{(k,\ell)}$, та визначається за формулою:

$$\mathfrak{G}_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = I(n;b) / V_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = \mathfrak{G}^{(k,\ell)} \cdot \Delta \mathfrak{G}^{(k,\ell)}. \quad (4.4)$$

В даній формулі бітовий об'єм $V_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ стеганокомпресійного представлення ВС знаходиться з рахуванням довжин $\tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СК-кодограм $\tilde{c}'(\alpha)_j^{(k,\ell)}$ СППЧ, а саме:

$$V_{\text{steg,inf}}^{(k,\ell)} = \sum_{j=1}^n \sum_{\alpha=1}^{n_\alpha} \tilde{v}(\alpha)_j^{(k,\ell)}$$

Залежність величин $\mathfrak{G}_{\text{steg}}^{(k,\ell)}$ та $\mathfrak{G}^{(k,\ell)}$ від рівня w_{sem} інформативності ВС та їх семантичної цілісності представлено у вигляді діаграм на рис. 4.4 – 4.6.

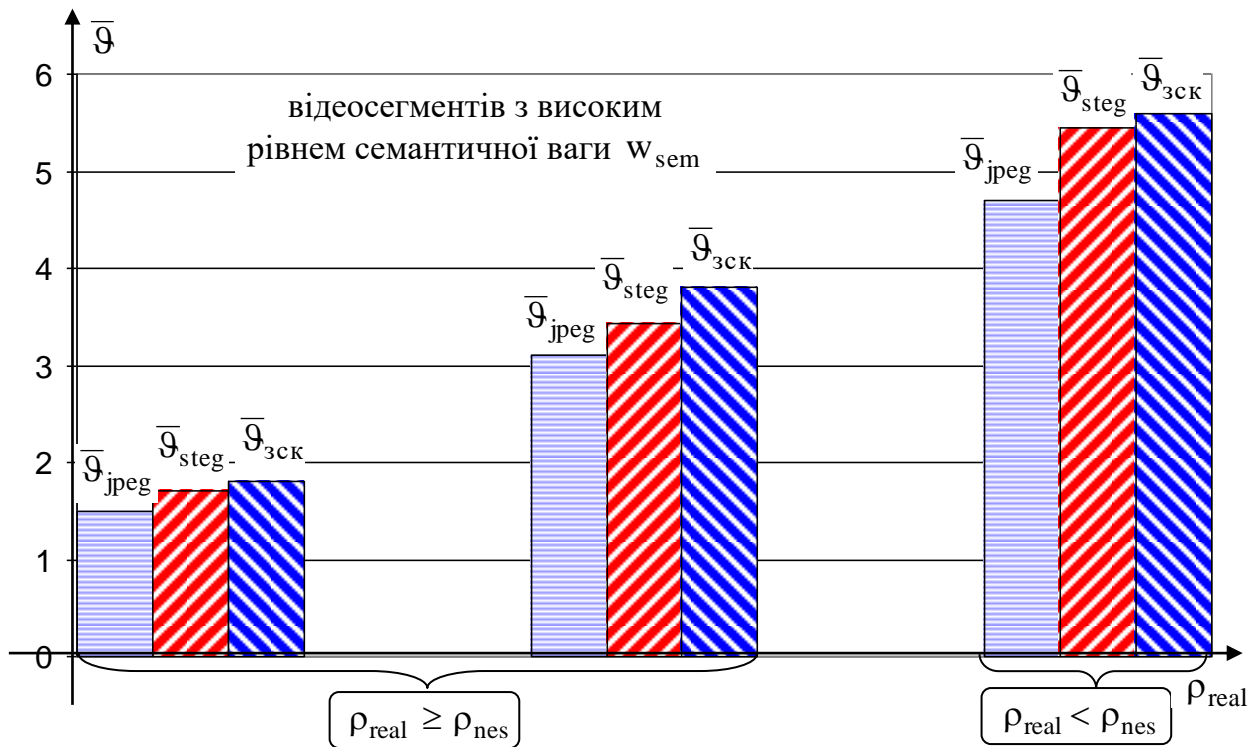


Рисунок 4.4. – Діаграма значень величин $\bar{\mathfrak{G}}$ в межах допустимих інтервалів зміни рівня ПВСШ для різних режимів кодування

На рис. 4.4 – 4.6 прийняті наступні позначення: $\bar{\mathfrak{G}}_{\text{jpeg}}$, $\bar{\mathfrak{G}}_{\text{зск}}$, $\bar{\mathfrak{G}}_{\text{steg}}$ - усереднене за ВС у послідовності значення коефіцієнтів стиснення для методів відповідно: стандартизованої платформи JPEG [35; 37; 40; 48]; створеного методу ЗСК без прихованої інформації; створеного методу з

врахуванням вбудованої інформації. З аналізу діаграм на рис. 4.4 – 4.6 можна заключити наступне:

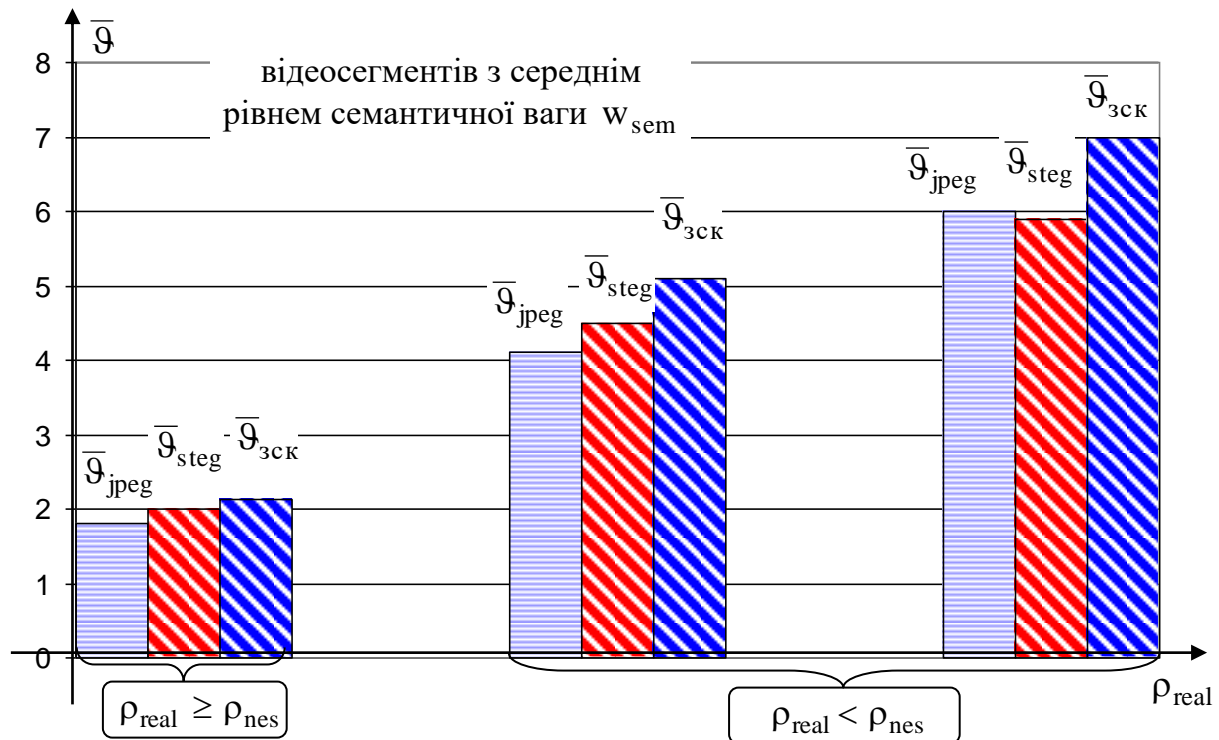


Рисунок 4.5. – Діаграма значень величин \bar{Q} в межах допустимих інтервалів зміни рівня ПВСШ для різних режимів кодування

1) рівень стиснення для створеного методу ЗСК за умов наявності вбудованої інформації та забезпечення потрібного рівня семантичної цілісності $\rho_{real} \geq \rho_{nes}$ в залежності від рівня w_{sem} інформативності за СТС описом приймає наступні значення: для значного рівня w_{sem} - 2; для середнього рівня w_{sem} - 4,5; для незначного рівня w_{sem} - 12;

2) втрати $\Delta \bar{Q}$ рівня стиснення для створеного методу ЗСК у разі наявності вбудованих даних відносно режиму їх відсутності не перевищує: в середньому 7 % за різними по інформативності ВС; в середньому 5 % для найбільш значимих за інформативністю ВС;

3) вигреш за рівнем стиснення для створеного методу ЗСК з врахуванням вбудовування даних перевищує рівень стиснення методів JPEG

(без вбудовування даних) в середньому від 7 до 15 % в залежності від рівня інформативності ВС та їх семантичної цілісності.

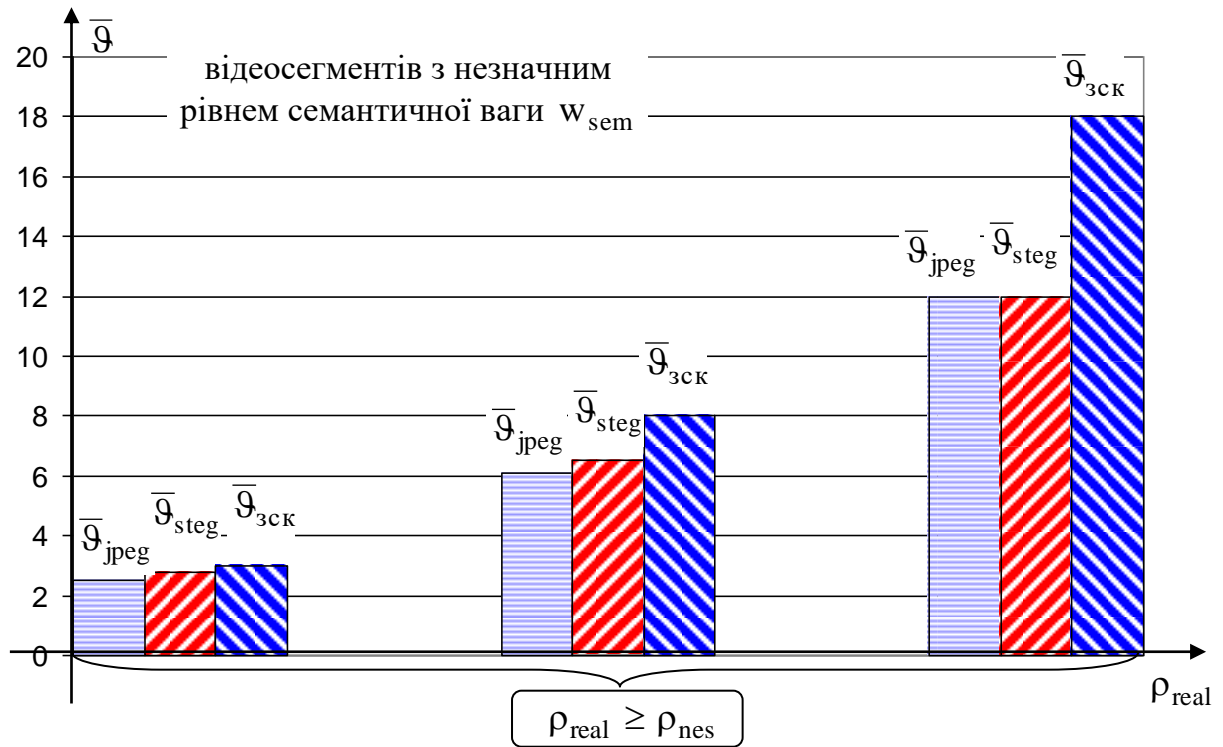


Рисунок 4.6. – Діаграма значень величин $\bar{\vartheta}$ в межах допустимих інтервалів зміни рівня ПВСШ для різних режимів кодування

Розрахунок стеганографічної ємності $R_{steg}^{(k,\ell)}$ для розробленого методу змішаного СК кодування (ЗСК). Оцінювання величини $R_{steg}^{(k,\ell)}$ здійснюється за формулою (1.9). Як параметри процесу кодування приймаються: $h_{sp} = n \times n$, де розмір ВС $n = 8$; $h_{px} = 8$ біт на кожен кольорову складову. Визначення величини $v_{hid}^{(k,\ell)}$ (кількості вбудованих біт прихованого компактно-представленого спеціального повідомлення) для розробленого методу ЗСК для $n = 8$ проводиться з врахуванням наступного: для окремої α -ї складової кожного стовця ВСК вбудовується два біти прихованого повідомлення; кількість структурних складових в одному стовці ВСК дорівнює $n_\alpha = 2$; за умов сегментації відеокадру кількість стовців в одному ВСК корівню $n = 8$.

Відповідно до чого, величина $v_{\text{hid}}^{(k,\ell)}$ для окремого ВСС дорівнює $v_{\text{hid}}^{(k,\ell)} = 32$ бітам. Тоді з врахуванням співвідношення $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = v_{\text{hid}}^{(k,\ell)} / (\dot{h}_{\text{sp}} \cdot \dot{h}_{\text{px}})$ за умов $\dot{h}_{\text{sp}} = 64$ та $\dot{h}_{\text{px}} = 8$ біт, для створеного методу СКП маємо: $R_{\text{steg}}^{(k,\ell)} = 0,0625$ або $R_{\text{steg,\%}}^{(k,\ell)} = 6,25\%$.

Кількість v_{hid} біт, яку допустимо вбудувати в окрему кольорову складову відеокадру, залежить від кількості v_s ВС, та знаходиться за формулою:

$$v_{\text{hid}} = v_{\text{hid}}^{(k,\ell)} \cdot v_s = R_{\text{steg}}^{(k,\ell)} \cdot \dot{h}_{\text{vk}} \cdot \dot{h}_{\text{px}} \text{ (біт)}.$$

Звідси для створеного методу стеганокомпресійних перетворень величина v_{hid} дорівнює $v_{\text{hid}} = 32 \cdot v_s$ (біт). Відповідно загальна кількість $v(\dot{h}_{\text{clr}})_{\text{hid}}$ біт, яку допустимо вбудувати в один відеокадр за умов $\dot{h}_{\text{clr}} = 3$, встановлюється виразом:

$$v(\dot{h}_{\text{clr}})_{\text{hid}} = R_{\text{steg}}^{(k,\ell)} \cdot V(v_s) \text{ (біт)}. \quad (4.5)$$

Для розробленого методу маємо $v(\dot{h}_{\text{clr}})_{\text{hid}} = 0,0625 \cdot V(v_s)$ Мбіт. Розрахунки величини $v(\dot{h}_{\text{clr}})_{\text{hid}}$ за формулою (4.5) надано в табл.4.3.

З аналізом даних в табл. 4.3 можна стверджувати наступне:

1. Рівень стеганографічної ємності для (СТЕМ) створеного методу перевищує в 2 рази СТЕМ існуючих методів практичного використання. При цьому на відміну від існуючих методів виключаються стеганографічні втрати цілісності ЗВКР та зменшуються втрати рівня стиснення в середньому від 7 до 15% в залежності від рівня інформативності ВС за СТС змістом за умов потрібного рівня семантичної цілісності ЗВКР.

2. Рівень стеганографічної ємності для створеного методу складає 6,25 % на кожний ВС в послідовності. Це дозволяє в залежності від бітового об'єму ЗВКР вбудувати приховану інформацію наступного бітового об'єму:

Таблиця 4.3. - Залежність величини $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}}$ для створеного методу ЗСК від кількості v_s ВС у відеокадрі

Тип формату відеокадру	Величина $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}}$, Мбіт	Кількість ВС, яку можна приховати, для відеокадрів встановлених форматів, %				
		4K UHD; (4128 x 3096)	4K Ultra HD HV (3840 x 2160)	Full HD (1920 x 1080)	HD (720p)	CIF
HD (720p) (1280 x 720)	1,4 Мбіт	-	-	-	-	60 %
Full HD (1920 x 1080)	3 Мбіт	-	-	-	15 %	100 %
4K Ultra HD HV (3840 x 2160)	12,4 Мбіт	-	-	25 %	60 %	$v_{\text{fr}}=5$
4K UHD; (4128 x 3096)	19,2 Мбіт	-	10 %	40 %	87 %	$v_{\text{fr}}=8$
8K (8192 x 3357)	60 Мбіт	20 %	30 %	120 %	$v_{\text{fr}}=3$	$v_{\text{fr}}=25$

1) HD (720p) (1280 x 720) – Мбіт; - $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}} = 1,4$ Мбіт. Це дозволяє приховати 60 % ВС відеозображення формату CIF (352 x 288);

2) Full HD (**1920 x 1080**) – $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}} = 3$ Мбіт. Це дозволяє приховати: 15 % ВС відеозображення формату HD (720p) (1280 x 720); 100 % відеозображення формату CIF;

3) 4K Ultra HD HV (**3840 x 2160**) – $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}} = 12,4$ Мбіт. . Це дозволяє приховати: 25 % ВС відеозображення формату Full HD (**1920 x 1080**); 60 % ВС відеозображення формату HD (720p) (1280 x 720); $v_{\text{fr}}=5$ відеозображень формату CIF;

4) 4K UHD; (**4128 x 3096**) – $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}} = 19,2$ Мбіт. . Це дозволяє приховати: 10 % ВС відеозображення формату 4K Ultra HD HV (**3840 x 2160**); 40 % ВС відеозображення формату Full HD (**1920 x 1080**); 87 % ВС відеозображення формату HD (720p) (1280 x 720); $v_{\text{fr}}=8$ відеозображень формату CIF;

5) 8K (**8192 x 3357**) – $v(\hbar_{\text{clr}})_{\text{hid}} = 60$ Мбіт; . Це дозволяє приховати: 20 % ВС відеозображення формату 4K UHD; (**4128 x 3096**); 30 % ВС відеозображення формату 4K Ultra HD HV (**3840 x 2160**); 120 % ВС відеозображення формату Full HD (**1920 x 1080**); $v_{\text{fr}}=3$ відеозображень формату HD (720p) (1280 x 720); $v_{\text{fr}}=25$ відеозображень формату CIF.

Розглянемо оцінювання швидкостей:

- 1) S_{steg} кодованого відеоканалу з прихованою інформацією (рис. 4.7);
- 2) S_{hid} прихованого у *кодованій* послідовності ВС каналу передачі вбудованої інформації (рис. 4.8).

Для порівняння використовуються розроблений метод ЗСК та існуючі методи (МСП) стиснення стандартизованої платформи [112 – 114; 125; 129; 130]. Рівень стиснення обирається усереднений за сегментами для достатньо інформативного відеокадру (середня невизначеність СТС змісту) в умовах забезпечення рівня його семантичної цілісності за ПВСШ в межах

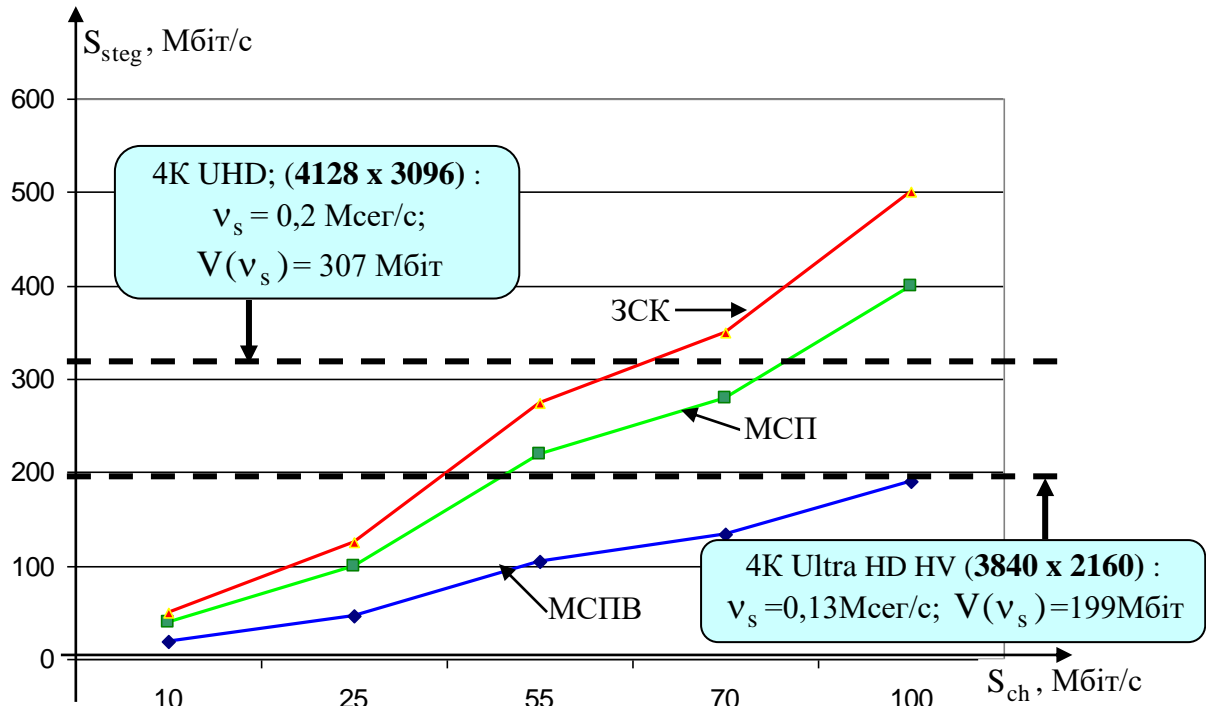


Рисунок 4.7. – Графіки залежності величини S_{steg} від S_{ch} , $\bar{\vartheta}$ за умов $29 \leq \rho_{real} \leq 35$ для різних методів кодування та вбудовування інформації

$29 \leq \rho_{real} \leq 35$ (без врахування вбудовування даних) та ймовірність $P_{hid}^{(k,\ell)}$ безпомилкового вилучення інформації $P_{hid}^{(k,\ell)} = 1$, а саме: для методу МСП – $\bar{\vartheta}_{jpeg} = 4,1$ без вбудовування інформації та $\bar{\vartheta}_{jpeg,steg} = 1,9$ з вбудовуванням інформації (МСПВ); для створеного методу ЗСК з прихованою інформацією – $\bar{\vartheta}_{steg} = 5$. Швидкість передачі даних з використанням бортових ІКС обирається в межах $10 \leq S_{ch} \leq 100 \text{ Мбіт/с}$. Це відповідає варіанту практичного застосування. Для передачі з БПІ до пунктів управління використовуються наступні технології (табл. 1.2): SC4400E “Silvus Technologies”; NanoStation Loco M900 Ubiquiti.

Оцінювання величини S_{steg} з використанням бортових ІКС здійснюється за формулою (1.11). Відповідне оцінювання представлено на рис. 4.7. Оцінювання рівня S_{hid} з використанням бортових ІКС проводиться

за виразом (1.12). Результати оцінювання для рівня стеганографічної ємності $\bar{R}_{steg} = 0,0625$ наведено на рис. 4.8.

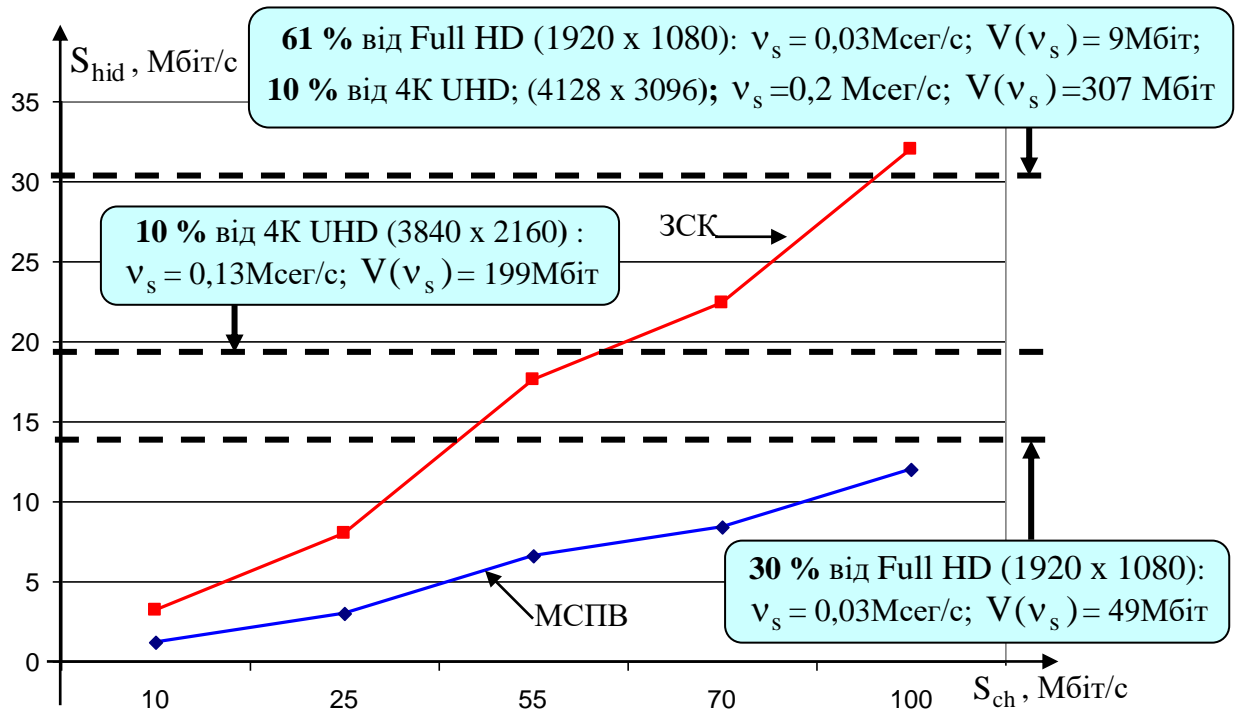


Рисунок 4.8. – Графіки залежності величини S_{hid} від S_{ch} , $\bar{\mathcal{Q}}$ за умов $29 \leq \rho_{real} \leq 35$ та $\bar{R}_{steg} = 0,0625$ для різних методів кодування та вбудовування інформації

З аналізу графіків на рис. 4.7 та 4.8 можна заключити наступне:

1) для створеного методу ЗСК в умовах приховування інформації досягається:

- відносно методу МСПВ (існуючі методи спільного застосування стеганографічних та компресійних перетворень) вииграш одночасно за: збільшенням швидкості стеганокомпресійного каналу передачі даних з використанням бортових ІКС в середньому в 2 рази; збільшення рівня семантичної цілісності відновленої послідовності ВС в середньому на 15 дБ; підвищення рівня маскуванню прихованої у ВСК інформації у разі спроби несанкціонованого доступу в середньому на 10дБ;

- відносно методів стандартизованих платформ без вбудовування інформації перевага за швидкістю передачі даних середньому від 10 – 30% в залежності від рівня інформативності ВС

2) для створеного методу відносно існуючих підходів досягається можливість одночасної доставки в реальному часі:

- для швидкості каналу передачі даних 25 Мбіт/с- відео-контейнерів форматом не менш ніж формат 4K Ultra HDHV (3840x2160) та об'єму прихованої інформації на рівні **30 %** від бітового об'єму відеокадру форматом Full HD (1920 x 1080)

- для швидкості каналу передачі даних 55 Мбіт/с - відео-контейнерів форматом не менш ніж 4K UHD (4128x3096) та об'єму прихованої інформації на рівні **10 %** від бітового об'єму відеокадру форматом 4K UHD (3840x2160)

3) для існуючих методів спільного застосування стеганографічних та компресійних перетворень з використанням послідовності достатньо-інформативних ВС не забезпечується потрібний рівень семантичної цілісності послідовності ВСС (рівень ПВСШ не перевищує 20 дБ)

4) для створеного методу ЗСК в умовах заданої стеганографічної ємності за швидкістю прихованого у послідовності кодованих ВС каналу передачі інформації відносно існуючих методів досягається за умов збільшення рівня ПВСШ на 15 дБ виграш в середньому в 2 рази;

5) для заданої стеганографічної ємності за рахунок збільшення швидкості прихованого у послідовності кодованих ВС каналу передачі даних для розробленого методу відносно існуючих створюються умови для прихованої доставки в реальному часі інформації об'ємом:

- для швидкості каналу передачі даних 25 Мбіт/с- **30 %** від Full HD (1920 x 1080);

- для швидкості каналу передачі даних 55 Мбіт/с - **10 %** від 4K UHD (3840 x 2160);

- для швидкості каналу передачі даних 100 Мбіт/с - **61 %** від Full HD (1920 x 1080) або **10 %** від 4K UHD; (4128 x 3096).

Це створює умови для приховування потрібної кількості значимих ВС для найбільш практичних форматів відеокадрів в процесі дистанційного моніторингу.

За викладеним матеріалом можна заключити те, що для створеного методу стеганокомпресійного кодування відносно існуючих методів вбудовування інформації із стисненням відео-контейнерів в умовах виключення втрат цілісності для санкціоновано-вилученої прихованої інформації досягається:

1) одночасне збільшення: швидкості стеганокомпресійного каналу в середньому в 2 рази; рівня семантичної цілісності відновленої послідовності ВС за показником ПВСШ в середньому на 15 дБ; підвищення рівня маскуванню прихованої у ВСК інформації у разі спроби несанкціонованого доступу в середньому на 10дБ. Це зумовлено тим, що: в процесі вбудовування інформації не відбувається порушення просторових позиційно-структурних залежностей та не скорочується кількість допустимої для усунення ПСВ надмірності; виключаються додаткові страти рівня семантичної цілісності. Звідси: втрати рівня стиснення не перевищують 7 % на відміну для існуючих методів таки втрати сягають 50 %; вигреш для розробленого методу за рівнем ПВСШ сягає в середньому 15 дБ;

2) вбудовування даних проводиться без внесення додаткових спотворень у ВСК. Звідси для встановленої стеганографічної ємності створюються умови щодо одночасної доставки в реальному часі:

- для швидкості каналу передачі даних 25 Мбіт/с- відео-контейнерів форматом не менш ніж формат 4K Ultra HDHV (3840x2160) та об'єму прихованої інформації на рівні 30 % від бітового об'єму відеокадру форматом Full HD (1920 x 1080);

- для швидкості каналу передачі даних 55 Мбіт/с - відео-контейнерів форматом не менш ніж 4K UHD (4128x3096) та об'єму прихованої інформації на рівні 10 % від бітового об'єму відеокадру форматом 4K UHD (3840x2160);

3) можливість для приховування потрібної кількості значимих ВС для найбільш практичних форматів відеокадрів в процесі дистанційного моніторингу.

Висновки за четвертим розділом

1. Стверджено, що існує асоціативна відповідність значень інформативної ваги та його складових, які визначаються за створеною моделлю оцінювання та експертних оцінок щодо визначення ділянок за складністю їх структурно-семантичного змісту. Такий збіг створює умови щодо :

- визначення моделі оцінювання інформативної ваги відеосегментів, як такої, що є адекватною.

- подальшої можливості використання значень інформативної ваги для адаптивної технології стеганокompresійного перетворення типізованої послідовності ВС.

2. Для розробленого методу стеганокompresійних перетворень відносно існуючих методів стисення з вбудовуванням інформації забезпечуються наступні переваги:

2.1. Додаткова кількість типових операцій, яка в середньому приходить на один елемент прихованого повідомлення, буде меншої ніж 1. Тобто складність обчислювальних операцій на вбудовування елементів для створеного методу ЗСК буде меншої ніж лінійна.

2.2. Рівень стисення за умов забезпечення потрібного рівня семантичної цілісності $\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$ в залежності від рівня інформативності за СТС описом приймає наступні значення: для значного рівня - 2; для середнього рівня - 4,5; для незначного рівня - 12.

2.3 Рівень стисення перевищує рівень стисення методів JPEG (без вбудовування даних) в середньому від 7 до 15 % в залежності від рівня інформативності ВС та їх семантичної цілісності.

2.4. Рівень стеганографічної ємності перевищує в 2 рази СТЄМ існуючих методів практичного використання. При цьому на відміну від існуючих методів виключаються стеганографічні втрати цілісності ЗВКР та зменшуються втрати рівня стисення в середньому від 7 до 15% в залежності

від рівня інформативності ВС за СТС змістом за умов потрібного рівня семантичної цілісності ЗВКР.

2.5. Відносно методу МСПВ (існуючі методи спільного застосування стеганографічних та компресійних перетворень) досягається вииграш одночасно за: збільшенням швидкості стеганокомпресійного каналу передачі даних з використанням бортових ІКС в середньому в 2 рази; збільшення рівня семантичної цілісності відновленої послідовності ВС в середньому на 15 дБ; підвищення рівня маскування прихованої у ВСК інформації у разі спроби несанкціонованого доступу в середньому на 10дБ.

2.6. Відносно методів стандартизованих платформ без вбудовування інформації забезпечується перевага за швидкістю передачі даних середньому від 10 – 30% в залежності від рівня інформативності ВС.

2.7. В умовах заданої стеганографічної ємності за швидкістю прихованого у послідовності кодованих ВС каналу передачі інформації відносно існуючих методів досягається за умов збільшення рівня ПВСШ на 15 дБ вииграш в середньому в 2 рази.

2.8. Для заданої стеганографічної ємності за рахунок збільшення в 2,5 рази швидкості прихованого у послідовності кодованих ВС каналу передачі даних для розробленого методу відносно існуючих створюються умови для прихованої доставки в реальному часі інформації об'ємом: для швидкості каналу передачі даних 25 Мбіт/с- 30 % від Full HD (1920 x 1080); для швидкості каналу передачі даних 55 Мбіт/с - 10 % від 4K UHD (3840 x 2160); для швидкості каналу передачі даних 100 Мбіт/с - 61 % від Full HD (1920 x 1080) або 10 % від 4K UHD; (4128 x 3096).

Основні результати науково-прикладних досліджень четвертого розділу дисертації апробовано та опубліковано в наступних наукових працях [3; 6 – 10; 14; 33; 40, 53; 58].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена *науково-прикладна задача*, яка полягає в підвищенні швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу передачі вбудованих повідомлень для заданих властивостей відеосервісів з використанням бортових інфокомунікаційних систем. Створено змішане стеганокомпресійне кодування в форматованому стегано-поліадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості ППК надмірності. Розроблено стратегію диференційного стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом (перший ситуаційний варіант).

Для вирішення сформульованої задачі необхідно усунути наступну суперечність, що виникає в процесі сумісного використання стеганографічних та компресійних перетворень:

1) з одного боку існуючі ІКТ кодування створюються без врахування можливості прихованого вбудовування повідомлень у послідовність ВС;

2) з іншого боку теоретична база сучасних стеганографічних перетворень не в повній мірі враховує технологічні особливості процесів скорочення кількості надмірності та кодування, а саме:

- в основному для вбудовування інформації враховуються ПСВ залежності для ВС;

- основна частина методів СТП супроводжується: внесенням спотворень щодо візуального оцінювання якості ВС; скороченням частини від загальної кількості допустимої ПСВ надмірності; порушенням (руйнуванням) СТС залежностей ВС, які визначають кількість допустимої для скорочення відповідних видів надмірності;

- в процесі СТП не враховуються: наявні особливості та рівень інформативності СТС змісту ВСК; структурні та статистичні залежності у ВСК.

- для більшості методів безпосереднє вбудовування інформації здійснюється шляхом модифікації на бітового представлення елементів ЗВКР. В цьому випадку потрібні додаткові часові витрати на їх бінарзацію.

Для локалізації означеного системного протиріччя *пропонується* створювати:

1) технологічний механізм для ідентифікації сегментів за складністю їх структурно-топологічного змісту. Відповідно оцінюється потенціал реалізації компресійних та стеганографічних властивостей ВС;

2) метод компресійного кодування ВС з вбудовуванням прихованої інформації з наступними технологічними характеристиками:

- зменшити долю кількості ПСВ надмірності в сумарному результаті щодо забезпечення рівня стиснення ЗВКР та стеганографічної ємності вбудованих даних;

- забезпечити в процесі компресії та стеганографічних перетворень врахування структурно-комбінаторних залежностей для ВС та їх перехідних форматів синтаксичного опису;

- створити підходи щодо здійснення вбудовування прихованої інформації безпосередньо в динаміці реалізації процесу кодування та створення поточного формату синтаксичного опису ВС;

- адаптуватися за рівнем скорочення кількості надмірності та об'єму вбудованих даних відповідно до рівня СТС інформативності ВС.

Таким чином, *мета дисертаційних досліджень* стосується розробки методу стеганокомпресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегменті-контейнері.

Основні наукові результати:

1. Розроблено метод контейнерної типізації відеосегментів на основі їх ідентифікації шляхом визначення інформативної ваги за рівнем складності структурно-семантичного змісту. Метод базується на встановленні та

кількісної компіляції інформативної ваги з врахуванням локально-інтегрованих структурних залежностей в позиційному просторі ВС, а саме:

- визначення інформативної ваги з врахуванням значимих змін в семантичному змісті відеосегменту за такими структурними ознакам, як частота та амплітуда флуктуацій (кількість яскравісних перепадів та діапазон флуктуації) в позиційному просторі ВС. Такий підхід щодо знаходження метрики позначається, як посилене флуктуації (*fluctuations*) за її амплітудою;

- встановлення кількісної залежності (вирішального правила) між рівнем інформативності ВС за структурно-семантичним змістом та його локально-інтегрованою вагою (яка визначається в процесі встановлення та компіляції складності його семантичного змісту за структурними локально-інтегрованими ознаками).

2. Створено метод форматування розширеного стегано-поліадичного базису з маскуванням прихованої інформації в умовах неавторизованого доступу (стеганоатак). Включає дві базові технології:

- розширення та форматування базового поліадичного базису
- змішане СК-маскування базового поліадичного базису, включно: маскуванню базового ПБ під форматований СППБ; маскуванню базового ПБ для реалізації непрямого приховування інформації.

3. Створено стеганокомпресійне кодування в форматovanому стегано-поліадичному базисі на основі врахування допустимої для скорочення кількості ППК надмірності. В цьому випадку в процесі компресії складових ВС організується безпосередня вбудовування прихованої інформації. Приховування інформації здійснюється трьома технологічними етапами в залежності від компресійного перетворення перехідного синтаксису стегано-ППЧ, а саме:

- 1) безпосереднє додавання елемента приховуємого повідомлення до позиційно-поліадичного числа. Відповідно утворюється форматоване стегано-ППЧ в ФСПБ;

2) технологія двокаскадної імплементації доданих до СППЧ елементів приховуємого повідомлення до синтаксису стеганокомпресійного представлення складових ВС, тобто:

- імплементація в стегано-кодівому значенні СППЧ в форматіваному РСРБ базисі – стеганокомпресійне кодування в форматіваному стегано-поліадичному базисі (розширене позиційне кодування в форматіваному стегано-поліадичному базисі);

- імплементація в двійковому синтаксичному описі стегано-кодівих значень СППЧ – формування СК-кодограм. Тут здійснюється імплементація прихованої інформації на рівні формування двійкового синтаксису СК-представлення складових ВС через блокове двійкове декодування (розміщення) стегано-кодівих значень СППЧ в ФСПБ.

4. Розроблено зворотний процес стеганокомпресійних перетворень з виключенням додаткових (надлишкових) відомостей, який враховує умови авторизації (політики доступ) та базується на двошаровій концепції:

- 1) технологічні функції першого шару забезпечують *маскований режим* відновлення елементів відеосегментів за вилученим з СК-кодограми стегано-кодівим значенням в маскованому базовому поліадичному базисі;

- 2) технологічні функції другого шару реалізують демаскований режим, який без втрати синтаксичної цілісності забезпечує:

- а) відновлення ВС на основі масковано-залежного позиційного декодування стегано-кодівих значень в форматіваному РСРБ;

- б) змішане стеганокомпресійне декодування прихованої інформації.

5. Розроблено стратегію диференційного стеганокомпресійного кодування послідовності відеосегментів в залежності від рівня їх інформативності за структурно-семантичним змістом (перший ситуаційний варіант). Базовими технологічними компонентами є наступні:

- 1) змішане стеганокомпресійне кодування на основі позиційних систем з використанням сегано-форматованого диференціально-поліадич-

ного базису для відеосегментів з високим потенціалом щодо встановлення просторових позиційно-комбінаторних залежностей;

2) змішане стеганокомпресійне кодування з попередньою трансформацією відеосегментів з обмеженим рівнем інформативності за структурно-семантичним змістом до спектральноадичного простору з врахуванням прямої функціональної залежності позиційно-комбінаторної ваги від позиції в числі;

3) для відеосегментів з низьким рівнем допустимої до скорочення кількості ПСВ надмірності - стеганокомпресійні перетворення в спектральноадичному базисі на основі: врахування зворотної функціональної залежності позиційно-комбінаторної ваги від позиції в числі; додаткового маскування спектральноадичного базису для непрямого приховування елементу шляхом компенсації корегованої компоненти.

7. Дисертаційні дослідження проводились в рамках НДР “Розроблення методів і засобів обробки ансамблю сигналів і розпізнавання радіовипромінюючих джерел та об’єктів в умовах апріорної невизначеності ” ДРН №0119U001406.

8. Результати досліджень прийняті до впровадження в: ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС» (акт реалізації від 19.10.2023 р.); ТОВ «Одеський авіаційний завод» (акт реалізації від 11.12.2023 р.).

9. Таким чином, мета дослідження щодо розробки методу стеганокомпресійних перетворень для підвищення швидкості прихованого у кодованому відеопотоці каналу вбудованої інформації на основі врахування інформативності та структурних залежностей у відео сегменті-контейнері досягнута і всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати є внеском у розвиток методів підвищення швидкості прихованого каналу передачі інформації з використанням інфокомунікаційних систем.

10. Основні результати дисертаційних досліджень можуть бути впровадженні в системах надання дистанційних відеоінформаційних сервісів з використанням інфокомунікаційних систем в процесі управління

критичною інфраструктурою та оборонною сферою держави в умовах воєнного часу.

Основні практичні результати дослідження:

1. Стверджено, що існує асоціативна відповідність значень інформативної ваги та його складових, які визначаються за створеним методом оцінювання та експертних оцінок щодо визначення ділянок за складністю їх структурно-семантичного змісту. Такий збіг створює умови щодо: визначення моделі оцінювання інформативної ваги відеосегментів, як такої, що є адекватною; подальшої можливості використання значень інформативної ваги для адаптивної технології стеганокомпресійного перетворення типізованої послідовності ВС.

2. Для розробленого методу стеганокомпресійних перетворень за умов його інсталяції до стандартизованих платформ відносно існуючих методів стиснення з вбудовуванням інформації забезпечуються наступні переваги:

2.1. Додаткова кількість типових операцій, яка в середньому приходить на один елемент прихованого повідомлення, буде меншої ніж 1. Тобто складність обчислювальних операцій на вбудовування елементів для створеного методу ЗСК буде меншої ніж лінійна.

2.2. Рівень стиснення за умов забезпечення потрібного рівня семантичної цілісності $\rho_{\text{real}} \geq \rho_{\text{nes}}$ в залежності від рівня інформативності за СТС описом приймає наступні значення: для значного рівня - 2; для середнього рівня - 4,5; для незначного рівня - 12.

2.3 Рівень стиснення перевищує рівень стиснення методів JPEG (без вбудовування даних) в середньому від 7 до 15 % в залежності від рівня інформативності ВС та їх семантичної цілісності.

2.4. Рівень стеганографічної ємності перевищує в 2 рази СТЕМ існуючих методів практичного використання. При цьому на відміну від існуючих методів виключаються стеганографічні втрати цілісності ЗВКР та зменшуються втрати рівня стиснення в середньому від 7 до 15% в залежності

від рівня інформативності ВС за СТС змістом за умов потрібного рівня семантичної цілісності ЗВКР.

2.5. Відносно методу МСПВ (існуючі методи спільного застосування стеганографічних та компресійних перетворень) досягається виграш одночасно за: збільшенням швидкості стеганокомпресійного каналу передачі даних з використанням бортових ІКС в середньому в 2 рази; збільшення рівня семантичної цілісності відновленої послідовності ВС в середньому на 15 дБ; підвищення рівня маскування прихованої у ВСК інформації у разі спроби несанкціонованого доступу в середньому на 10дБ.

2.6. Відносно методів стандартизованих платформ без вбудовування інформації забезпечується перевага за швидкістю передачі даних середньому від 10 – 30% в залежності від рівня інформативності ВС.

2.7. В умовах заданої стеганографічної ємності за швидкістю прихованого у послідовності кодованих ВС каналу передачі інформації відносно існуючих методів досягається за умов збільшення рівня ПВСШ на 15 дБ виграш в середньому в 2 рази.

2.8. Для заданої стеганографічної ємності за рахунок збільшення в 2,5 рази швидкості прихованого у послідовності кодованих ВС каналу передачі даних для розробленого методу відносно існуючих створюються умови для прихованої доставки в реальному часі інформації об'ємом: для швидкості каналу передачі даних 25 Мбіт/с- 30 % від Full HD (1920 x 1080); для швидкості каналу передачі даних 55 Мбіт/с - 10 % від 4K UHD (3840 x 2160); для швидкості каналу передачі даних 100 Мбіт/с - 61 % від Full HD (1920 x 1080) або 10 % від 4K UHD; (4128 x 3096).

Достовірність результатів щодо характеристик стеганокомпресійних перетворень підтверджується наступним:

- адекватність ідентифікації відеосегментів за рівнем інформативності їх СТС змісту ґрунтується на відповідності експертним оцінкам;
- встановлення відсутності втрат цілісності відео контейнерів та прихованої інформації на приймальній стороні під час її санкціонованого

відновлення та вилучення ґрунтується на використанні таких теоретично встановлених умов форматування та маскуваннн поліадичного базису, за яких забезпечується виключення додаткових спотворень в процесі вбудовування інформації;

- демаскування прихованої у ВС інформації у разі спроби несанкціонованого доступу забезпечується: на основі теоретично-доведених правил маскуваннн поліадичного базису, за яких досягається локалізація впливу вбудованої інформації на рівень семантичної цілісності відео-контейнерів в процесі їх несанкціонованого відновлення; несуперечністю теоретичних оцінок відносно результатів експериментів щодо відновлення відеокадрів за маскованим базисом;

- за рівнем стиснення послідовності ВС з вбудованою інформацією забезпечується: на основі збігу теоретичних оцінок втрат рівня стиснення за рахунок наявності прихованої інформації до результатів експериментальної обробки бортових відеокадрів з використанням програмного реалізації створеного методу;

- за швидкістю стеганокомпресійного та прихованого каналів передачі інформації забезпечується: адекватністю результатів математичного моделювання та експериментальним даним, що отримані на основі обробки бортових відеокадрів з використанням створеного програмного продукту; коретним використанням теоретичних основ щодо побудови позиційних кодових систем.

Результати дисертаційної роботи доцільно використати:

- в процесі організації інформаційного забезпечення процесів управління та функціонування систем критичної інфраструктури в умовах кризових ситуацій та воєнного стану;

- в інфокомунікаційних системах для підвищення захисту спеціальної інформації за умов забезпечення потрібного рівня оперативності та цілісності доставки відео-контейнерних ресурсів;

- в комплексних системах захисту інформації для доаक्टвовго

підвищення рівня конфіденційності;

- в системах надання дистанційних відеосервісів з використанням БПП для забезпечення їх властивостей в умовах підвищення рівня захисту значимої (спеціальної) інформації;

- в системах відео конференційного зв'язку в процесі управління в інтересах Сил оборони та безпеки України;

- при проведенні конструкторських та науково-дослідних робіт зі створення нових технічних та програмних засобів для забезпечення потрібного рівня оперативності та цілісності доставки інформації за умов її захисту щодо несанкціонованого доступу;

- при викладанні навчальних дисциплін з проектування інфокомунікаційних систем; мультимедійної обробки; 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. Алімпієв А.М. Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні / А.М. Алімпієв, В.В. Бараннік, Т.В. Белікова, С.О. Сідченко // Системи обробки інформації. – Харків: ХНУПС, 2017. – Вип. 4(150). – С. 113-121.
3. Бараннік Д.В., Бекіров А.Е., Бараннік В.В. Основы теории структурно-комбинаторного стеганографического кодирования: монография. – Харків.: Видавництво «Лідер», 2017. – 256 с.
4. Баранник Д.В. Анализ возможности использования маскирования при выявлении областей для стеганографического встраивания // Научные технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: коллективная монография [под редакцией В.В. Баранника, В.М.Безрука]. – Х.: ТОВ «Видавництво «Лідер»», 2017. – С. 375 - 389.
5. Бараннік Д.В. Метод стеганокомпресійного декодування інформації для бездротових інфокомунікаційних технологій // Наукоємні технології. – 2024. - №1. – С. 29 – 35.
6. Бараннік Д.В. Метод двокаскадної імплантації прихованої інформації на основі стеганокомпресійних перетворень // Інформаційні технології та електронна інженерія. – 2024. - №1. – С. 31 – 38.
7. Бараннік Д.В. Технологія стеганографічних перетворень в поліадичному базисі відеосегментів // Сучасна спеціальна техніка. – 2023. - №4. – С. 17 – 24.

8. Бараннік Д.В. Технологія приховування інформативного контенту в динамічному потоці відеосегментів // Наукоємні технології. – 2023. - №4. – С. 408-415. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.60.18270>.

9. Бараннік Д.В. Методологія створення стеганокомпресійних систем на основі поліадичного базису // Сучасна спеціальна техніка. – 2023. - №3. – С. 25 – 35.

10. Бараннік Д.В. Метод стеганокомпресійного кодування на основі поліадичного базису // Наукоємні технології. – 2023. - №3. – С. 271-279. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.59.17948>

11. Баранник В. В., Поляков В. П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. Харьков: ХУПС, 2010. 234 с.

12. Баранник В.В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, О.С. Куліца // Монографія. – Черкасси, 2015. – 143 с.

13. 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.

14. Бараннік Д.В., Твердохліб В.В., Колесник В.О., Бараннік В.В., Бараннік Н.В., Онищенко Р.С. Метод стеганографічного захисту даних з урахуванням особливостей змісту фрагментів контейнерів графічного типу // Сучасна спеціальна техніка. – 2021. - №4. – С. 25 – 33.

15. Баранник Д.В., Шатун О.Н., Баранник В.В. Метод непрямого стеганографічного вбудовування даних в зображення-контейнер з урахуванням інформації контуру // Наукоємні технології. – 2018. – №2. – С. 232-239. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.38.12828>

16. Бараннік Д. В., Сорокун А. Д., Дворський М. В., Бараннік В. В. Вдосконалення методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в

системі відеоконференцзв'язку // Наукоємні технології. – 2018. - № 3. – С. 294-300.

17. Бараннік Д.В., Сидченко С.А. Метод криптосемантичного представлення зображень на основі плаваючої схеми системи поліадичного кодування в диференціальному базисі // Наукоємні технології. – 2017. - №1. – С. 46 – 52.

18. Бараннік Д.В., Тарнополов Р.В., Бараннік В.В., Хаханова Г.В. Метод підвищення оперативності та конфіденційності відеоданих в інфокомунікаційних технологіях // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. - №4. – С. 59-61.

19. Баранник Д.В., Бекиров А.Э. Концепция структурного стеганографического кодирования с маскированием // АСУ та прилади автоматики. - 2014. - Вип.168. - С. 4 - 11

20. Бекиров А.Э., Баранник Д.В., Баранник В.В. Стеганографическая система на основе неравновесного позиционного кодирования // Радиоелектроніка та інформатика. - 2014. - №4. - С. 39 – 45.

21. Бараннік Д. В.,(2019) “Метод захисту інформації на основі структурного стеганографічного кодування з виявленням контурної інформації”, пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 123 - Комп'ютерна інженерія / Д. В. Бараннік ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2019. – 137 с.

22. Білинський Й.Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах. Вінниця: ВНТУ, 2010. - 272 с.

23. Богуш В. М. Інформаційна безпека держави [Текст] / В. М. Богуш. – К. : МК-Прес, 2015. – 432 с.

24. Бурячок В.Л. Основи формування державної системи кібернетичної безпеки: Монографія. К.:НАУ, 2013. 432 с.

25. Бурячок В. Л., Семко В. В., Тольопа С. В., Складанний П. М. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі. *Радіоелектроніка та телекомунікації*: 2015. С. 151–155.
26. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебн. пособ, 1988. 480 с.
27. 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.
28. Жураковський Б.Ю. Аналіз кількості алгоритмів стиснення у каскаді при використанні каскадних методів. Сучасний захист інформації. 2015. № 1. С. 56-61.
29. Задирака В.К., Кудин А.М. Особенности реализации криптографических и стеганографических систем по принципу облачных вычислительных технологий // Штучний інтелект. – 2012. - №3. – С. 438 – 444.
30. Задирака В.К., Кудин А.М., Швидченко И.В. Стеганография в облачных информационно-коммуникационных системах // Компьютерная математика. – 2014. - №1. – С. 56 – 60.
31. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях: Наука, 1989. 496 с.
32. Ільяшов О.А. До питання захисту інформаційно-телекомунікаційної сфери від стороннього кібернетичного впливу / О.А. Ільяшов, В.Л. Бурячок // Наука и оборона. – 2010. – №4. – С.35 – 41.
33. Колесник В.О., Бараннік Д.В., Бараннік В.В., Шульгін С.С., Заїчко К.В. Метод виявлення та обробки значимої інформації в просторово-часовій області відеознімку // Сучасна спеціальна техніка. – 2022. - №3. – С. 20 – 31.
34. Конахович Г.Ф. Компьютерна стеганографія. Теорія та практика [Текст] / Конахович Г.Ф., А. Ю. Пузиренко - Київ : МК - Пресс, 2016. - 288 с.
35. Конахович Г.Ф. Оценка эффективности методов стеганографического встраивания информации в спектральную область

ізображень / Г.Ф. Конахович // АСУ та прилади автоматики. - 2014. - Вип.168. - С. 23 - 29.

36. Конахович Г.Ф., Прогонов Д.О., Пузиренко О.Ю. Комп'ютерна стеганографічна обробка й аналіз мультимедійних даних: підручник. Київ: «Центр учбової літератури», 2018. 558 с

37. Конахович Г.Ф. Сучасні методи квантової стеганографії / Г.Ф. Конахович, О.В. Шевченко, В.М. Кінзереви́й, Ю.Е. Хохлачова // Захист інформації – №2 (51), 2011.- С.5-9.

38. Королев А.В. Метод комплексной обработки изображений / А.В. Королев, В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 5. – С. 10 – 17.

39. Красноруцкий А.А., Баранник Д.В., Шульгин С.С., Хаханова А.В., Метод определения сильно информативных сегментов аэрофотоснимка // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2018. - №1, pp. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.1.02>

40. Бараннік Д.В., Оніщенко Р.С., Ревва К.В., Бараннік В.В., Бабенко Ю.М. Метод оцінювання ефективності усічено-позиційного кодування для інфокомунікаційних систем // Наукоємні технології. – 2024. - №1. – С. 29 – 35.

41. Кобозєва, А. А., & Соколов, А. В. (2023). Стеганографічний метод з кодовим управлінням вбудовуванням інформації на основі багаторівневих кодових слів. *Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка*, 66(4), 205–222. <https://doi.org/10.20535/S0021347023040052>

42. 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.

43. Лукин В. В., Комолов Д. И., Власов А. В. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. *Радиоэлектроника и информатика*. 2013. № 2. С. 44–48.

44. Патент на корисну модель № 144599, Україна, МПК G06F 15/00, G06F 17/00 Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення

інформаційної інтенсивності відеопотоку / Бараннік Д.В., Хіменко В.В., Куліца О.С., Твердохліб В.В., Фустій В.С. та ін. - № u201400644; заяв. 13.10.2020; опубл. 25.06.2014; Бюл. № 12. - 6 с.

45. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: книга в 2 т. / Пер. с англ. Мір, 1985. 736 с.

46. 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.

47. Свириденко В. А. Анализ систем со сжатием данных. Связь, 1978. 183с.

48. Стасюк О.І. Сучасні стеганографічні методи захисту інформації / Стасюк О.І., Гнатюк С.О., Довгич Н.І., Літош М.С. // *Захист інформації*. – 2011. - №1(50). – С.56-63.

49. Хорошко В.О. Основы компьютерной стеганографии: Учебное пособие для студентов и аспирантов / Азаров О.Д., Шелест М.Э - Винница: ВДТУ, 2003.-143 с.

50. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике: учебник. изд. иностр. лит., 1963. 793 с.

51. Указ Президента України №47/2017 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року «Про Доктрину інформаційної безпеки України».

52. Ai D., Jiang G., Lam S.-K., He P., Li C., “Computer vision framework for crack detection of civil infrastructure – A review,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 117, part A, 105478, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105478>.

53. Barannik D. "Stegano-Compression Coding in a Non-Equalible Positional Base," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 83-86, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349328.

54. 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.

55. Barannik D., Babenko Y., Hahanova A., Karpiński M., Shaikhanova A., Shmakov V., Smailova B., Veselska O., Yroshenko V. The Technology of Structural Classification of Video Frames in Intelligent Infocommunication 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.

56. Barannik D., Sidchenko S., Shulgin S., Barannik V., Barannik V., Datsun A. (2021). Devising a conceptual method for generating cryptocompression codograms of images without loss of information quality. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (2 (112)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237359>.

57. Barannik, D., Bekirov, A., Korotin, Barannik, V., S., Veselska, O., Wieclaw, L. (2020). Method of Safety of Informational Resources Utilizing the Indirect Steganography. In: Zawislak, S., Rysiński, J. (eds) Engineer of the XXI Century. EngineerXXI 2018. Mechanisms and Machine Science, vol 70. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_17.

58. Barannik D., Shatun O., Kobtseva V., Barannik V. Development of an indirect method of steganographic data hiding in the container image contour // Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ). – 2018. - Volume 8.– №4. – pp. 22 – 25. DOI: 10.5604/01.3001.0012.8016..

59. Barannik D., Ustymenko F., Hurzhii P., Barannik V., Manakov V. and Tsimura Y. "Method of Selective Video Segment Processing for Intelligent Video Image Quality Enhancement Technologies," 2023 IEEE 5th International

Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 217-220, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452422.

60. Barannik D., Tverdokhlib V., Kulitsa O., Chornomaz I., Savchuk M. and Parkhomenko M. "Method of Selective Steganographic Data Hiding Based on Graphic Containers," 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2022, pp. 499-502, doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9767014.

61. Barannik D., Sidchenko Y., Barannik V., Ignatyev O., Slobodyanyuk O. and Lazuta R., "Method of Masking Information in the Contours of Video Images," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 282-287, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628973.

62. Barannik D., Himenko V., Turenko S., Barannik N., Ignatyev O. and Matviichuk-Yudina O. "Model of Steganographic System Depending on Indirect Conditional Dependencies," 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2021, pp. 36-39, doi: 10.1109/ATIT54053.2021.9678547.

63. 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.

64. Barannik D., Barannik N. Barannik V. and "Indirect Steganographic Embedding Method Based on Modifications of the Basis of the Polyadic System," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 699-702, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.

65. Barannik D., Fustii, V., Tverdokhleb V., Slobodyanyuk O., Havrylov D. and Shevchenko I. "Evaluation the Potential Performance of the DCT-Transformants Non-Equilibrium Positional Encoding Method," 2019 IEEE

International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 41-44, doi: 10.1109/ATIT49449.2019.9030460.

66. Barannik D., Fustii V. Barannik V., and Parkhomenko M. "Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs," 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 415-418, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847820.

67. Barannik D., Shatun O., Dodukh O., Ryabukha Y. and Tverdokhle V. "The Indirect Method of Steganographic Embedding of Data in an Image Container Based on the Information of the Contour," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 490-494, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632155.

68. Barannik D., Bekirov A., Lekakh A. and Barannik V. "A steganographic method based on the modification of regions of the image with different saturation," 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2018, pp. 542-545, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336260.

69. Barannik D., Alimpiev A., Bekirov A., Barannik V. and Barannik N. "Detections of sustainable areas for steganographic embedding," 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Novi Sad, Serbia, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110028.

70. Barannik D., Suprun O., Bekirov A., Frolov O. "The new method of secure data transmission on the indirect steganography basis", 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, Armenia, 2016, pp. 1-4. DOI: 10.1109/EWDTS.2016.7807754.

71. Barannik D., "Method for Hiding Informative Content in a Dynamic Stream of Segments," 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv, Ukraine, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755687.

72. 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.

73. Bezruk V., Slobodyanyuk O., Krasnorutsky A., 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.

74. 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.

75. Bondžulić, B., Stojanović, N., Petrović, V., Pavlović, B. and Miličević, Z. (2021), "Efficient Prediction of the First Just Noticeable Difference Point for JPEG Compressed Images", Acta Polytechnica Hungarica, vol. 18(8), pp. 201–220, doi: <https://doi.org/10.12700/APH.18.8.2021.8.11>

76. Bondžulić, B.P., Pavlović, B.Z., Stojanović, N.M. and Petrović V.S. (2022), "Picture-wise just noticeable difference prediction model for JPEG image quality assessment", Vojnotehnicki glasnik, Military Technical Courier, vol. 70(1), pp. 62–86, doi: <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-34739>

77. Blau, Y. and Michaeli, T. (2019), "Rethinking lossy compression: The rate-distortion-perception tradeoff", International Conference on Machine Learning, PMLR, pp. 675–685, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.07821>

78. *Cryptographic and Information Security Approaches for Images and Videos [Text] / S. Ramakrishnan, et al. – CRC Press, 2018. – 962 p. DOI: 10.1201/9780429435461.*

79. 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.

80. 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>.

81. A. W. Chanda D'Layla, M. Nevin, G. G. Sunardi Putra, N. J. de La Croix and T. Ahmad, "Steganography in Grayscale Images: Improving the Quality of a Stego Image," 2023 3rd International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON), Bangalore, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SMARTGENCON60755.2023.10442310.

82. 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.

83. Chuan Qin, Xiaokang Qian, Wien Hong, Xinpeng Zhang, An efficient coding scheme for reversible data hiding in encrypted image with redundancy transfer, *Information Sciences*, Volume 487, 2019, Pages 176-192, ISSN 0020-0255, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.03.008>.

84. Cox I.J. Digital watermarking and steganography. / I.J Cox, M.L. Bloom, J.A. Fridrick, amd T. Kalkert. // USA: Morgan Kaufman Publishers, 2018, pp. 581-591.

85. 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.

86. 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.

87. Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8; ITU-T Recommendation T.807, 108 p. (2007).

88. Fortrini M Steganography and digital watermarking: A global view / M. Fortrini // University of California, Davis. Available: <http://lia.deis.unibo.it/Courses/RetiDiCalcolatori/Progetti00/fortini/project.pdf> [June 2011].

89. Fridrich J. Stegoanalysis of LSB encoding in color image / J. Fridrich, R. Du, M. Long // ICME, 2000.

90. Fridrich J. New blind steganalysis and its implication / J. Fridrich, G. Miroslav // Proc. SPIE Elec-tronic Imaging, 2006.

91. Fridrich J. Steganalysis of LSB encoding of Color Images / Fridrich J., Du R., Long M. // Proceedings of ICME 2000, New York City, July 31 – August 2, New York, USA.

92. 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.

93. Gonzalez R. C., Woods R. E., Digital Image Processing, fourth ed., Pearson, London, UK, 2018, 1192 p.

94. Helin, H., Tolonen, T., Ylinen, O., Tolonen, P., Näpänkangas, J. and Isola, J. (2018), “Optimized JPEG 2000 Compression for Efficient Storage of Histopathological Whole-Slide Images”, Journal of pathology informatics, vol. 9, 20, doi: https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_69_17

95. Hui T. An M-Sequence Based Steganography Model for Voice over IP / T. Hui, et al. // Communications, 2009. ICC’09. IEEE International Cinferece on 2009.

96. Hussain, J.A., Al-Fayadh, A. and Radi, N. (2018), “Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms”, Neurocomputing, vol. 300, pp. 44–69, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.094>

97. Kaptchuk G. , Jois T. M., Green M. , and Rubin A. D., “Meteor: Cryptographically secure steganography for realistic distributions,” in *Proceedings of the 2021 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 2021, pp. 1529–1548.
98. Kizza J. M., *Guide to Computer Network Security*; Springer: Cham, Switzerland, 2020, 569 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38141-7>.
99. 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.
100. 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.
101. Liao S., Jia C., Fan H., Yan J. and Ma S., "Rate-Quality Based Rate Control Model for Neural Video Compression," *ICASSP 2024 - 2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Seoul, Korea, Republic of, 2024, pp. 4215-4219, doi: 10.1109/ICASSP48485.2024.10447777.
102. Li, F. and Lukin, V. (2023), “Providing a Desired Compression Ratio for Better Portable Graphics Encoder of Color Images: Design and Analysis, Digitalization and Management Innovation”, *Proceedings of DMI 2022*, IOS Press, pp. 633–640, doi: <https://doi.org/10.3233/FAIA230063>
103. Li Z., Zhang M., Liu J., “Robust image steganography framework based on generative adversarial network,” *J. Electron. Imaging*, vol. 30, no. 02, 2021, doi: <https://doi.org/10.1117/1.JEI.30.2.023006>.
104. Liansheng, S., Zhi, P., Ying, C. *et al.* Reversible data hiding in encrypted images using multiple Huffman coding based on optimal block allocation. *Multimed Tools Appl* **83**, 34887–34911 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16966-7>

105. Lingfeng Qu, Mohan Li, Yanbin Sun, Shen Su, Yuan Liu, Lejun Zhang, Security analysis of a reversible data hiding scheme in encrypted images by redundant space transfer, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Volume 36, Issue 1, 2024, 101914, ISSN 1319-1578, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.101914>.

106. Medeni M.B. A novel Steganographic Protocol from Error-correcting Codes / M.B. Medeni, El.M Soudi // *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*. – 2010. –P.339-343.

107. Ozah, N. and Kolokolova, A. (2019), “Compression Improves Image Classification Accuracy. In *Advances in Artificial Intelligence*”, Meurs MJ, Rudzicz F Eds., *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, Cham., vol. 11489, pp. 525–530, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-18305-9_55

108. Pratt K. *Digital image processing: PIKS inside: third edition*. Inc., 2001. 738 p.

109. Ponomarenko Nikolay, Lina Jin, Ieremeiev Oleg, Lukin Vladimir, Egiazarian Karen, Jaakko Astola, Benoit Vozel, Kacem Chehdi, Marco Carli, Federica Battisti, C-C Jay Kuo *Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives // Signal Processing: Image Communication*, Volume 30, January 2015, Pages 57-77

110. Pratap Chandra Mandal, Imon Mukherjee, Goutam Paul, B.N. Chatterji, *Digital image steganography: A literature survey*, *Information Sciences*, Volume 609, 2022, Pages 1451-1488, ISSN 0020-0255, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.07.120>.

111. Provos N/ *Hide and Seek: An Introduction to Steganography* / N. Provos, P. Honeyman // *The IEEE Computer Security*, 2003.

112. Rahman M. A., Hamada M., “Lossless image compression techniques: A state-of-the-art survey,” *Symmetry*, vol. 11, 1274, 2019. <https://doi.org/10.3390/sym11101274>.

113. Radosavljević, M., Brkljač, B., Lugonja, P., Crnojević, V., Trpovski, Ž., Xiong, Z. and Vukobratović, D. (2020), “Lossy Compression of Multispectral Satellite Images with Application to Crop Thematic Mapping: A HEVC Comparative Study”, *Remote Sensing*, vol. 12, 1590, doi: <https://doi.org/10.3390/rs12101590>
114. Reisenhofer, R., Bosse, S., Kutyniok, G. and Wiegand, T. (2018), “Haar Wavelet-Based Perceptual Similarity Index for Image Quality Assessment”, *Signal Processing: Image Communication*, vol. 61, pp. 33–43, doi: <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.11.001>
115. Rybko B. Information-Theoretical Approach to Steganographic Systems / B. Rybko, D. Ryabko // Proc. IEEE International Symposium on Information Theory, Nice, France, 2017. P.2461-2464.
116. Sayood K., Introduction to Data Compression, fifth ed., Morgan Kaufman, 2017, 765 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809474-7.00019-7>.
117. Salomon D., Data compression, New York:Springer, 2004.
118. 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.
119. Seow J. W., Lim M. K., Phan R. C. W., Liu J. K., “A comprehensive overview of Deepfake: Generation, detection, datasets, and opportunities,” *Neurocomputing*, vol. 513, no. 7, pp. 351-371, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.09.135>.
120. Singh M., Singh A.K., “A comprehensive survey on encryption techniques for digital images,” *Multimed. Tools. Appl.*, vol. 82, pp. 11155–11187, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12791-6>.
121. Shahmoradi J., Talebi E., Roghanchi P., Hassanalian M. A., “Comprehensive Review of Applications of **Drone** Technology in the Mining Industry,” *Drones*, vol. 4, no. 3, 34, 2020. <https://doi.org/10.3390/drones4030034>.

122. Shi R., Wang Z., Hao Y. and Zhang X., "Steganography in Style Transfer," in *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, doi: 10.1109/TAI.2024.3379946.

123. Shi Y.-Q., Sun H., *Image and Video Compression for Multimedia Engineering*, CRC Press, Boca Raton, 2019, 576 p. <https://doi.org/10.1201/9781315097954>.

124. 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.

125. Wang Y.-H., Su W.-H., "Convolutional neural networks in computer vision for grain crop phenotyping: A review," *Agronomy*, vol. 12, 2659, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112659>.

126. Wang S., Zheng N., Xu M., "A compression resistant steganography based on differential Manchester code," *Symmetry*, vol. 13, no. 2, p. 165, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/sym13020165>.

127. Xiang Li, Xiaolong Li, Yao Zhao, Hsunfang Cho, Dual-domain joint optimization for universal JPEG steganography, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2024, 104151, ISSN 1047-3203, <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2024.104151>.

128. C. S. de Witt, S. Sokota, J. Z. Kolter, J. Foerster, and M. Strohmeier, "Perfectly secure steganography using minimum entropy coupling," *arXiv preprint arXiv:2210.14889*, 2022.

129. Yang Q., Zhang Y., Dai W., Pan S.J., *Transfer Learning*, first ed., Cambridge University Press, 2020, 390 p. <https://doi.org/10.1017/9781139061773>.

130. Ye, N., Perez-Ortiz, M. and Mantiuk, R.K. (2019), "Visibility Metric for Visually Lossless Image Compression", 2019 Picture Coding Symposium (PCS) [Internet], Ningbo, China IEEE; 2019 [cited 2023 Sep 4], pp. 1–5, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8954560/>

131. Zhang, T., Zhang, J., Zou, Y., Zhang, Y. (2024). High Capacity Reversible Data Hiding in Encrypted Images Based on Pixel Value Preprocessing and Block Classification. In: Rudinac, S., *et al.* MultiMedia Modeling. MMM 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 14555. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53308-2_2
132. Zhang L., Li H., SR-SIM: a fast and high performance IQA index based on spectral residual, in: 19th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Orlando, USA, 2012, pp. 1473–1476.
133. Zhifeng Fu, Xiuli Chai, Zongwei Tang, Xin He, Zhihua Gan, Gongyao Cao, Adaptive embedding combining LBE and IBBE for high-capacity reversible data hiding in encrypted images, *Signal Processing*, Volume 216, 2024, 109299, ISSN 0165-1684, <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2023.109299>.
134. Zolfaghari B., Koshiba T., “Chaotic image encryption: State-of-the-art, ecosystem, and future roadmap,” *Applied System Innovation*, vol. 5, no. 3, 57, 2022. <https://doi.org/10.3390/asi5030057>.
135. Aouladhadj, Driss, et al. "Drone Detection and Tracking Using RF Identification Signals." *Sensors* 23.17 (2023): 7650. <https://doi.org/10.3390/s23177650>.
136. Taylor, Aaron. "A Digital Forensics Case Study of the DJI Mini 3 Pro and DJI RC." *arXiv preprint arXiv:2309.10487* (2023). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.10487>
137. Waldmann N. DJI OcuSync 2.0 / 3.0 / O3+ / O3 Pro / O4: Der ultimative OcuSync & Lightbridge Guide. [Online; Accessed 23-04-2024] URL: <https://www.drone-zone.de/dji-ocusync-2-0-der-ultimative-ocusync-lightbridge-guide>.