

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Прим. № ____

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПАРХОМЕНКО МАКСИМ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.327: 681.5

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОД КОДУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІТОВОЇ ШВИДКОСТІ
ДИНАМІЧНОГО ВІДЕОРЕСУРСУ В ІНФОРМАЦІЙНО-
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

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

М.В. ПАРХОМЕНКО

Науковий керівник

Мачалін Ігор Олексійович,

доктор технічних наук, професор

Київ – 2021 рік

АНОТАЦІЯ

Пархоменко М.В. Метод кодування для підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу в інформаційно-телекомунікаційних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 "Телекомунікаційні системи та мережі". – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача щодо підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу в інформаційно-телекомунікаційних системах в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури. Обґрунтовано важливість застосування концепції дистанційного відеоінформаційного забезпечення з використанням стаціонарних та мобільних технологічних платформ для систем управління об'єктами критичної інфраструктури. Показано, що в процесі інформаційного забезпечення систем управління об'єктами КІФ виникає протиріччя між з одного боку вимогами щодо якості надання динамічних відеосервісів в дистанційному режимі, а з іншого боку обмеженими пропусковими спроможностями сучасних бездротових ІТКС. Виявлено проблемні недоліки існуючих концепцій побудови стандартизованих ІТОДВ. Проведено обґрунтування того, що для удосконалення ІТОДВ пропонується використовувати технологічний підхід, який базується на обробці послідовності кадрів ДВІР з використанням структурно-комбінаторного підходу, який враховує наявність значної кількості відповідної міжкадрової надмірності. Стверджено необхідність представлення послідовності передбачених кадрів у вигляді сукупностей фрейм-сплайнових тензорів, які складаються з динамічної послідовності сукупностей параметрів структурних сплайнів спектрально-диференційованих блоків. Викладено основні етапи створення структурно-комбінаторного підходу для кодування динамічної послідовності передбачених

кадрів на основі представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів в мультіадичному базисному просторі. Надаються основні складові побудови моделі оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності передбачених кадрів в мультіадичному базисі. Викладається розробка методу динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного кодування в напрямку їх фреймів з врахуванням: виявлення структурних обмежень одночасного за двома напрямками відносно границь динамічних діапазонів. Викладаються основні етапи створення технологічної концепції інтегрування методів обробки В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів.

Наукова новизна отриманих результатів.

У рамках дисертаційної роботи отримані основні результати, що мають наукову новизну:

1. Отримала подальше вдосконалення модель оцінки інформативності представлення послідовності передбачених кадрів на основі їх спектрально-диференційованого опису .

2. Вперше розроблено метод структурного нормування фрейм-сплайнових тензорів на основі технології декомпозиції фреймів.

3. Вперше розроблено метод кодування послідовності передбачених відеокадрів на основі формування спектрально-диференційованих блоків.

4. Удосконалено інформаційну технологію обробки та передачі відеоінформаційного ресурсу на основі інтегрування процесу кодування послідовності В-Ркадрів в фрейм-сплайновому просторі.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю в положеннях теорії і практики методів ефективного кодування динамічних відеоресурсів.

Практичне значення отриманих результатів.

Інтеграція розроблених методів ефективного кодування послідовності передбачених кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічного відеоресурсу з використанням бездротових ІТКС забезпечує:

1) підвищення реальної інформаційної швидкості ДВІР щодо існуючих кодеків, реалізованих в стандартних інформаційних технологіях обробки потоку кадрів, в середньому від 17 до 27 %;

2) зниження дисбалансу між інформаційною інтенсивністю відеопотоку і швидкістю передачі в мережі в середньому на 21 %. Це забезпечує можливість:

- використовувати для передачі динамічного відеоресурсу інформаційно-телекомунікаційних технології з нижчою пропускнуою спроможністю, а саме на рівні 2 – 10 Мбіт/с;

- підвищити достовірність ДВІР для заданого рівня його повноти та інформаційної швидкості, а саме щодо збільшення рівня ПВСШ з 26 до 37 дБ.

Ключові слова: динамічний відеоресурс; інформаційна швидкість; послідовність передбачених кадрів; структурно-комбінаторна надмірність; диференційовано-спектральний опис; структурний сплайн; фрейм-сплайнові тензори; сукупність позиційних координат; змішаний мультіадичний простір.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Barannik V., Parkhomenko M., Azatov A., Tupytsya I., Pershin A., Gurzhii P., Shaikhanova A., Karpiński M. The concept of a quantitative sign formation for the internal restructuring of information resource data. *Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji* 2020, *Monograph*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, 11 grudnia 2020, pp.41-52.

(Scopus)

2. Бараннік Н.В., Пархоменко М.В. Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Ерошенко В.П., Піскун Я.А. Метод підвищення ефективності розмежування

доступу до автоматизованих систем управління спеціального призначення // *Радиоелектроника и информатика*. 2019. №4. С. 34–37.

3. V. Barannik, M. Parkhomenko, O. Yudin, A. Sorokun, V. Himenko: Development of a Method of Encoding a Significant Coordinate Brightness Component of a Video Image. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), Aachen, Germany, ISSN 1613-0073, August 19, 2020, Vol-2654, pp. 194-203, online CEUR-WS.org/Vol-2654/paper15.pdf.. (**Scopus**).

4. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Хаханова А.В., Бараннік Н.В. Технологія кодування послідовності фрейм-сплайнових тензорів для підвищення ефективності обробки динамічного відеоресурсу // *Радиоелектроника и информатика*. 2020. №2. С. 34–42.

5. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Гаврилов Д.С., Шульгін С.С., Ерошенко В. Можливість застосування методів арифметичного кодування в системах криптографічного захисту інформації / *Безпека інформації*. – 2020. №3. С. 156 – 167.

6. Пархоменко М.В. Метод кодування позиційних координат фрейм-сплайнового тензору в змішаному мультіадичному просторі // *Наукоємні технології*. – 2020. №4. С. 22 – 30.

7. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Бараннік Н.В., Хаханова Г.В. Метод кодування послідовності кадрів для забезпечення доступності та цілісності динамічного відеоресурсу // *Захист інформації*. – 2020. №4. С. 35 – 44.

8. Пархоменко М.В., Мусієнко О.П., Тупиця І.М., Коломієць В.Д., Бойко Б.І. Розробка імітаційної моделі оцінки методу захисту каналів командно-телеметричної інформації від інформаційної протидії противника. *Системи озброєння і військова техніка*. - 2020. № 4(64). С. 101-106..

9. Barannik N.V., Parkhomenko M.V., Slobodyanyuk A.V., Hahanova G.V., Himenko V.V. A method of code of sequence of shots is for providing of

availability and integrity of dynamic videoresource // *Радиоелектроника и информатика*. 2020. №3. С. 19–25.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Бараннік Д.В. та інш. Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку, Н03М 7/30, Н03М 13/00. Патент на корисну модель UA 144599 U України, № u 2020 0296, заявл. 18.05.2020, опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19/2020.

11. Barannik V., Parkhomenko M., Tupitsya I., Dodukh O., Barannik V. The Clustering Method to the Information Resource Data According to the Sign of the Number of Series of Units as a Tool to Improve the Statistical Coding Efficiency. *Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM'2019)*: 15th IEEE Intern. Conf. (Polyana, Ukraine, 26 February - 2 March). Polyana, 2019. P. 32-35. **(Scopus)**

12. Пархоменко М. В. Особливості застосування засобів автоматизації під час використання літаків винищувальної авіації. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: збірник тез доповідей XV Міжнар. наук. конф. (Харків, 10-11 квіт. 2019 р.). Харків: ХНУПС, 2019. С. 73-74.

13. Бараннік В. В., Пархоменко М.В., Фустій В. С. Оцінка ефективності методів маскуванню аерофотографій. *Наукоємні технології в інфокомунікаціях (НИСТ'2019)*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кам'янець – Подільський, 23-25 трав. 2019 р.). Кам'янець – Подільський: ХНУПС, КПНУ, ХНУРЕ, 2019. С. 24-25.

14. Barannik V., Parkhomenko M., Barannik D., Fustii V. Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT'2019)*: 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019). Lviv, 2019. P. 415-418. **(Scopus)**

15. Barannik V., Parkhomenko M., Barannik D., Gurzhii P., Karpinski M., Shaikhanova A., Piotrkowska-Kasolik K. The method of encoding video information systems based on the identification of structural dependencies in the key frames *Inżynier XXI wieku. Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji: X Międzynarodowej Konferencji.* (Bielsko-Biała, Polska, 11 grudnia, 2019). Bielsko-Biała: Springer, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, P. 78-89. **(Scopus)**

16. Barannik V., Parkhomenko M., Ryabukha Y., Sorokun A., Hahanova A., Dodukh O. Developing a Method of Composing Key Components of a Video Image Based on the Integration of their Code Structures. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019): proceedings of the IEEE Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv. 2019. P. 31-35. **(Scopus)**

17. Пархоменко М. В., Пауль Р.І. Удосконалення методу виявлення кібератак на інформаційно-телекомунікаційну мережу Повітряних Сил з врахуванням дестабілізуючих факторів в умовах ведення бойових дій. *Новітні технології – для захисту повітряного простору: збірник тез доповідей XVI між нар. наук. конф.* (Харків, 15-16 квіт. 2020 р.). Харків: ХНУПС, 2020. С. 388-389.

18. Пархоменко М.В., Хаханова Г.В. Метод ефективного кодування відеоінформаційного ресурсу в інформаційно-телекомунікаційній мережі 6-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрями захисту інформації». Одеса вересня до 6 вересня 2020 року, Одеська національна академія зв'язку і О.С.Попова. – С. 32 – 34.

19. Parkhomenko M., Yudin O., Hahanova A., Pchel'nikov S., Shmakov V., Shaigas O. Method of encoding binary structures of stationary component of video stream. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020): 2nd IEEE Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv. 2020. **(Scopus)**

20. Barannik V., Parkhomenko M., Babenko Yu., Shulgin S. Video encoding to increase video availability in telecommunication systems. VII International

Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv. – C. 323 – 325.

ABSTRACT

Parkhomenko M. V. Method for increasing encoding bit rate of dynamic video resource in information and telecommunication systems. - Qualification scientific work as the manuscript.

The Thesis for PhD of Engineering Sciences degree in the specialty 05.12.02 "Telecommunication Systems and Networks". - National Aviation University, Kiev, 2021.

In the dissertation, an actual scientific and applied task is solved to increase the bit rate of dynamic video resources in information and telecommunication systems in the process of managing the objects of critical infrastructure. The importance of applying the concept of remote video information support using stationary and mobile technological platforms for the management systems of critical infrastructure objects is substantiated. It is shown that in the process of information provision of objects management systems KIF There is a contradiction between the following requirements for the quality of provision of dynamic video service in distance mode, and on the other hand, limited throughput capabilities of modern wireless ICS. The problem disadvantages of existing concepts of constructing standardized ITPT. A substantiation of what to improve ITPT It is proposed to use a technological approach that is based on the processing of the sequence of frames DVIR using a structural-combinatorial approach that takes into account the presence of a significant amount of relevant intercar-rane redundancy. The necessity of representing the sequence of predicted frames in the form of aggregates of frames-spline tensors, consisting of a dynamic sequence of aggregates of the parameters of structural splines of spectral-differentiated blocks, is argued. The main stages of creation of a structural-combinator approach for encoding the

dynamic sequence of predicted personnel are described on the basis of representation of aggregates of positional coordinates of frame-plot tensors in multi layer base space. The main components of the construction of the model assessment of the structural-combinatorial representation of the positions of positional coordinates of the frame-plot of the sequence of predicted personnel in a multi layer space are provided. The development of the method of dynamic coding of decomposed positional coordinates of the global tensor of the sequence is described B-P frames based on a two-pole mixed milthy encoding in the direction of their frames, taking into account: the detection of structural constraints simultaneously in two directions relative to the boundaries of dynamic ranges. The main stages of creation of the technological conception of integration of processing methods are taught B-P frames in information technology processing and transferring dynamic video resources.

Scientific novelty of the received results.

Within dissertation work the main results which have scientific novelty are received:

Within dissertation work the main results which have scientific novelty are received:

1. It has been further improving the model estimation of informative representation of the sequence of predicted frames based on their spectral-differentiated description.

2. For the first time, the method of structural normation of frame-plot tensors based on the technology of decomposition of frames is developed.

3. For the first time, the method of encoding the sequence of provided video frames based on the formation of spectral-differentiated blocks is developed.

4. Improved information technology for processing and transmitting video information resources based on integration of the sequence encoding process B-P frames in a frame-splash space.

The novelty of the obtained results is confirmed by the absence in the theory and practice of methods of effective encoding of dynamic video resources.

Practical value of the received results.

Integration of developed methods of effective encoding sequence of provided personnel in information technology for processing and transmitting dynamic video resources using wireless ICS provides:

1) Increasing real information speed DVIR Regarding existing codecs implemented in standard information technologies of staff flow, on average from 17 to 27 %;

2) reducing the imbalance between the information intensity of the video stream and the transfer rate on the network by an average of 21%. This provides an opportunity:

- use to transfer dynamic video source information and telecommunication technologies with lower bandwidth, namely at level 2 – 10 Mbit/s;

- increase the reliability DVIR for a given level of its completeness and information speed, namely to increase the level PSNR for from 26 to 37 dB.

Keywords: dynamic video resource; information speed; predicted frames sequence; structural-combinatorial redundancy; differential-spectral description; frame spline tensor; a set of positional coordinates; mixed multiadic space.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ

ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП.....	14
...	14
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕДАЧІ ДИНАМІЧНИХ ВІДЕОРЕСУРСІВ.....	23
1.1. Обґрунтування тенденцій щодо підвищення якості відеоінформаційного забезпечення процесів управління системою критичної інфраструктури.....	24
1.2. Обґрунтування необхідності підвищення ефективності функціонування інформаційних технологій обробки та передачі динамічного відеоресурсу для систем управління об'єктами критичної інфраструктури.....	33
1.3. Дослідження характеристик функціонування інформаційних технологій обробки динамічних відеоресурсів.....	40
1.4. Постановка задачі і формулювання мети досліджень.....	50
Висновки за першим розділом.....	54
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ДО КОДУВАННЯ	57

ПОСЛІДОВНОСТІ ПЕРЕДБАЧЕНИХ КАДРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ОБРОБКИ ТА ПЕРЕДАЧІ ДИНАМІЧНОГО
ВІДЕОРЕСУРСУ.....

2.1. Обґрунтування складових інформаційної технології обробки й передачі динамічних відеоресурсів.....	58
2.2. Обґрунтування підходу для динамічного кодування послідовності передбачених кадрів для підвищення ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі відеоресурсу.....	64
2.3. Створення структурно-комбінаторного підходу для кодування фрейм- сплайнових тензорів динамічної послідовності передбачених кадрів.....	83
Висновки за другим розділом.....	94
РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНЕ ДИНАМІЧНЕ КОДУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ В-Р КАДРІВ В ДВОПОЛЮСНОМУ ЗМІШАНОМУ МУЛЬТІАДИЧНОМУ ПРОСТОРІ.....	98
3.1. Розробка технології структурної декомпозиції фрейм-сплайнового тензору для забезпечення його нормування	99
3.2. Створення методу кодування позиційних координат фрейм- сплайнового тензору в змішаному мультіадичному просторі.....	107
3.3. Створення методу інтегрування процесу кодування послідовності В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів	122
Висновки за третім	138

розділом.....	
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДІВ КОДУВАННЯ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДИНАМІЧНОГО ВІДЕОРЕСУРСУ.....	
.....	144
4.1. Створення методу для оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу на основі кодування сукупностей позиційних координат блоків передбачених кадрів.....	145
4.2. Оцінка характеристик технологій обробки динамічного відеоресурсу відносно підвищення рівня його бітової швидкості.....	153
Висновки за четвертим розділом.....	157
ВИСНОВКИ.....	
...	159
СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	164
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	179
Додаток Б. Приклад кадр-тензора для початкового динамічного відеоресурсу.....	184
Додаток В. Акти реалізації результатів досліджень.....	186

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ДВІР – динамічний відеоінформаційний ресурс
- ДКП – дискретне косинус перетворення
- ІТКС – інформаційно-телекомунікаційні системи
- ІТОДВ – інформаційні технології обробки динамічного відеоресурсу
- ЕМС – електромагнітна сумісність
- КТ – кадр-тензор
- КІФ – критична інфраструктура
- ОКІФ – об'єкти критичної інфраструктури
- ПВСШ – пікове відношення сигнал/шум
- ОФСТ – одноелементний фрейм-сплайновий тензор
- СФС – сплайн фреймова структура
- ССНП – структурний сплайн нульового порядку
- ТД-блоки – диференційований блок представлений в трансформованому вигляді

ВСТУП

Актуальність теми. В процесі управління об'єктами КІФ, набирає попит відносно надання відеосервісів з використанням бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій, та з'являється можливість надання нових відеосервісів, в першу чергу пов'язаних з інтелектуалізацією процесів обробки. Саме виділяються наступні тренди розвитку інформаційного забезпечення [1; 4; 18; 22; 24; 32; 33; 39; 41 – 43; 46 - 52; 65; 72 – 75; 78; 83; 85; 86; 92 – 95]:

1) з кожним роком збільшується процентна складова надання саме відеоінформаційних послуг відносно загального обсягу різних послуг, так у 2022 році вона досягне 85%;

2) складова надання відеопослуг зі застосуванням бездротових телекомунікаційних технологій, починаючи з 2019 року, перевищує відповідну складову, що використовує провідні канали зв'язку, в середньому на 13%.

3) в середньому на 14% на рік зростає обсяг (бітова інтенсивність) трафіку для різних сервісів надання відеоінформації

В теж час в процесі інформаційного забезпечення систем управління об'єктами КІФ виникає протиріччя між з одного боку вимогами щодо якості надання динамічних відеосервісів в дистанційному режимі, а з іншого боку обмеженими пропускними спроможностями сучасних бездротових ІТКС. Отже можна стверджувати, що [18; 22; 24; 35; 39; 41 – 43; 72 – 75; 77; 83; 85; 86; 92]:

1) з одного боку особливості управління об'єктами КІФ в умовах наявності множини вразливостей та дестабілізуючих факторів диктують вимоги відносно необхідності підвищення бітової швидкості, повноти та достовірності ДВІР;

2) з іншого боку існує множина вразливостей та дестабілізуючих факторів внутрішнього та зовнішнього походження, які: спричиняють: зменшення пропускної спроможності бездротових ІТКС; додаткові втрати достовірності

ДВІР; висувають додаткові вимоги щодо своєчасності, актуальності та повноти надання ДВІР.

Отже *науково-прикладна задача*, яка полягає у підвищенні бітової швидкості динамічного відеоресурсу в *інформаційно-телекомунікаційних системах* в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури, *є актуальною*.

Підвищення бітової швидкості ДВІР досягається на основі застосування технологій інформаційного ущільнення та скорочення надмірності для потоку відеокадрів [4; 6 – 9; 16; 26 - 29; 31; 35; 44; 56 – 59; 62; 68; 69; 71; 74; 79 - 82; 90 - 141].

Вагомий внесок в розвиток напрямів кодування динамічних відеоресурсів, підвищення бітової швидкості та достовірності відеоінформації внесли такі учені як: Бараннік В.В., Корольов А.В., Лукін В.В., Жураковський Б.Ю., Юдін О.К., так й іноземні, до яких слід віднести наступних вчених: Рябко Б.Я., Вудс Р., Гонсалес Р., Претт У.К., Шеннон К.

Отримані результати проведених експериментальних досліджень щодо обробки ДВІР дозволяють стверджувати наступне. Рівень реальної інформаційної швидкості ДВІР, що створюється за допомогою існуючих технологій ІТОДВ не створює умови для доставки інформації в реальному часі для частоти кадрів не менш ніж 30 кадрів/с, формату відеокадру не нижче ніж 4К, рівня достовірності не менш ніж 40 дБ у разі використання бездротових ІТКС (WiFi та LTE-A(4G)) з пропускними спроможностями 150 Мбіт/с – 1 Гбіт/с. В цих умовах рівень потрібної інформаційної швидкості перевищує реальні значення для кодованого ДВІР від 2,5 до 100 разів в залежності від частоти відеокадрів, їх формату, величини ПВСШ, типу технології ІТКС. В цьому випадку виникають часові затримки T_z щодо доставки кодованого ДВІР з використанням існуючих ІТОДВ та ІТКС, які сягають від декількох секунд до десятків хвилин. Отже знижується якість сервісів щодо надання динамічних відеоресурсів з потрібною повнотою, достовірністю та актуальністю. Це

призводе до зниження ефективності функціонування систем управління об'єктами КІФ, а звідки до нанесення значної шкоди з позиції економіки, соціуму, політичних інтересів та оборо здатності держави.

В теж час концепціями побудови існуючих стандартизованих ІТОДВ сімейства H26* та напрямками їх подальшого розвитку не приділяється необхідна увага розробці підходів стосовно створення технологій кодування за рахунок виявлення *нових* типів закономірностей, та виключення кількості відповідної надмірності. В тому числі значною мірою у своєму розвитку *відстають* технології кодування динамічних відеоресурсів, які враховують міжкадрові закономірності та особливості їх структурно-семантичного контенту, в тому числі не достатньої мірою враховуються підходи до виявлення між кадрових структурно-комбінаторних закономірностей [5 – 9; 12; 14; 16; 30; 31; 36; 46; 55; 57; 58; 70; 74; 76; 93; 94; 111; 116 – 118; 121; 123; 125; 131; 132; 137; 138].

У зв'язку з чим, для удосконалення ІТОДВ *пропонується* використовувати технологічний підхід, який базується на обробці послідовності кадрів ДВІР з використанням структурно-комбінаторного підходу, який враховує наявність значної кількості відповідної міжкадрової надмірності.

Отже, *тема дисертаційних досліджень*, пов'язана з розробкою методу ефективного кодування для підвищення інформаційної швидкості динамічного відеоресурсу в процесі його передачі з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем *є актуальною*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у рамках: Закону України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 03.07.2020 № 75/98-ВР; Постанови Кабінету Міністрів України "Концепція розвитку зв'язку України" від 09.12.1999 р. №2238; положення «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» (затверджено Кабінетом Міністрів України від 15 травня 2013 р.); “Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на

2018-2022 роки” (постанова Кабінету Міністрів України від 05 вересня 2018 р., № 629. Дисертаційні дослідження проводились у відповідності із планами наукової, науково-технічної діяльності Національного авіаційного університету та Харківського національного університету Повітряних Сил, у рамках яких були виконані НДР шифр «Руна» (№ 0118U000678) та НДР «Око-2» (№ 0118U000149д), в яких автор дисертації був виконавцем.

Мета і задача досліджень. Мета дисертаційної роботи полягає у створенні методу ефективного кодування для підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем шляхом врахування міжкадрових структурно-комбінаторних закономірностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Створити модель оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення послідовності передбачених кадрів динамічного відеоресурсу.
2. Розробити метод динамічного кодування послідовності передбачених кадрів на основі виявлення та усунення міжкадрової структурно-комбінаторної надмірності без втрат достовірності інформації.
3. Побудувати технологічну концепцію інтегрування створених методів обробки передбачених кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів для підвищення інформаційної швидкості в процесі їх передачі з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем.
4. Провести порівняльну оцінку розроблених методів кодування динамічних відеоресурсів з відомими в умовах інформаційного забезпечення систем управління об'єктами критичної інфраструктури.

Об'єкт дослідження. Процеси підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу в інформаційно-телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження. Методи кодування для підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу в інформаційно-телекомунікаційних системах.

Методи дослідження. Обґрунтування підвищення якості функціонування систем управління об'єктами критичної інфраструктури з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем на основі технологій інформаційного ущільнення базувалося на положеннях теорії оцінки ефективності складних систем. Побудова моделей оцінки інформативності і кодового представлення послідовностей передбачених кадрів організовувалася на основі методів теорії інформації та кодування даних з усуненням структурної та статистичної надмірності. Створення методів кодування для підвищення бітової швидкості ДВІР на основі усунення міжкадрової структурної надмірності шляхом виявлення параметрів структурних сплайнів проводилося на основі методів структурного та статистичного аналізу відеопослідовностей. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів здійснювалася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Отримала подальше вдосконалення модель оцінки інформативності представлення послідовності передбачених кадрів на основі їх спектрально-диференційованого опису. Характерні відмінності моделі щодо існуючих полягають у оцінці рівня структурно-комбінаторної невизначеності для мільтиадичного простору, який побудовано на базі сукупностей позиційних координат сплайнового опису послідовності диференційованих блоків в спектральному просторі. Це дозволяє створити умови для додаткового скорочення надмірності відеозображень та підвищення ефективності процесу кодування послідовності передбачених кадрів.

2. Вперше розроблено метод структурного нормування фрейм-сплайнових тензорів на основі технології декомпозиції фреймів. Відмінності методу полягають у тому, що: вирівнювання лінійних розмірів фрейм-сплайнових тензорів в залежності від структурно-семантичного контенту блоків Р-В кадрів проводиться на основі принципу структурного генерування допоміжних структурних сплайнів. Це забезпечує підвищення ефективності кодування у

напрямку скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу без втрат його достовірності.

3. Вперше розроблено метод кодування послідовності передбачених відеокадрів на основі формування спектрально-диференційованих блоків. Основні відмінності методу полягають у наступному: обробка послідовностей В-Р кадрів здійснюється в динамічному режимі для позиційних координат їх фрейм-сплайнових тензорів на основі змішаного мільтіадичного кодування. Це забезпечую додаткове підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу.

4. Удосконалено інформаційну технологію обробки та передачі відеоінформаційного ресурсу. Основні відмінні особливості полягають у тому, що здійснюється інтегрування процесу кодування послідовності передбачених кадрів в фрейм-сплайновому просторі з врахуванням усунення вразливих факторів втрати ефективності процесу обробки динамічних відеоресурсів. Це дозволяє додатково відносно існуючих технологій кодування знизити часові затримки на доведення динамічного відеоресурсу в умовах збереження потрібного рівня його семантичної цілісності.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю в положеннях теорії і практики методів кодування цифрових динамічних відеоресурсів.

Практичне значення отриманих результатів досліджень. Інтегрування створеного методу кодування диференційованих блоків в спектральному просторі в інформаційну технологію обробки динамічних відеоресурсів дозволяє:

1. Забезпечити усунення вразливі факторів відносно втрати достовірності та інформаційної ущільненості для удосконаленої ІТОДВ. А саме за рахунок застосування створеної рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат в двополюсному змішаному мультіадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів та правила пошарового

контролю бітових затрат на двійкове представлення відповідних кодових значень, уникаються:

- випадки переповнення заданої довжини кодової комбінації;
- потреби у додатковому формуванні кількості біт на використання маркерів: розташування послідовностей позиційних координат, для яких формуються кодові значення; розмежувачів між кодовими конструкціями сусідніх сукупностей позиційних координат.

2. Відносно інформаційних технологій ІТОДВ, які використовують стандартизовані методи кодування блоків передбачених кадрів. В умовах забезпечення потрібного рівня достовірності відеоресурсу в залежності від рівня його структурно-семантичної інформативності, що відповідає рівню ПВСШ не менш, ніж 37 – 48 дБ, досягається:

1) підвищення рівня бітової швидкості відеоресурсу в середньому від 17 до 37 %. Це досягається за рахунок:

- додаткового скорочення міжкадрової надмірності з врахуванням: закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування; пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисному просторі на рівні, який відповідає підвищенню величини коефіцієнта ущільнення в середньому на 22 – 30 %;

- скорочення кількості даних в середньому на 20 – 40 %, які поступають на процес обробки в результаті формування позиційних координат для послідовності не значимих компонент трансформати;

2) доставка динамічного відеоресурсу в реальному часі, з використанням бездротових телекомунікаційних мереж в умовах підвищення рівня повноти інформації з формату FullHD до формату 4K та 8K.

Результати досліджень реалізовані:

1) при виконанні дослідно-конструкторських робіт в Державному науково-дослідному інституті МВС України (акт реалізації від 02.02.2020 р.);

2) в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки (акт реалізації від 16.10.2020 р.).

Особистий вклад автора Всі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: в працях [13; 110] - проведено дослідження відносно захисту кодограм до помилок у каналі зв'язку для систем управління об'єктами критичної інфраструктури; в працях [10; 109] - створено структурно-комбінаторний підхід для кодування динамічної послідовності передбачених кадрів на основі представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів в мультіадичному базисному просторі; в працях [11; 63; 111] - побудовано модель оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності передбачених кадрів в мультіадичному базисі; в працях [14; 113; 114] - створено метод структурного нормування одноелементних фрейм-сплайнових тензорів, який базується на вирівнюванні лінійних розмірів його фреймів шляхом декомпозиції параметрів структурних сплайнів; в працях [67; 112; 116] - розроблено метод динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного кодування; в працях [12; 115; 135] – розроблено технологічну концепцію інтегрування створених методів обробки В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів; в працях [17; 65; 66] – створено метод оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу для методу ефективного кодування послідовності передбачених кадрів шляхом представлення їх фрейм-сплайнових тензорів в двополюсному змішаному мультіадичному просторі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації докладалися і були схвалені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах: *Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM'2019)*: 15th IEEE Intern. Conf. (Polyana, Ukraine, 26 February - 2 March).

Polyana; *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: збірник тез доповідей XV Міжнар. наук. конф. (Харків, 10-11 квіт. 2019 р.). Харків: ХНУПС; *Наукоємні технології в інфокомунікаціях (НІСТ'2019)*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кам'янець – Подільський, 23-25 трав. 2019 р.). Кам'янець – Подільський: ХНУПС, КПНУ, ХНУРЕ; *Advanced Information and Communications Technologies (AICT'2019)*: 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019); *Inżynier XXI wieku. Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji*: X Międzynarodowej Konferencji. (Bielsko-Biała, Polska, 11 grudnia, 2019). Bielsko-Biała: Springer, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej; *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019)*: proceedings of the IEEE Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv; *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: збірник тез доповідей XVI між нар. наук. конф. (Харків, 15-16 квіт. 2020 р.). Харків: ХНУПС; 6-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрями захисту інформації». Одеса вересня до 6 вересня 2020 року, Одеська національна академія зв'язку і О.С.Попова; *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020)*: 2nd IEEE Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv; VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковані у 20 наукових працях, серед яких: *одна* колективна монографія у закордонному фаховому виданні, яка індексуються в міжнародній базі Scopus, 8 статей зокрема одна одноосібна стаття, одна стаття у закордонному фаховому виданні, що індексується в міжнародній базі Scopus, 7 статей опубліковано в журналах, які включені до міжнародних науково-метричних баз; один патент на корисну модель. Апробація результатів дисертації відображена у 10 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях. Зокрема 4 апробацій на конференціях, які входять до складу міжнародної організації IEEE.

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

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕДАЧІ ДИНАМІЧНИХ ВІДЕОРЕСУРСІВ

Обґрунтовано важливість застосування концепції дистанційного відеоінформаційного забезпечення з використанням стаціонарних та мобільних технологічних платформ для систем управління об'єктами критичної інфраструктури. Доведено, що чим більше процес прийняття рішень для кризових об'єктів залежить від рівня його інтелектуалізованості, тим більш повну, актуальну та достовірну інформацію потрібно використовувати. Стверджено, що в процесі управління об'єктами КІФ, набирає попит відносно надання відеосервісів з використанням бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій, та з'являється можливість надання нових відеосервісів, в першу чергу пов'язаних з інтелектуалізацією процесів обробки. Показано, що в процесі інформаційного забезпечення систем управління об'єктами КІФ виникає протиріччя між з одного боку вимогами щодо якості надання динамічних відеосервісів в дистанційному режимі, а з іншого боку обмеженими пропускними спроможностями сучасних бездротових ІТКС. Доведено, що знижується якість сервісів щодо надання динамічних відеоресурсів з потрібною повнотою, достовірністю та актуальністю. Виявлено проблемні недоліки існуючих концепцій побудови стандартизованих ІТОДВ. Проведено обґрунтування того, що для удосконалення ІТОДВ пропонується використовувати технологічний підхід, який базується на обробці послідовності кадрів ДВІР з використанням структурно-комбінаторного підходу, який враховує наявність значної кількості відповідної міжкадрової надмірності. Сформульовано та обґрунтовано актуальність науково-прикладної задачі.

Визначено мета дисертаційних досліджень та поставлені часткові задачі для її вирішення.

1.1. Обґрунтування тенденцій щодо підвищення якості відеоінформаційного забезпечення процесів управління системою критичної інфраструктури

З позиції забезпечення необхідного рівня національної безпеки та оборони, належного рівня інформатизації, адміністративних та нормативно-законодавчих актів в нашій державі виділено об'єкти критичної інфраструктури (ОКІФ). Такими об'єктами є об'єкти профільних міністерств, стратегічно важливих виробництв, що визначають базову інфраструктуру держави, в тому числі: транспортні системи, нафто-газо-хімічні виробництва, енергогенеруючі підприємства, атомні електростанції, виробництва в інтересах сектору безпеки й оборони, об'єкти Держприкордон служби, митниці. Також сюди можна віднести території стихійного лиха та техногенних катастроф.

Зрозуміло, що ефективність функціонування таких об'єктів або в іншому випадку ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій значною мірою визначає рівень національної безпеки, економічного розвитку держави та соціальний добробут населення, а також політичний статус держави на міжнародній арені [18; 28; 32; 48; 50; 52; 69].

В теж час, як правило об'єкти критичної інфраструктури (КІФ), є складною динамічною системою з множиною внутрішніх та зовнішніх факторів вразливості та дестабілізації. Отже ефективність їх функціонування суттєво залежить від якості відповідних систем управління. Якість систем управління визначається наступними загальними показниками: оперативність; безперервність; мобільність; надійність; адекватність; безпомилковість [6; 7; 57].

Враховуючи критичність об'єктів КІФ найважливішим є забезпечення *своєчасності* й *адекватності* прийнятих рішень та *унікнення помилкових рішень* в умовах досягнення потрібного рівня їх *конфіденційності*.

Відповідно для цього необхідно належним чином організувати інформаційне забезпечення систем управління ОКІФ.

В процесі рішення задач стосовно організації інформаційного забезпечення ОКІФ потрібно враховувати наступне [1; 4; 18; 22; 24; 32; 33; 39; 41 – 43; 46 - 52; 65; 72 – 75; 78; 83; 85; 86; 92 – 95]:

1) критичність прийнятих рішень, тобто потенційно значимі наслідки з позиції нанесення шкоди у разі помилкових рішень або несвоєчасних рішень, що не є адекватними поточній обстановці;

2) масштабність ОКІФ, як за територією розташування, так й за кількістю складових компонент, наявність складних взаємозв'язків між їх складовими;

3) динамічність зміни стану складових ОКІФ у реальному часі;

4) мобільність окремих об'єктів в системі критичної інфраструктури;

5) потребу у забезпеченні потрібного рівня конфіденційності та захисту щодо кібератак, як на системному, так й на інформаційному рівнях;

6) інтелектуалізацію окремих етапів обробки, аналізу та прийняття рішень в системі КІФ;

7) з одного боку неоднорідність технологічних складових процесу інформаційного забезпечення, а з іншого високий рівень їх взаємної інтеграції.

Звідки край важливим є застосування концепції дистанційного відеоінформаційного забезпечення з використанням стаціонарних та мобільних технологічних платформ. Такими платформами можуть бути безпілотні робото-технічні дрони, наземні мобільні або стаціонарні датчики (відеосенсори).

Важливість використання такого підходу в комплексній системі інформаційного забезпечення обумовлено наступним [4; 6; 7; 18; 28; 33; 48; 50; 60; 70; 72; 73; 75]:

1) забезпечується

створення найбільш адекватного інформаційного образу, який відображає об'єкти, їх стан та поточну обстановку групи об'єктів;

формування інформації зі змінною шкалою роздільної здатності, від метрового до нанометрового діапазону;

отримання інформації про масштабні об'єкти, які розташовані на значній території;

отримання інформації з труднодоступних районів;

отримання інформації потенційно в реальному часі;

2) отже досягається:

- найбільша повнота, достовірність й візуальна наочність та цілісність відображення інформації з позиції її структурно-семантичного контенту;

- найбільший рівень об'єктивності відносно реального стану ОКІФ або поточній обстановці;

- умови для забезпечення інтелектуалізації етапів процесу аналізу та прийняття рішень та підвищення рівні їх обґрунтованості;

- підвищення оперативності прийняття рішень і знижується ймовірність помилкових рішень.

Перечень основних функціональних завдань, які в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури вирішуються за допомогою відеоінформаційного забезпечення, наведено на рис. 1.1 [6; 7; 18; 28; 48; 49; 57].

Застосуванню дистанційного відеоінформаційного забезпечення в системах управління ОКІФ сприяє ціла множина факторів, а саме [4; 6; 7; 18; 28; 33; 48; 50; 60; 70; 72; 73; 75]:

- по-перше, збільшення продуктивності функціонування сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій, стосовно обробки та передачі інформації;

- по-друге, високотехнологічний розвиток наукоємних технологій обробки відеоінформації, створення технологій та методів інтелектуальної

обробки відеоінформації, в тому числі концептів щодо ідентифікації та розпізнавання об'єктів;

- втретє, розвиток мобільних телекомунікаційних технологій;
- вчетверте, значне збільшення якісних та кількісних характеристик технологій реєстрації відеокадрів (відео сенсорів, відео датчиків), а саме

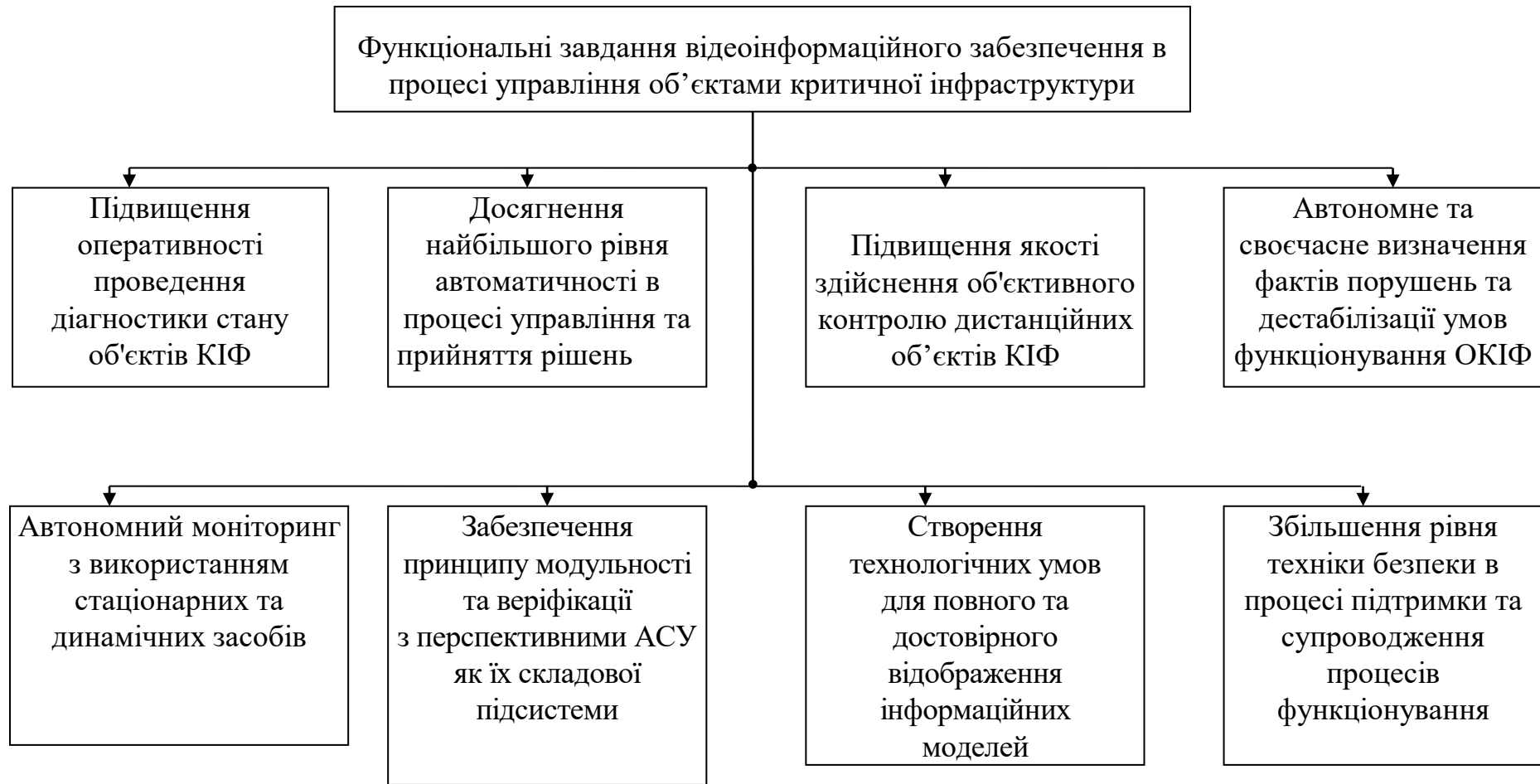


Рисунок 1.1. - Блок-схема функціональних завдань відеоінформаційного забезпечення в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури

збільшення розмірів відеокадрів, створення умов для підвищення роздільної здатності відеознімків (рис. 1.2).

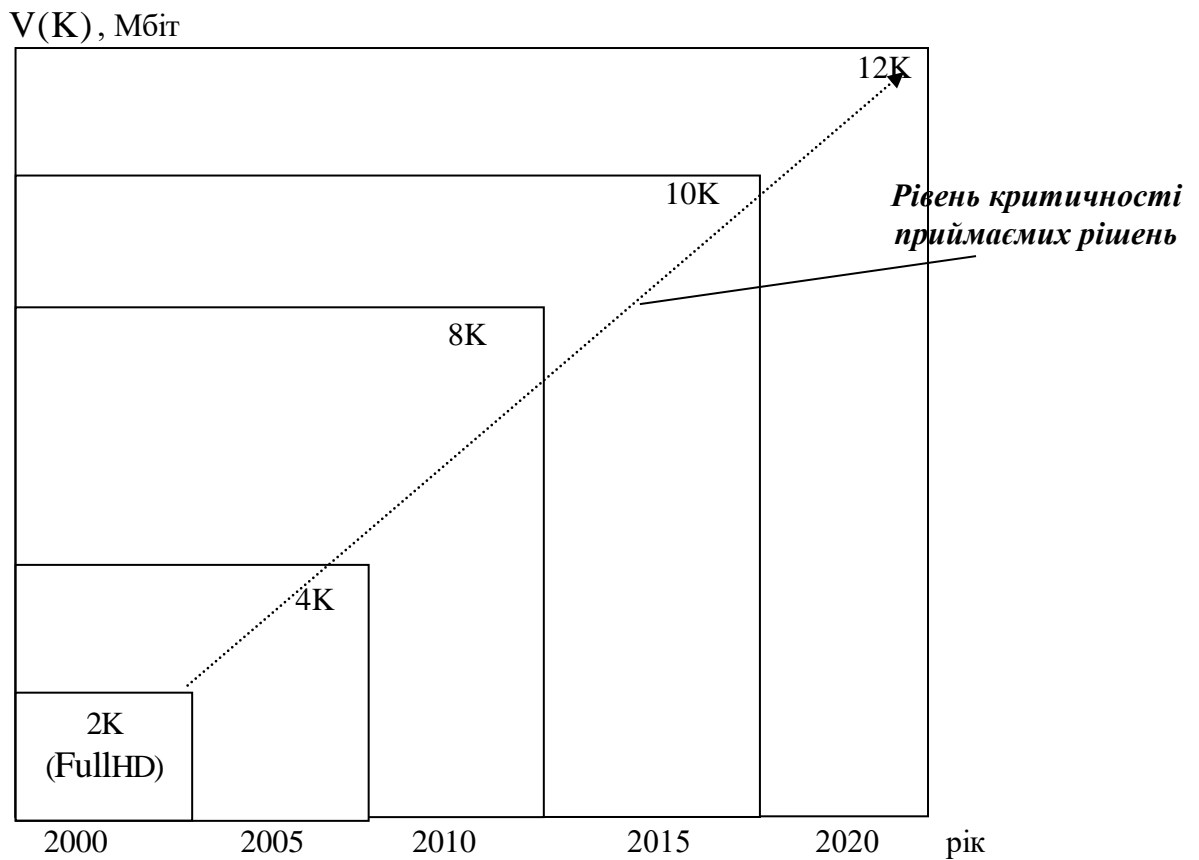


Рисунок 1.2. – Схема збільшення співвідношення роздільної здатності відеознімків

На рис. 1.2 показано тенденції збільшення бітового об'єму $V(K)$ відеокадрів на етапі реєстрації в залежності від ступеня їх роздільної здатності. Тут враховується прийнята класифікація форматів систем реєстрації відеокадрів відносно базового формату FullHD. В цьому випадку застосовується коефіцієнт K , який визначає кратність збільшення розмірів відеокадру відносно базового формату FullHD. Тому можна величину коефіцієнта K використовувати для позначення рівня роздільної здатності η_0 відеокадру. Відповідно об'єм $V(K)$ бітового опису кадру обчислюється за формулою:

$$V(K) = W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} \cdot \sum_{i=1}^3 v_i \text{ (біт)}, \quad (1.1)$$

де $W(K) = W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}}$ - розмір відеокадру в Мпкс (кількість пікселей в кадрі);

$W(K)_{\text{ряд}}$, $W(K)_{\text{стов}}$ - кількість відповідно строк (рядків) та стовбців в кадрі;

v_i - кількість біт на двійкове представлення елемента колірної компоненти. В загальному випадку $v = \sum_{i=1}^3 v_i = 24$ біта.

Наприклад в залежності від коефіцієнта K будуть такі розміри $W(K)$ відеокадрів: 8192x8192 (8K), 10240x5760 (10K), 11520x6480 (12K) пікселів. У свою чергу, зростання роздільної здатності дозволяє істотно розширити зону обхвату камери, а також забезпечити вірогідність успішного розпізнавання об'єктів інтересу на необхідному рівні. Значення коефіцієнта K залежить від рівня критичності приймаємих рішень та інтелектуальності процесів їх підтримки, що відображається на рис. 1.2 у вигляді направленої тенденції. Чим більше процес прийняття рішень для кризових об'єктів залежить від рівня його інтелектуалізованості, тим більш повну, актуальну та достовірну інформацію потрібно використовувати.

Згідно даним досліджень компанії Cisco можна виділити наступні тренди розвитку інформаційного забезпечення (надання інформаційних послуг) [47 ; 48; 50; 90] (рис. 1.3):

1) з кожним роком збільшується процентна складова надання саме відеоінформаційних послуг відносно загального обсягу різних послуг, так у 2022 році вона досягне 85%;

2) складова надання відео послуг зі застосуванням бездротових телекомунікаційних технологій, починаючи з 2019 року, перевищує

відповідну складову, що використовує провідні канали зв'язку, в середньому на 13%.

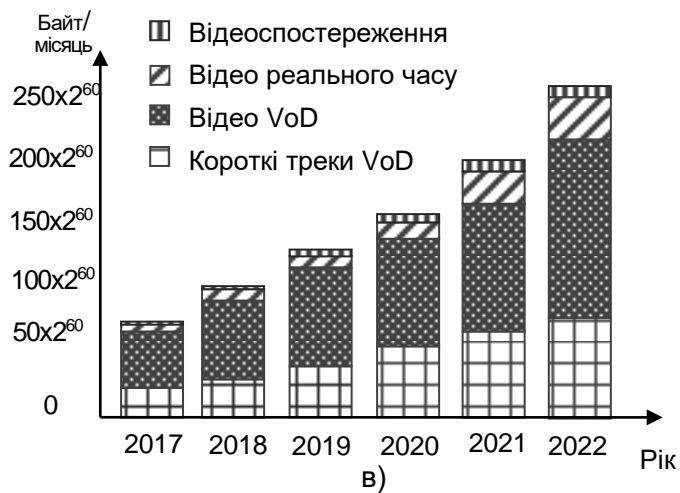
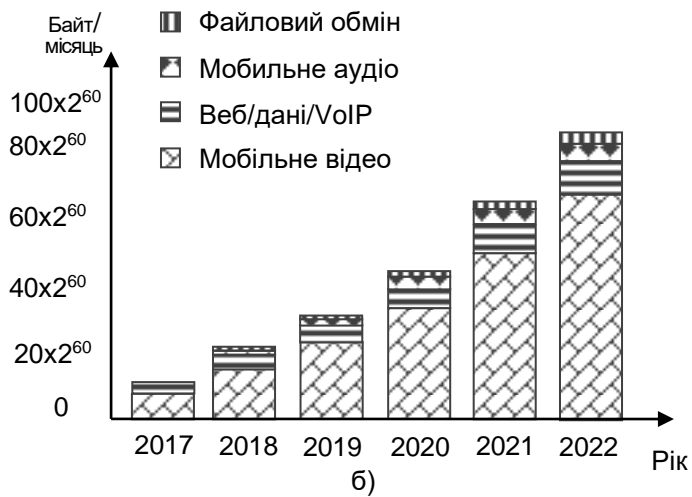
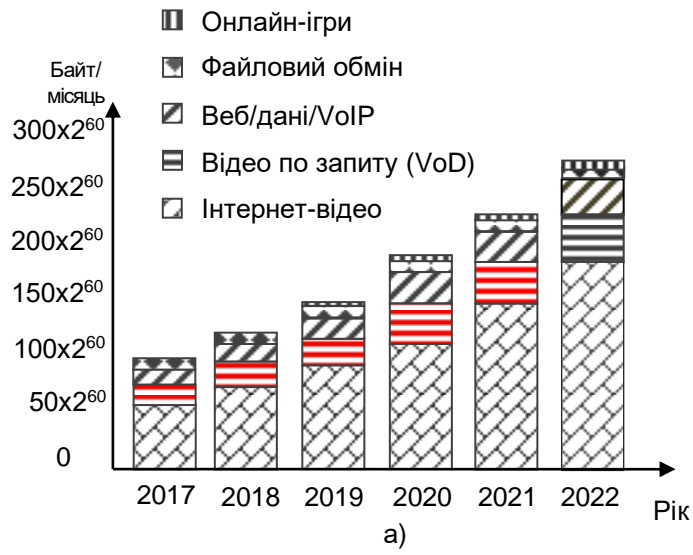


Рисунок 1.3. - Результати оцінок компанією Cisco а) тенденції зростання інтенсивності стаціонарних платформ; б) тенденції зростання інтенсивності в мобільних платформах; в) загальні тенденції зростання трафіку

3) в середньому на 14% на рік зростає обсяг (бітова інтенсивність) трафіку для різних сервісів надання відеоінформації, в тому числі: відео реального часу (жива трансляція, відеоконференцзв'язок, відеозв'язок); відео VoD; відео спостереження; відео по запити; короткі треки VoD, телебачення високої чіткості (UHD TV).

Отже набирає попит щодо надання відеосервісів з використанням бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій, відповідна тенденція представлена в табл.1.1, та з'являється можливість надання нових відеосервісів, в першу чергу пов'язаних з інтелектуалізацією процесів обробки, в тому числі:

- семантичний пошук і семантичний аналіз даних по фрагментах відеоряду; розпізнавання даних;
- ідентифікація об'єктів в рамках відеосцен, що фіксуються;
- комп'ютерний зір.

Можна стверджувати, що тенденції росту функціональної, обчислювальної продуктивності та пропускної спроможності бездротових інформаційно-телекомунікаційних систем на мобільних та стаціонарних платформах сприяють збільшенню:

- 1) можливостей щодо надання відеоінформаційних послуг саме динамічного контенту;
- 2) вимог користувачів відносно якості відеоінформаційних послуг;
- 3) рівня потреб відносно показника інформаційної повноти (показника роздрібної здатності динамічного ВІР) в процесі надання інформаційних послуг для підвищення ефективності функціонування систем управління об'єктами критичної інфраструктури.

Отже системи управління сучасними об'єктами критичної інфраструктури в умовах:

з одного боку стрибкого розвитку наукоємних технологій та рівня їх інтелектуалізації;

Таблиця 1.1.-
Тенденції розвитку відеоінформаційних послуг в залежності від покоління мережних технологій

Набор відеопослуг, що надаються	1G	2G	3G	4G	5G
Служба мультимедійних повідомлень - MMS (Multimedia Messaging Service)	-	+	+	+	+
Передача стаціонарних зображень (низької/високої якості або роздільної здатності)	+/-	+/+	+/+	+/+	+
Відеотелефонний зв'язок (Videotelephony)	-	-	+	+	+
Відеоконференція (Videoconference)	-	-	+	+	+
Потокове мультимедіа (Stream Media)	-	-	+(низької якості)	+(високої якості)	+
Системи інтелектуальної обробки відеоінформації в робото-технічних системах	-	-	-	-	+(низької якості)
Комп'ютерний зір в 3 D	-	-	-	-	+(низької якості)
Додатки віртуальної та доповненої реальності (VR и AR)	-	-	-	-	+(низької якості)

з іншого боку наявності множини вразливостей та дестабілізуючих факторів, що обумовлені внутрішніми та зовнішніми загрозами - потребують використання найновіших та якісних послуг відносно надання ДВІР в дистанційному режимі з використанням мобільних та стаціонарних інформаційно-телекомунікаційних платформ.

1.2. Обґрунтування необхідності підвищення ефективності функціонування інформаційних технологій обробки та передачі динамічного відеоресурсу для систем управління об'єктами критичної інфраструктури

Узагальнена структурно-функціональна схема концепції надання послуг ДВІР з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем наведена на рис. 1.4. Основними складовими тут є:

інформаційна технологія реєстрації відеокадрів та формування ДВІР;
інформаційна технологія обробки (кодування/декодування) ДВІР;
телекомунікаційні технології, в тому числі мережі доступу та транспортні мережі.

На початку процесу інформаційного забезпечення формується ДВІР. Основними кількісними показниками, що визначають кількісно-якісні характеристики динамічного відеоресурсу є:

1. Щільність пікселів в ПЗС-матриці, пкс/дюйм;
2. Інформаційна щільність d_0 за розміром початкового відеокадру.

Величина d_0 визначається кількістю v біт на представлення одного піксель для початкового відеокадру.

3. Інформаційна інтенсивність $V(\eta_0)_t$ бітового потоку ДВІР в умовах заданого рівня його цілісності (достовірності) й інформаційної повноти (роздільної здатності η_0 відеокадру). Величина $V(K)_t$ за одиницю часу t для деталізації (роздільної здатності) η_0 , яка визначається коефіцієнтом K кратності відносно формату FullHD, з врахуванням триколірної моделі цифрового кадру, оцінюється за формулою:

$$V(K)_t = v_t \cdot W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} \cdot \sum_{i=1}^3 v_i \text{ (біт/с)}, \quad (1.2)$$

де v_t - кількість відеокадрів, що формують ДВІР, за одиницю часу t .



Рисунок 1.4. - Узагальнена структурно-функціональна схема концепції надання послуг ДВІР з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем

Якщо брати до уваги те, що режим генерування відеокадрів в потоці стаціонарний, то

$$V(K)_t = V(K)_1 \cdot t \text{ (біт/с).}$$

Тут $V(K)_1$ - інформаційна інтенсивність бітового потоку для ДВІР, який формується за одну секунду.

Найбільш часто інформаційну інтенсивність вимірюють за $t=1$ сек. Тоді

для $v = \sum_{i=1}^3 v_i = 24$ біта інтенсивність ДВІР буде обчислюватись таким виразом:

$$U(K)_{\text{нес}} = V(K)_1 = v_1 \cdot 24 \cdot W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} \text{ (біт/с)}. \quad (1.3)$$

Величина $V(K)_1$ також визначається як потрібна бітова швидкість $U(K)_{\text{нес}}$ динамічного відеоресурсу в режимі стаціонарного генерування кадрів в потоці, що передбачена згідно вимог до якості відеоінформаційного сервісу. Значення величини $U(K)_{\text{нес}}$ залежно від просторового дозволу й частоти кадрів представлені в табл. 1.2 [4; 18; 22; 24; 33; 39; 41; 43; 52; 65; 75].

Таблиця 1.2 –

Показники інформаційної інтенсивності бітового потоку для різних вимог формування ДВІР

Тип вимоги	Потрібна бітова швидкість $U(K)_{\text{нес}}$ ДВІР
Формат 12К (120 кадрів/с), $W(K) = 74,6 \text{ Мпкс}$	до 216 Гбіт/с
Формат 12К (30 - 60 к/с), $W(K) = 74,6 \text{ Мпкс}$	59 - 108 Гбіт/с
Формат 10К (30 - 60 к/с), $W(K) = 59 \text{ Мпкс}$	42 - 84 Гбіт/с
Формат 8К (30 - 60 к/с), $W(K) = 67 \text{ Мпкс}$	48 - 96 Гбіт/с
Формат 4К (30 - 60 к/с), $W(K) = 12,6 \text{ Мпкс}$	9 - 18 Гбіт/с

Формат FullHD (30 - 60 к/с), $W(K) = 2 \text{ Мпкс}$	1,4 - 2,8 Гбіт/с
---	------------------

Як свідчить аналіз даних в табл. 1.2, в залежності від формату ДВІР потрібна його бітова швидкість $U(K)_{\text{нес}}$ знаходиться в діапазоні від 2 до 300 Гбіт/с.

Для передачі (доставки) динамічних відеоресурсів (надання відповідних сервісів) до центру прийняття рішень в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури використовуються інформаційно-телекомунікаційні системи (ІТКС). Такі системи є ключовою складовою процесів інформаційного забезпечення та управління об'єктами КІФ.

Таблиця 1.3 –

Порівняння основних параметрів технологій передачі даних

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

В теж час потрібно враховувати, що для управління сучасними об'єктами КІФ переважно застосовуються дистанційні технологічні концепції формування та доставки ДВІР з використанням стаціонарних та мобільних сенсорних платформ. Тому виникає переважна необхідність використання бездротових інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТКС). Основні

технологічні реалізації бездротових ІТКС наведено в табл. 1.3. З аналізу якої, можна стверджувати, що пропускна спроможність U_c сучасних та перспективних бездротових ІТКС знаходиться на рівні 10 Гбіт/с.

Звідки враховуючи дані в табл. 1.2, можна заключити те, що потрібна бітова швидкість $U(K)_{nes}$ ДВІР значно перевищує пропускну спроможність сучасних бездротових ІТКС. Виконується співвідношення:

$$\frac{U(K)_{nes}}{U_c} \sim 10 - 10^3. \quad (1.4)$$

Отже сучасні бездротові ІТКС *не забезпечують* за своєю продуктивністю функціонування потреб з боку дистанційних сервісів надання ДВІР в системі управління ОКІФ.

Тому в процесі інформаційного забезпечення систем управління об'єктами КІФ виникає протиріччя між з одного боку вимогами щодо якості надання динамічних відеосервісів в дистанційному режимі, а з іншого боку обмеженими пропускними спроможностями сучасних бездротових ІТКС (рис. 1.5).

Таке протиріччя проявляється в:

- 1) збільшенні часу доставки ДВІР, не забезпечується доведення інформації в реальному часі;
- 2) втраті актуальності та достовірності ДВІР.

В результаті виникають вразливості щодо зниження якості послуг надання ДВІР та ефективності процесу управління ОКІФ, що проявляється в наступному:

1. Несвоєчасне отримання інформації для аналізу та прийняття рішень.
2. Втрата достовірності та актуальності інформації згідно поточного стану ОКІФ.

Отже можна стверджувати, що:

1) з одного боку особливості управління об'єктами КІФ в умовах наявності множини вразливостей та дестабілізуючих факторів диктують вимоги відносно необхідності підвищення бітової швидкості, повноти та достовірності ДВІР;



Рисунок 1.5. - Схема формування протиріччя в процесі надання послуг ДВІР в системі управління ОКІФ

2) з іншого боку існує множина вразливостей та дестабілізуючих факторів внутрішнього та зовнішнього походження, які:

- спричиняють: зменшення пропускну́ї спроможності бездротових ІТКС; додаткові втрати достовірності ДВІР;

- висувають додаткові вимоги щодо своєчасності, актуальності та повноти надання ДВІР.

Це призводить до зниження якості надання динамічних відеосервісів в дистанційному режимі та ефективності процесів управління об'єктами КІФ. Тому потрібно збільшити швидкість передачі ДВІР в умовах забезпечення заданого рівня його повноти й достовірності з використанням бездротових ІТКС в системі управління об'єктами КІФ.

*Отже **науково-прикладна задача**, яка полягає у підвищенні бітової швидкості динамічного відеоресурсу в інформаційно-телекомунікаційних системах в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури, є **актуальною**.*

Математична трактовка сформульованої науково-прикладної задачі.

Потрібно забезпечити умову коли, реальна інформаційна швидкість $U(K)_{\text{real}}$ ДВІР буде відповідати потребам відносно рівня $U(K)_{\text{nes}}$ бітової швидкості, які задаються особливостями послуг надання ДВІР з використанням ІТКС з пропускну́ю спроможністю U_c біт/с, тобто:

$$U(K)_{\text{real}} \geq U(K)_{\text{nes}}$$

при забезпеченні наступних вимог, а саме:

- вимоги щодо повноти ДВІР, тобто вибору такого формату відеокадру, що визначається коефіцієнтом K , для якого досягається необхідне значення роздільної здатності η_0 :

$$K \rightarrow \eta_0;$$

- вимоги щодо достовірності ДВІР, який визначається метрикою h відповідності початкового та отриманого відеоресурсу:

$$h_{\text{real}} \geq h_{\text{nes}}.$$

Тут h_{real} , h_{nes} - значення метрики відповідності для реального та необхідного рівня.

1.3. Дослідження характеристик функціонування інформаційних технологій обробки динамічних відеоресурсів

Звісно, що такі значення бітової швидкості ДВІР в початковому форматі призводять до перевантаження інформаційно-телекомунікаційної мережі. Тому для вирівнювання балансу між пропускною спроможністю ІТКС та рівнем потрібної інформаційної швидкості ДВІР використовуються інформаційні технології обробки (кодування/декодування) ДВІР.

Сучасні інформаційні технології обробки ДВІР (ІТОДВ) базуються на стандартизованих технологіях сімейства H26*, а саме: H.264/AVC, H.265/HEVC та H.266/VVC. Базові характеристики таких технологій представлено в табл. 1.4.

Стандартизовані технології кодування сімейства H.26* дозволяють:

- зменшити інформаційну інтенсивність бітового потоку ДВІР;
- зменшити вимоги щодо пропускної спроможності бездротових ІТКС;
- знизити часові затримки на обробку пакетів на мережевих вузлах.

Для таких ІТОДВ в основі процесу обробки послідовності відеокадрів знаходяться наступні концепти [5 – 9; 12; 14; 16; 30; 31; 36; 46; 55; 57; 58; 70; 74; 76; 93; 94; 111; 116 – 118; 121; 123; 125; 131; 132; 137; 138]:

- локально-диференційна обробка послідовності кадрів з ідентифікуванням двох базових типів, а саме кадри І-типу та кадри В-Р типів;

Порівняння основних параметрів стандартів кодування H.264 и H.265

Показник	Технологія	
	H.264	H.265
Профілі	Baseline Main, Extended, High, High10, High4:2:2, High4:4:4	Main, Main10, Main Still Picture
Підтримувана розгортка	Через строкова, по-рядкова	По-рядкова
Формат колірної субдискретизації	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4	4:2:0, 4:2:2, 4:4:4
Тип алгоритму кодування	Гібридний (усунення часової і просторової надмірності)	Гібридний (усунення часової і просторової надмірності)
Структура кодування	Ієрархічна, підтримка системи профілів і рівнів	Ієрархічна, підтримка системи профілів і рівнів
Типи зображень/слайсов	Слайси, I, B, P, SI, SP	Слайси, I, B, P и тайли
Структура макроблоку	Адаптивна, з розбиттям макроблоків від 16x16 до 4x4	Адаптивна, з розбиттям макроблоків від 64x64 до 8x8
Точність оцінки руху	До 1/4 пікселя	До 1/4 пікселя
Внутрішньокадрове передбачення	9 режимів	35 режимів
Деблокуючий фільтр	Підтримується	Підтримується, в т.ч. SAO и ALF
Тип ортогонального перетворення	Цілочисельне з точним відновленням на базі ДКП. Адаптивний розмір блоку - від 8x8 до 4x4	Цілочисельне з точним відновленням на базі ДКП. Адаптивний розмір блоку - від 32x32 до 4x4
Ентропійне кодування	CAVLC, CABAC	CABAC з можливістю розпаралелювання
Підтримуваний дозвіл	От 128x96 до 4096x2304	От 128x96 до 4096x2304
Коефіцієнт ущільнення	До 80	До 80

- технологія JPEG-платформи, як базова для обробки окремих відеокадрів різних типів.

Стиснення відеопотоку досягається, як на внутрішньо-кадровому так й на між-кадровому рівні, в результаті скорочення надмірності. Залежно від типу закономірностей, які виявляються в потоці відеокадрів, розрізняють наступні базові види надмірності [6; 7; 21; 28; 31; 35; 44; 47; 53; 123; 133; 137]:

1) психовізуальна надмірність - викликана нечутливістю зорової системи людини до деяких видів спотворень відеокадрів [2; 6; 46; 47; 54; 57; 58; 70; 74; 118; 119; 122; 126; 136];

2) ймовірісно-статистична надмірність - обумовлена наявністю ймовірісно-статистичних взаємозв'язків між елементами відеокадрів;

3) структурна надмірність полягає в можливості виділити та описати математично цілісні структурні одиниці поточного синтаксичного представлення, а також взаємозв'язки між ними [7; 18; 31; 35; 62; 69; 91; 94; 95; 103];

З врахуванням чого, основними кількісними показниками оцінки ефективності функціонування ІТОДВ є наступні:

1. Усереднена за блоками в потоці кадрів інформаційна щільність d_{ec} ДВІР після його ефективного кодування, біт/піксель (*абсолютна величина*). Величина d_{ec} оцінюється за допомогою наступного співвідношення:

$$d_{ec} = \left(\sum_{\tau=1}^{v_1} \sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} d(\tau; \chi; \gamma)_{ec} \right) / \left(v_1 W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2 \right). \quad (1.5)$$

В цьому виразі прийняті такі позначення: $d(\tau; \chi; \gamma)_{ec}$ - інформаційна щільність для $(\chi; \gamma)$ -го блоку τ -го кадру, біт/піксель; $w \cdot w$ - розмір блоку в кадрі.

Величина $d(\tau; \chi; \gamma)_{ec}$ є інформаційною щільністю за пікселями, тобто відносно розподілу кількості біт в початковому піксельному просторі, інакше

кажучи в результаті ефективного кодування досягається розрідження інформаційної щільності відносно розміру початкового піксельного простору. Відповідно визначається як наступне відношення:

$$d(\tau; \chi; \gamma)_{ec} = v(\tau; \chi; \gamma) / (w \cdot w) \text{ (біт/піксель)}, \quad (1.6)$$

де $v(\tau; \chi; \gamma)$ - об'єм в бітах $(\chi; \gamma)$ -го блоку τ -го кадру, після його ефективного кодування.

Отже чим менше буде інформаційна щільність відносно розміру початкового піксельного простору, тим більшою ефективністю володіє ІГОДВ.

2. Коефіцієнт k_{id} інформаційного ущільнення (*відносна величина*). В загальному випадку величина k_{id} є змінною в залежності від структурно-семантичного контенту блоку кадру. Тому $k(\tau; \chi; \gamma)_{id} = var$, де $(\chi; \gamma)$ - координати блоку в τ -му кадрі. Тому k_{id} - усереднена величина по всім блокам та кадрам в послідовності, довжиною v_1 кадр, що визначається наступним виразом:

$$k_{id} = \left(\sum_{\tau=1}^{v_1} \sum_{\chi=1}^{W(K)_{ряд} / w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{стов} / w} k(\tau; \chi; \gamma)_{id} \right) / (v_1 W(K)_{ряд} \cdot W(K)_{стов} / w^2), \quad (1.7)$$

де v_1 - кількість кадрів в послідовності, яку потрібно передати за 1 с. згідно вимогам конкретного типу відеосервісу та вимогам користувачів;

$k(\tau; \chi; \gamma)_{id}$ - коефіцієнт інформаційного ущільнення для $(\chi; \gamma)$ -го блоку в τ -му кадрі, а саме:

$$k(\tau; \chi; \gamma)_{id} = d_0 / d(\tau; \chi; \gamma)_{ec} \text{ - безрозмірна величина.} \quad (1.8)$$

Тут d_0 кількість біт на двійкове представлення пікселя початкового відеокадру (до його кодування).

Коефіцієнт ущільнення вказує на скільки ущільнюється за кількістю біт інформаційний потік після процесу його кодування або в скільки разів збільшується швидкість передачі інформації в телекомунікаційній мережі.

Фізичний смисл. Величина k_{id} є усереднена кількість біт початкового кадру, яке представляється одним бітом інформаційно-ущільненого подання.

Чим більше буде значення величини інформаційного ущільнення k_{id} при заданій достовірності ДВІР, тим краще якість функціонування ІТОДВ.

3. Реальна усереднена інформаційна швидкість U_{real} **динамічного відеоресурсу, який передається з використанням ІТКС**, в умовах його інформаційного ущільнення буде визначатися за наступною формулою:

$$U(K)_{real} = k_{id} \cdot U_c. \quad (1.9)$$

В цій формулі прийняті такі позначення:

U_c - швидкість передачі даних в телекомунікаційній мережі;

$U(K)_{real}$ - усереднена величина бітової швидкості динамічного ВІР в процесі його передачі з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем. **Тут можна ввести поняття інформаційної щільності ДВІР за часом, тобто згідно розподілу в часовому просторі, біт/с.**

В такому випадку ефективність ІТОДВ буде пропорційно залежати щодо рівня зростання інформаційної щільності за часовим простором.

У виразі (1.9) не враховано затримка t_{beg} часу на обробку блоків відеокадру. В нашому випадку величина t_{beg} визначає затримку часу на кодування початкової частини відеокадру (тобто затримка для підготовки початкової порції кодованих даних для початку процесу передачі). Потім процес обробки буде поєднуватися з процесом передачі даних. Тому в цьому

випадку величина t_{beg} буде значно меншою ніж час на обробку всього потоку відеокадрів. Звідки t_{beg} є край малою величиною, значенням якої можна нехтувати.

4. Метрика оцінки достовірності динамічного ВІР, що визначається величиною h_{real} пікового відношення сигнал/шум. Для оцінки величини h_{real} на основі порівняння значень елементів початкового та реконструйованого ДВІР застосовується наступна формула:

$$h_{\text{real}} = 20 \lg \frac{2^{d_0} (v_1 W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}})}{\left(\sum_{\tau=1}^{v_1} \sum_{i=1}^{W(K)_{\text{ряд}}} \sum_{j=1}^{W(K)_{\text{стов}}} (x'(\tau)_{i,j} - x(\tau)_{i,j})^2 \right)} \quad (\text{дБ}). \quad (1.10)$$

Тут $x(\tau)_{i,j}$, $x'(\tau)_{i,j}$ - значення початкового і відновленого на приймальній стороні елементів відеокадрів в потоці; d_0 - кількість біт на двійкове представлення елементів початкового відеокадру; $W(K)_{\text{ряд}}$ $W(K)_{\text{стов}}$ - розмір відеокадру.

Нижній поріг такої метрики, для якого зберігається прийнятна якість візуалізації об'єктів КІФ, в залежності від рівня інформативності ДВІР за структурно-семантичним контентом, знаходиться на рівні 25 – 37 дБ.

В теж час сучасні інформаційні технології обробки ДВІР в режимі 30 кадрів/с необхідна інформаційна інтенсивність бітового потоку досягається тільки для рівня ПВСШ, що не перевищує 27 дБ. Це не дозволяє отримати повну та достовірну інформації про об'єкти КІФ.

Однак потреби сучасних систем управління відносно якості ДВІР висувають вимоги щодо можливості забезпечення такого режиму кодування, для якого досягається значення ПВСШ на рівні 40 дБ для формату не нижче ніж FullHD.

Залежності усередненого рівня k_{id} інформаційного ущільнення для різних стандартизованих технологій сімейства H26* наведено у вигляді графіків на рис. 1.6 [6 – 9; 16; 26 - 29; 31; 35; 44; 62; 68; 69; 71; 74; 79 - 82].

Дані на графіках отримані в результаті експериментальної обробки прикладів потоків кадрів ДВІР. Обробка ДВІР проводиться в умовах потокового режиму з забезпеченням умов близький до реального часу. При цьому в залежності від структурно-семантичної інформативності ДВІР потрібний рівень ПВСШ приймається на рівні 37 – 45 дБ. Найбільші вимоги по ПВСШ висуваються у разі обробки високоінформативних відеоресурсів. Інакше візуальні спотворення, що виникають в процесі скорочення психовізуальної надмірності супроводжуються значними втратами інформації та візуальної помітності.

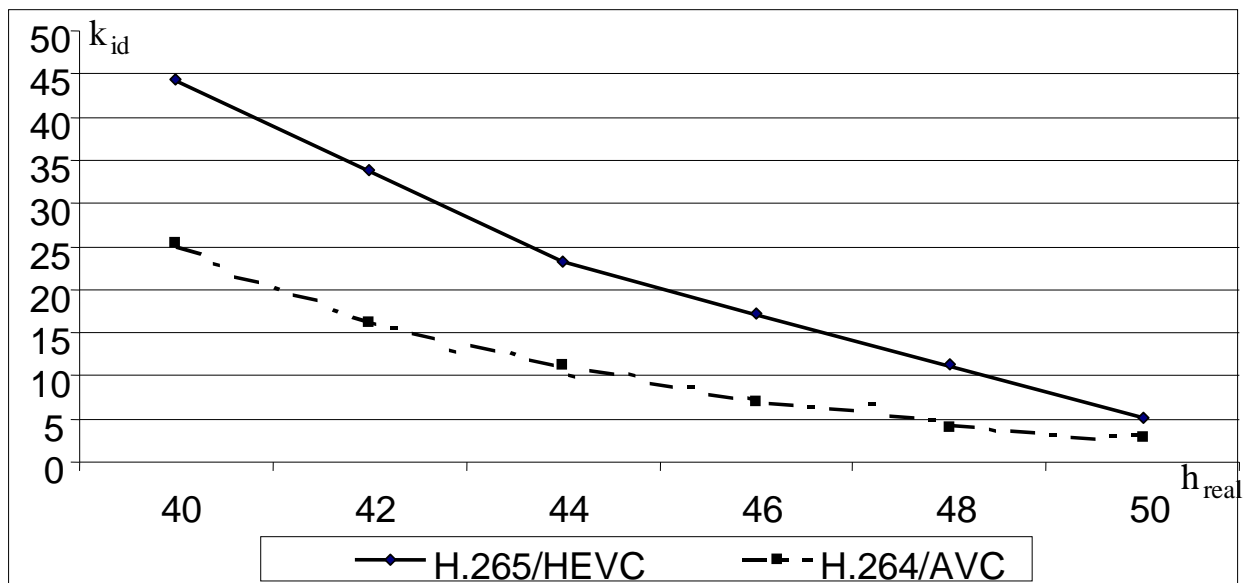


Рисунок 1.6. – Графіки залежності значень коефіцієнту k_{id} від рівня h_{real} ПВСШ

На основі отриманих результатів щодо рівня k_{id} інформаційного ущільнення зі застосуванням існуючих ІТОДВ, можна оцінити значення U_{real} реальних інформаційних швидкостей кодованого ДВІР в процесі його передачі з використанням телекомунікаційних технологій. Саме такі оцінки

для бездротових ІТКС класу, як WiFi та LTE-A(4G) наведено відповідно на рис. 1.7 та 1.8.

Як свідчать оцінки, що наведені на рис. 1.7 та 1.8 відносно значення величини U_{real} , то можна заключити те, що рівень інформаційної швидкості ДВІР в процесі його передачі з використанням бездротових ІТКС значно знижується у випадку забезпечення необхідних значень метрики достовірності та повноти інформації за величиною ПВСШ.

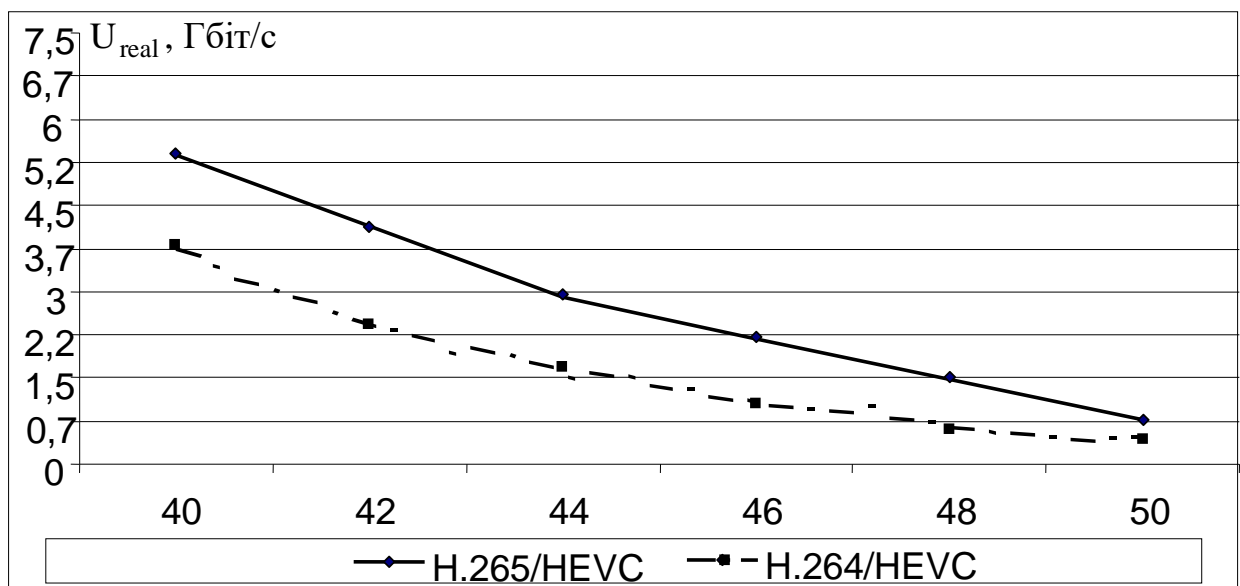


Рисунок 1.7. – Графіки залежність U_{real} від h_{real} у разі використання технології WiFi

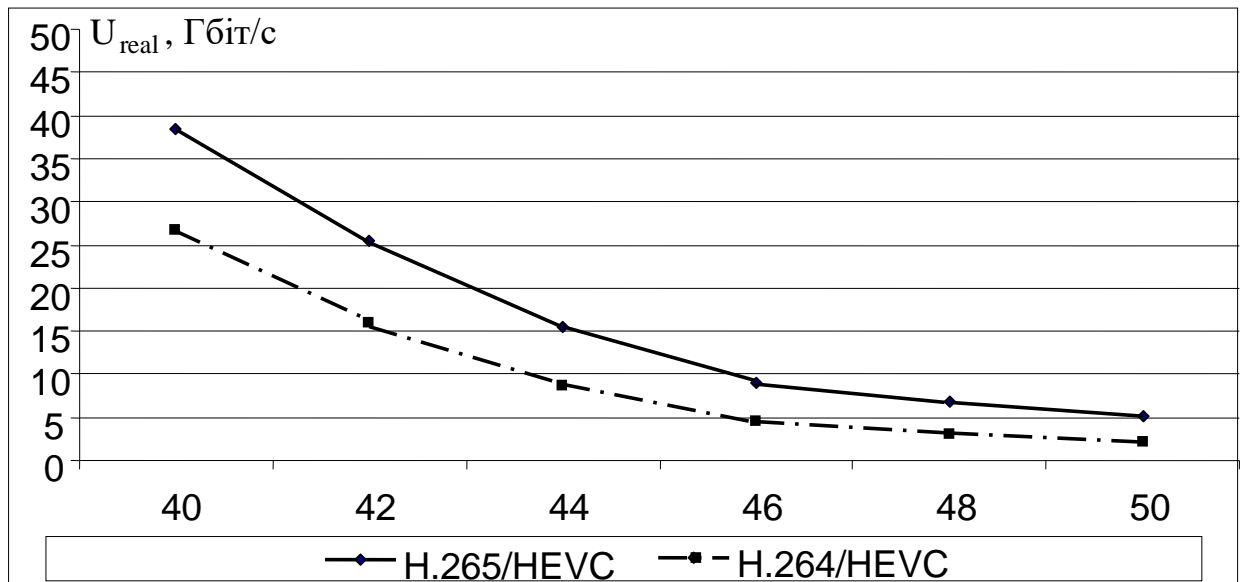


Рисунок 1.8. – Графіки залежність U_{real} від h_{real} у разі використання технології LTE-A

Отже перепаду значень ПВСШ від 40 до 50 дБ відповідає рівень зниження інформаційної швидкості ДВІР, а саме:

- від 7,5 Гбіт/с до 500 Мбіт/с з використанням технології WiFi;
- від 50 Гбіт/с до 2,5 Гбіт/с з використанням технології LTE-A.

Узагальнений аналіз даних, які наведено на графіках рис. 1.7, 1.8 та табл. 1.2, 1.3, дозволяє стверджувати наступне:

1) рівень реальної інформаційної швидкості ДВІР, що створюється за допомогою існуючих технологій ІТОДВ не створює умови для доставки інформації в реальному часі для частоти кадрів не менш ніж 30 кадрів/с, формату відеокадру не нижче ніж 4К, рівня достовірності не менш ніж 40 дБ у разі використання бездротових ІТКС (WiFi та LTE-A(4G)) з пропускними спроможностями 150 Мбіт/с – 1 Гбіт/с. В цих умовах рівень потрібної інформаційної швидкості перевищує реальні значення для кодованого ДВІР від 2,5 до 100 разів в залежності від частоти відеокадрів, їх формату, величини ПВСШ, типу технології ІТКС. В цьому випадку виникають часові затримки T_3 щодо доставки кодованого ДВІР з використанням існуючих

ІТОДВ та ІТКС, які сягають від декількох секунд до десятків хвилин (рис. 1.9);

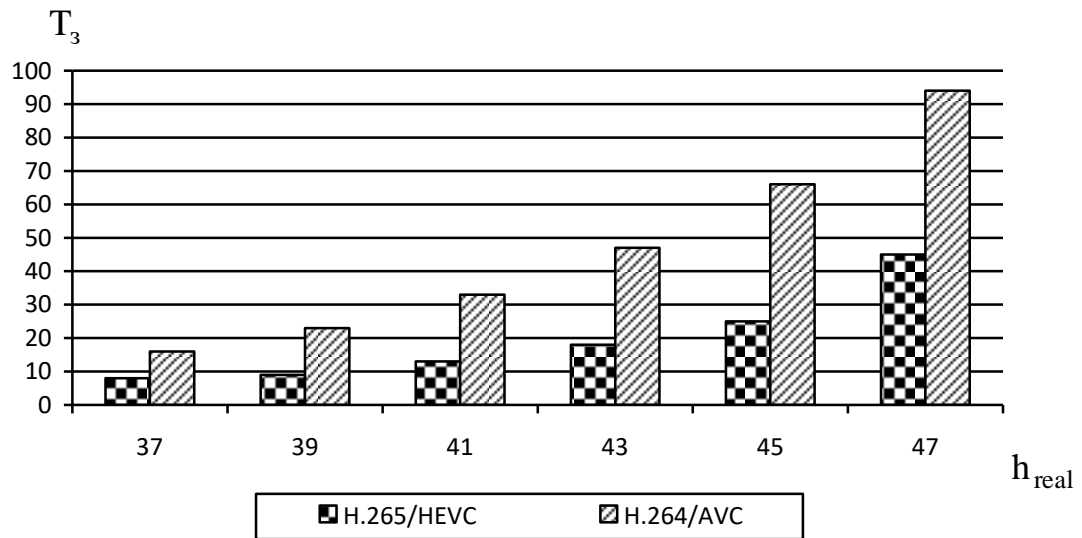


Рисунок 1.9. - Графіки залежності оцінки часових затримок T_3 від рівня ПВСШ h_{real} для формату відеокадру 8К с частотою 30 кадрів/с для $U_c = 100$ М біт/с

2) відповідність вимогам відеосервісів щодо забезпечення потрібного рівня інформаційної швидкості досягається у разі зменшення рівня достовірності та повноти ДВІР, а саме: формат кадру не перевищує формат HD; частота кадрів менш ніж 10 кадрів/с; величина ПВСШ не перевищує 22 дБ; втрата пакетів внаслідок переповнення буферів на вузлах мережі, перевищує 30 %.

В свою чергу, якість відеосервісів, що надаються, регламентується системою QoS, яка встановлює величини основних показників (табл. 1.5).

З додатковим врахуванням аналізу даних в табл. 1.5 можна заключити, що більшість даних технологій безпроводного доступу - зокрема - ADSL, HSPA/ HSPA+, UMTS і WiFi можуть забезпечити передачу обмеженої кількості потоків відео HD-формата.

Таблиця 1.5 –
Рекомендації QoS щодо величин основних параметрів сервісів

Тип сервісу	Коефіцієнт втрат пакетів δ_t	Джітер j_t	Затримка Δt доставки пакетів
Інтерактивнео відео	<1%	<30 мсек	<150 мсек
Потокове відео	<2%	-	4-5 сек
Голосовий зв'язок VOIP	<0,25%	<10 мсек	<150 мсек
Файло-обмін і електронний документообіг	Залежить від категорії додатку		

Разом з тим, трансляція відео вже формату 4K в мережах, побудованих з використанням даних технологій, неможлива. В той же час, як WiMax2, так і LTE-A дозволяють здійснювати трансляцію обмеженої кількості відеопотоків формату UHD. У свою чергу, технологія ІМТ2020 мережі 5G, є обмеженою в плані забезпечення потенційної можливості забезпечити ефективну передачу трафіку динамічних ДВІР в умовах постійного зростання їх інформаційної інтенсивності та збільшення кількості джерел відеоінформації в системі управління ОКІФ. Звідси можна зробити вивід, що в рамках існуючих бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій вимоги QoS щодо якості відесервісів (табл.1.5) не будуть забезпечені.

Слід також враховувати те, що для існуючих відомчих систем управління для дистанційної безпроводної передачі динамічного відеоконтенту використовуються в основному телекомунікаційні технології, які характеризуються пропускними спроможностями на рівні $U_c = 2 - 10 \text{ М біт/с}$. Тому затримки передачі ДВІР та втрати рівня його достовірності будуть ще більш значущими.

Отже знижується якість сервісів щодо надання динамічних відеоресурсів з потрібною повнотою, достовірністю та актуальністю. Це призведе до зниження ефективності функціонування систем управління об'єктами КІФ, а звідки до нанесення значної шкоди з позиції економіки, соціуму, політичних інтересів та оборо здатності держави.

Тому, спостерігається дисбаланс, який викликано, з одного боку, стрімким розвитком відеосервісів надання ДВІР та збільшенням їх кількості, а також збільшенням інформаційної інтенсивності джерел ДВІР, а з іншого боку - обмеженим зростанням пропускної спроможності бездротових телекомунікаційних мережі (рис.1.10).

1.4. Постановка задачі і формулювання мети досліджень

Концепція побудови існуючих стандартизованих ІТОДВ сімейства H26* та напрямків їх подальшого розвитку базується на:

- 1) модифікації відомих підходів відносно існуючих технологій скорочення надмірності;
- 2) організації зменшення інформаційної щільності кодованого опису ДВІР переважно за рахунок скорочення психовізуальної надмірності, що обумовлена відповідними закономірностями як внутрі кадру, так й між ними;

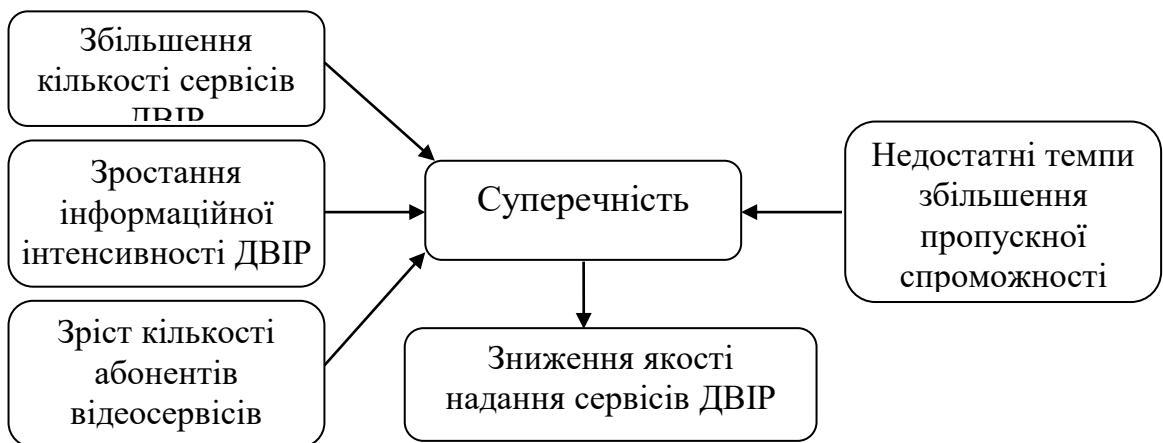


Рисунок 1.10 – Структурна схема дисбалансу в процесі функціонування сервісів надання ДВІР

3) використані методів усунення статистичної надмірності, які не створюють можливість для вагомого зменшення інформаційної інтенсивності бітового представлення ДВІР.

В теж час не приділяється необхідна увага розробці підходів стосовно створення технологій кодування за рахунок виявлення *нових* типів закономірностей, та виключення кількості відповідної надмірності. В тому числі:

- не приділяється увага щодо виявлення та скорочення надмірності, яка ґрунтується на структурно-комбінаторних та структурно-статистичних закономірностях внутрішньо - та між кадрового походження;

- значно мірою у своєму розвитку *відстають* технології кодування динамічних відеоресурсів, які враховують міжкадрові закономірності та особливості їх структурно-семантичного контенту. Довгий час переважно розвивалися наукоємні концепції для внутрішньо-кадрового кодування.

- нехтуються особливості моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, а саме наявності послідовностей відеокадрів зі стаціонарним структурно-семантичним контентом, що обумовлено стаціонарністю: деяких множин об'єктів КІФ; базової платформи відеосенсорів. Прикладами є відеореєстратори для об'єктивного контролю на залізничному транспорті, на нафтохімічних виробництвах, електростанціях, пожежонебезпечних районів, складах артозброєння (об'єктах критичної інфраструктури). Це зумовлює утворення природних чинників формування значної кількості міжкадрової надмірності для ДВІР.

У зв'язку з чим, для удосконалення ІТОДВ *пропонується* використовувати технологічний підхід, який базується на обробці послідовності кадрів ДВІР з використанням структурно-комбінаторного підходу, який враховує наявність значної кількості відповідної міжкадрової надмірності.

Звідси *мета досліджень* полягає в створенні методу ефективного кодування для підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем шляхом врахування міжкадрових структурно-комбінаторних закономірностей

Таким чином, потрібно створити метод ефективного кодування, що задається системою $F_{\text{encod}}(X; K; h; k_{\text{id}})$ кодо-утворюючих виразів:

$$E = F_{\text{encod}}(X; K; h; k_{\text{id}}), \quad (1.11)$$

та забезпечує підвищення реальної інформаційної швидкості $U(K)_{\text{real}}$ ДВІР X в процесі його передачі з використанням бездротових ІТКС пропускнуою спроможністю U_c до рівня коли задовольняються потреби відносно величини $U(K)_{\text{nes}}$ бітової швидкості, які задаються особливостями послуг надання відеосервісів, тобто:

$$U(K)_{\text{real}} = k_{\text{id}} \cdot U_c \geq U(K)_{\text{nes}} \quad (1.12)$$

в умовах досягнення необхідного рівня h_{nes} достовірності, повноти η_0 динамічної відеоінформації та зниження часу T_c її доставки, що задається відповідними співвідношеннями:

$$h_{\text{real}} \geq h_{\text{nes}}; \quad K \rightarrow \eta_0; \quad T_c \rightarrow \min. \quad (1.13)$$

Тут використовуються наступні позначення:

$h_{\text{real}}, h_{\text{nes}}$ - значення метрики достовірності за піковим відношенням сигнал/шум, що відповідає реальному та необхідному рівням;

K - коефіцієнт, який визначає формат відеокадру, для якого досягається необхідне значення роздільної здатності η_0

k_{id} - коефіцієнт інформаційного ущільнення кодованого ДВІР.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Створити модель оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення послідовності передбачених кадрів динамічного відеоресурсу.

2. Розробити метод динамічного кодування послідовності передбачених кадрів на основі виявлення та усунення міжкадрової структурно-комбінаторної надмірності без втрат достовірності інформації.

3. Побудувати технологічну концепцію інтегрування створених методів обробки передбачених кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів для підвищення інформаційної швидкості в процесі їх передачі з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем.

4. Створити програмні реалізації кодеків і провести порівняльну оцінку розроблених методів кодування динамічних відеоресурсів з відомими в умовах інформаційного забезпечення систем управління об'єктами критичної інфраструктури.

Висновки за першим розділом

На основі аналізу, проведеного в першому розділі можна зробити такі висновки :

1. Стверджено, що в процесі управління об'єктами КІФ, набирає попит відносно надання відеосервісів з використанням бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій, та з'являється можливість надання нових відеосервісів, в першу чергу пов'язаних з інтелектуалізацією процесів обробки. Саме виділяються наступні тренди розвитку інформаційного забезпечення:

1) з кожним роком збільшується процентна складова надання саме відеоінформаційних послуг відносно загального обсягу різних послуг, так у 2022 році вона досягне 85%;

2) складова надання відеопослуг зі застосуванням бездротових телекомунікаційних технологій, починаючи з 2019 року, перевищує відповідну складову, що використовує провідні канали зв'язку, в середньому на 13%.

3) в середньому на 14% на рік зростає обсяг (бітова інтенсивність) трафіку для різних сервісів надання відеоінформації.

2. В процесі інформаційного забезпечення систем управління об'єктами КІФ виникає протиріччя між з одного боку вимогами щодо якості надання динамічних відеосервісів в дистанційному режимі, а з іншого боку обмеженими пропускними спроможностями сучасних бездротових ІТКС. Отже можна стверджувати, що:

1) з одного боку особливості управління об'єктами КІФ в умовах наявності множини вразливостей та дестабілізуючих факторів диктують вимоги відносно необхідності підвищення бітової швидкості, повноти та достовірності ДВІР;

2) з іншого боку існує множина вразливостей та дестабілізуючих факторів внутрішнього та зовнішнього походження, які: спричиняють: зменшення пропускної спроможності бездротових ІТКС; додаткові втрати достовірності ДВІР; висувають додаткові вимоги щодо своєчасності, актуальності та повноти надання ДВІР.

Отже **науково-прикладна задача**, яка полягає у підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу в *інформаційно-телекомунікаційних системах* в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури, **є актуальною**.

3. Отримані результати проведених експериментальних досліджень щодо обробки ДВІР дозволяють стверджувати наступне. Рівень реальної

інформаційної швидкості ДВІР, що створюється за допомогою існуючих технологій ІТОДВ не створює умови для доставки інформації в реальному часі для частоти кадрів не менш ніж 30 кадрів/с, формату відеокадру не нижче ніж 4К, рівня достовірності не менш ніж 40 дБ у разі використання бездротових ІТКС (WiFi та LTE-A(4G)) з пропускними спроможностями 150 Мбіт/с – 1 Гбіт/с. В цих умовах рівень потрібної інформаційної швидкості перевищує реальні значення для кодованого ДВІР від 2,5 до 100 разів в залежності від частоти відеокадрів, їх формату, величини ПВСШ, типу технології ІТКС. В цьому випадку виникають часові затримки T_z , щодо доставки кодованого ДВІР з використанням існуючих ІТОДВ та ІТКС, які сягають від декількох секунд до десятків хвилин. Отже знижується якість сервісів щодо надання динамічних відеоресурсів з потрібною повнотою, достовірністю та актуальністю. Це призведе до зниження ефективності функціонування систем управління об'єктами КІФ, а звідки до нанесення значної шкоди з позиції економіки, соціуму, політичних інтересів та оборо здатності держави.

4. Концепціями побудови існуючих стандартизованих ІТОДВ сімейства H26* та напрямками їх подальшого розвитку не приділяється необхідна увага розробці підходів стосовно створення технологій кодування за рахунок виявлення **нових** типів закономірностей, та виключення кількості відповідної надмірності. В тому числі значною мірою у своєму розвитку **відстають** технології кодування динамічних відеоресурсів, які враховують міжкадрові закономірності та особливості їх структурно-семантичного контенту, в тому числі не достатньої мірою враховуються підходи до виявлення між кадрових структурно-комбінаторних закономірностей. У зв'язку з чим, для удосконалення ІТОДВ **пропонується** використовувати технологічний підхід, який базується на обробці послідовності кадрів ДВІР з використанням структурно-комбінаторного підходу, який враховує наявність значної кількості відповідної міжкадрової надмірності.

Звідси *мета досліджень* полягає в створенні методу ефективного кодування для підвищення бітової швидкості динамічного відеоресурсу з використанням інформаційно-телекомунікаційних систем шляхом врахування міжкадрових структурно-комбінаторних закономірностей.

Основні результати досліджень відносно матеріалів, викладених в першому розділі, опубліковані в таких наукових працях як: [12 – 14; 16; 65; 111].

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДУ ДО КОДУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ПЕРЕДБАЧЕНИХ КАДРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕДАЧІ ДИНАМІЧНОГО ВІДЕОРЕСУРСУ

Обґрунтовано, що загальним технологічним принципом в процесі кодування послідовності передбачених кадрів та їх окремих блоків в спектрально-диференційованому просторі для ІТОПДВ сімейства H26* є застосування локальної позиційно-диференційованої технології обробки кадрів в КТ-структурі в залежності від їх типу у потоці та ваги щодо досягнення компромісу між рівнем інформаційної інтенсивності бітового потоку динамічного відеоресурсу та їх цілісністю.

Стверджено необхідність представлення послідовності передбачених кадрів у вигляді сукупностей фрейм-сплайнових тензорів, які складаються з динамічної послідовності сукупностей параметрів структурних сплайнів спектрально-диференційованих блоків.

Виявлені проблемні недоліки для існуючих технологій обробки сукупності позиційних координат, які описують довжину незначимих компонент ТД-блоків.

Викладено основні етапи створення структурно-комбінаторного підходу для кодування динамічної послідовності передбачених кадрів на основі представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів в мультіадичному базисному просторі.

Надаються основні складові побудови моделі оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності передбачених кадрів в мультіадичному базисі.

2.1. Обґрунтування складових інформаційної технології обробки й передачі динамічних відеоресурсів

Концепція створення інформаційних технологій обробки й передачі кадрів динамічного відеоресурсу (ІТОПДВ) в системах надання відеоінформаційних сервісів формується з використанням технологій сімейства MPEG та H26x. Тут найбільш розповсюдженими є технології H264, H265 та H266. Базова архітектура таких інформаційних технологій представлена на рис. 2.1 та 2.2 [9; 12; 14; 16; 93; 94; 111; 116 – 118; 121; 123; 125; 131; 132; 137; 138].

Основне їх призначення полягає в підвищенні інформаційної швидкості $U(K)_{\text{real}}$ бітового потоку динамічних відеоресурсів (ДВ) із заданим рівнем K їх інформаційної повноти. Величина роздільної здатності визначає рівень такого показника, як повнота інформаційного ресурсу, тобто рівень можливості використовувати інформаційний ресурс для вирішення різних прикладних задач. В тому числі задач, що пов'язані з ідентифікацією об'єктів та розпізнаванням відеообразів. Повнота інформації є важливою складовою системної концепції процесів обробки інформації в межах створення компромісних рішень щодо цілісності та доступності інформації.

Інформаційна технологія обробки та передачі кадрів (ІТОПК) на базі використання платформ сімейства H26* (рис. 2.1, 2.2) має ієрархічну структуру фізичної композиції, схема якої наведена на рис. 2.3.

Виділяються наступні рівні ієрархії. На першому рівні розглядається фрагмент (Video sequence layer) потоку кадрів динамічного відеоресурсу, який складається з декількох послідовностей кадрів. Кожна така послідовність кадрів утворює групу кадрів або кадр-тензорну структуру (КТ-структура, Group of Pictures - GOP).

Відповідно на *другому рівні ієрархії* формується кадр-тензор (КТ, Group of Pictures - GOP). В процесі побудови існуючих та перспективних ІТОПК застосовується концепція компромісної обробки кадрів та їх

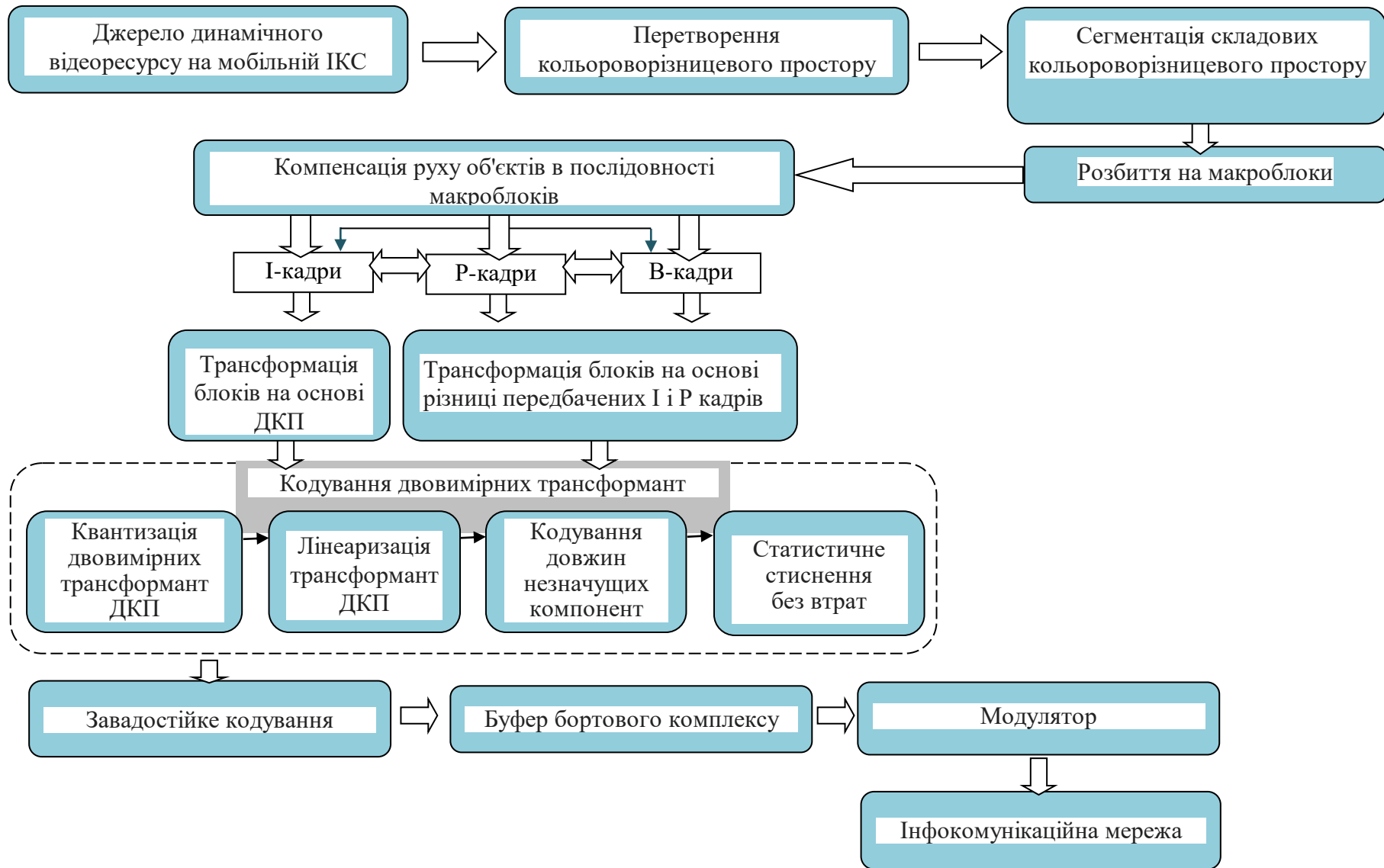


Рисунок 2.1. – Структурно-функціональна схема базових етапів інформаційної технології обробки й передачі динамічного відеоресурсу



Рисунок 2.2. – Структурно-функціональна схема базових етапів інформаційної технології обробки й передачі динамічного відеоресурсу (зворотний напрямок)

композиція за локальними групами, що утворює кадр-тензорну (КТ) структуру. Компромісна обробка кадрів базується на принципі зменшення рівня $V(\rho_0; t)_k$ інтенсивності бітового потоку в умовах скорочення психовізуальної надмірності до рівня коли ще досягається потрібна семантична цілісність відеоресурсу [7; 8; 18; 44; 52; 63; 64; 69; 84; 85; 93; 94; 99; 100; 104 – 108].

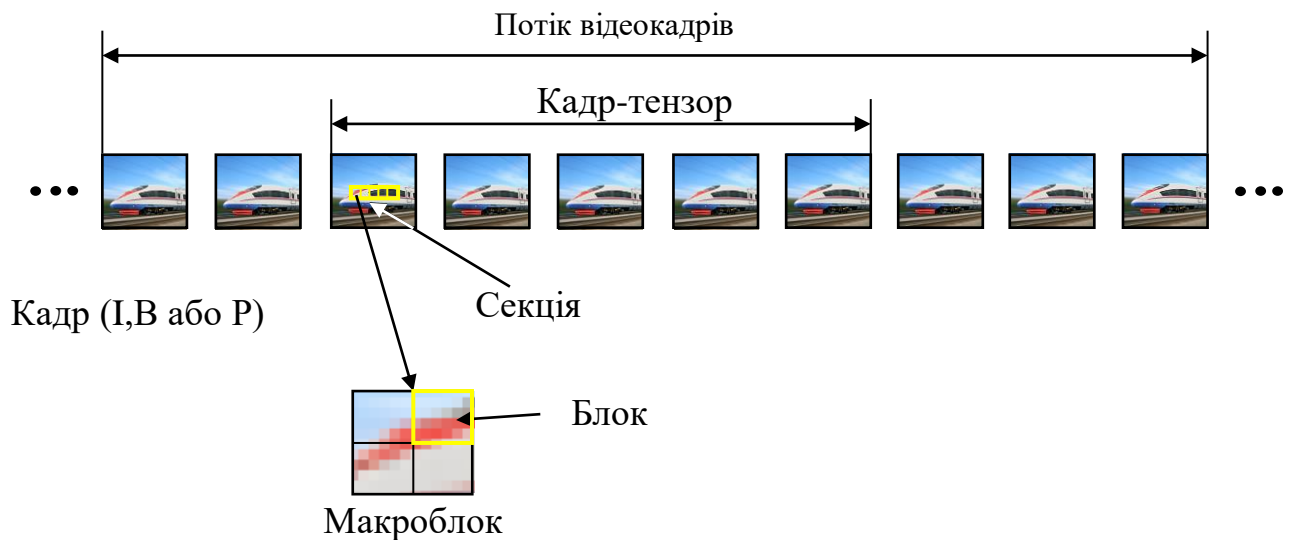


Рисунок 2.3.- Схема ієрархічної структури кадр-тензору платформи сімейства H26*

Компромісна обробка кадрів розуміє в собі створення *двох типів технологічних етапів їх кодування*, а саме:

1) перша технологічна архітектура застосовується для обробки кадрів, які призначено для найбільшого збереження цілісності інформації всієї локальної кадр-тензорної структури. Кадри такого типу визначаються, як базові кадри (кадри I-типу, Intra);

2) друга технологія використовується для кодування кадрів, які призначено для найбільш допустимого зменшення інформаційної інтенсивності бітового потоку. Саме такі кадри обробляються з внесенням найбільшого рівня корекцій стосовно зорової моделі сприйняття візуальної

інформації. Кадри такого типу позначаються як кадри В-Р типів (Р-типу, Predicted та В-типу, Bidirectional).

Отже в такій концепції реалізується *локальний позиційно-диференційований* принцип обробки кадрів в КТ-структурі в залежності від типу кадру у потоці, а саме:

1) локальність полягає в тому, що технологічна лінія обробки застосовується до окремих послідовностей кадрів (8; 12, 15, 30 кадрів). У цьому випадку відеопотік ділиться на локальні підпотоки – КТ-структури;

2) обробка відеокадрів, в межах кожної локальної послідовності, проводиться диференційовано в залежності від їх позиції.

Для базових кадрів технологія обробки використовує внутрішньокадровий принцип. В цьому випадку зменшення інформаційної інтенсивності в основному досягається за рахунок усунення надмірності, яка обумовлена наявністю закономірностей в межах окремого кадру.

Навпаки друга технологічна концепцію базується на принципі усунення не тільки внутрішньокадрової надмірності, але й надмірності, що обумовлена виявленням психовізуальних, структурних та статистичних закономірностей між кадрами в КТ-структурі. Кадри такого типу визначаються шляхом прогнозування відносно суміжних кадрів в КТ-структурі. Якщо прогнозування здійснюється відносно попереднього кадру, то вони позначаються як кадри Р-типу. У разі, коли кадри обробляються в залежності від двох суміжних кадрів (попереднього, та послідуочого), то вони визначаються як кадри В-типу. Отже кадри В-Р типів в загальному випадку обробляються відносно кадрів І-типу, або кадрів Р-типів (рис.2.4). Саме на кадри В-Р-типів покладається вагома роль щодо забезпечення балансу між інтенсивністю кодованого потоку і цілісністю динамічного відеоресурсу в умовах потрібної повноти інформації.

Відповідно до чого, позиційно-диференційований принцип полягає в тому, що:

- перший кадр в КТ-структурі є базовим і для нього реалізується внутришньокадрова обробка. Даний тип кадрів є опорним для інших кадрів в КТ-структурі, та відповідно несе основне інформаційне навантаження як по інформаційній інтенсивності, так і за якістю реконструкції кадрів;

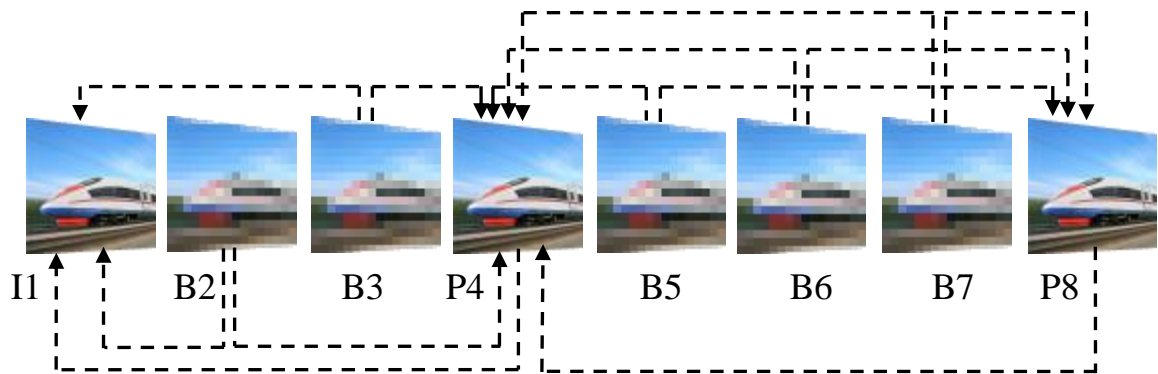


Рисунок 2.4 – Схема позиціонування кадрів в кадр-тензорній групі для ІТОПК сімейства H26*(варіант)

- наступний кожен третій кадр в КТ-структурі визначається як кадр Р-типу;

- інші кадри (на позиціях між базовими та кадрами Р-типу) ідентифікуються як кадри В-типу. Такі кадри обробляються із врахуванням виявлення залежностей за двома кадрам, а саме: попередньому та наступному.

Формування кадр-тензорної структури може здійснюватись за:

а) фіксованим принципом. В цьому випадку кадр-тензор складається з одного опорного І-кадру і 7, 11, 14 або 29 кадрів Р- та В-типу;

б) адаптивним принципом в залежності від складності потоку відеокадрів або вимог за цілісністю та доступністю. Обираючи тип блоку, також необхідно враховувати три основні умови, що визначають ефективність процесу кодування: бітову швидкість, обчислювальну здатність системи і необхідну якість кадру, що розглядається. У відповідності до цих умов

обирається як кількість I-, P-кадрів у відеопотоці, так і кількість I-, P-блоків всередині P-кадру.

Кожен кадр-тензор починається з кадру I-типу і з певною періодичністю містить кадри B-P типів (рис. 2.4). Отже для реконструкції кадр-тензору потрібно виконати умови, які полягають в наступному:

- с початку забезпечити відновлення кадру I-типу;
- потім забезпечити щоб до моменту відновлення поточного кадру B-P-типу всі кадри, які вносять в нього свій внесок, повинні вже бути присутніми у пам'яті декодери (рис. 2.4).

Третій рівень ієрархії технологічної концепції ІТОПДВ представлено окремими кадрами. Це може бути кадр одно з двох типів: I типу або B-P типу.

Наступний рівень ієрархії (*четвертий рівень*) формує секції. Кожна така секція представляється послідовністю макроблоків. Кількість макроблоків в секції як правило дорівнює ширині кадру.

Відповідно декомпозиція секцій кадрів на *n'ятому рівні* ієрархії будується окремими макроблоками. В стандартній концепції платформи H26* прийнято розмір макроблока 16 x 16 пікселів.

Отже в процесі досліджень ІТОПДВ сімейства H26* виділено загальну складову обробки послідовності передбачених кадрів та їх окремих блоків в спектрально-диференційованому просторі. Показано, що тут базовий принцип полягаю у застосуванні локальної позиційно-диференційованої технології обробки кадрів в КТ-структурі в залежності від їх типу у потоці.

2.2. Обґрунтування підходу для динамічного кодування послідовності передбачених кадрів для підвищення ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі відеоресурсу

Підвищення ефективності функціонування технологій ІТОПДВ пов'язано із покращанням якості надання відеоінформаційних сервісів в системі управління профільними організаціями. Така ситуація характеризується наявністю актуальної проблематики досліджень, що диктується наявністю дисбалансу. З одного боку, це вимога щодо підвищення доступності та цілісності надання відеоінформаційних сервісів, що веде до збільшення їх інформаційної інтенсивності. З іншого боку, наявність цілого ряду обмежень [4; 7; 11; 18; 50; 52]. Такі обмеження стосуються характеристик інфокомунікаційних технологій, в тому числі тих, що використовують тракт бездротової передачі даних. Це стає особливо критичним у випадку необхідності реалізації відеоінформаційної взаємодії або організації збору відеоінформації з дистанційних сенсорів, та в умовах наявності інформаційної протидії.

Отже для зниження бітової інтенсивності потрібно удосконалювати інформаційні технології кодування та передачі потоку кадрів динамічного відеоресурсу. Таке удосконалення *пропонується* проводити в напрямку створювання нових методів та інформаційної технології обробки послідовності В-Р кадрів. Значна увага розвитку цього напрямку приділяється науковою групою під керівництвом професора Баранніка Володимира Вікторовича.

Спочатку розглянемо стандартний процес обробки В-Р-кадрів згідно технологій сімейства H26*. Типова схема технології кодування В-Р-кадрів наведена на рис. 2.5. Обробка кадрів В-Р типів базується на скороченні декількох видів надмірності, а саме:

1) надмірність, яка не пов'язана з врахуванням особливостей зорової системи відносно сприйняття відеоінформації. Сюди відносяться такі типи надлишковості:

а) типи надлишковості (надмірності), які базуються на врахуванні закономірностей в межах окремих кадрів (внутрішньо-кадрової природи). Тут найбільш характерними є такі види надмірності:

- типи надмірності в початковому просторі кольорових моделей відеозображень або просторово-часові. Враховуються структурні та статистичні закономірності;



Рисунок 2.5. - Структурно-функціональна схема кодування кадрів В-Р типу для інформаційної технології обробки та передачі кадрів динамічного відеоресурсу

- типи надмірності в спектральному представленні відеозображень або спектрально-просторові (Фур'є-аналіз) та спектрально-часові (Вейвлет-аналіз). Враховуються закономірності в частотних складових спектру;

б) типи надмірностей, які враховують наявність закономірностей між кадрами в потоці. В залежності від математичного апарату, який застосовується до обробки кадрів, можна виділити такі типи міжкадрової надлишковості:

- у разі застосування тривимірних ортогональних перетворень з'являється можливість виявлення закономірностей в між кадровому спектральному просторі. Отже тут маємо справу з міжтрансформантними закономірностями ;

- між кадрові закономірності, які ґрунтуються на виявленні характерних особливостей в структурному або/та статистичному опису потоку кадрів.

2) клас типів надмірностей, які базуються на обліку психовізуальних особливостей сприйняття відеозображень з боку особливостей зорової системи. Зрозуміло, що тут в загальному випадку також виділяються два напрямки, а саме:

- врахування психовізуальних закономірностей в межах окремих кадрів, в тому числі як в початковому опису відеокадрів, так в їх спектральному опису;

- облік закономірностей психовізуальної природи між кадрами в потоці, в тому числі з врахуванням затримок зорової системи відносно швидкості аналізу інформації великих об'ємів (відео потік);

3) надмірності, які враховують семантику відеоресурсу. Такі підходи мають враховувати специфіку прикладних сфер, в інтересах яких використовується відеоресурс.

Проведемо дослідження технологічних концептів стосовно організації базових варіантів обробки динамічного відеоресурсу (ДВІР). Відповідно до схеми, що наведена на рис. 2.5, можна виділити такі концепти.

Організація моделі кольорового опису відеозображення та потоку відеокадрів. Зрозуміло, що тип кольорової моделі повинен обиратися фіксованим для всіх кадрів у послідовності. Вибір кольорової моделі впливає на

умови послідуєчих етапів відносно виявлення закономірностей різних типів, та скорочення відповідних видів надмірності. Існуючі інформаційні технології ІТОДВ використовують кольоро-різнесцеві моделі. З одного боку тут враховуються особливості зорової системи щодо диференційного сприйняття простору яркісної моделі та кольорових-допоміжних. З іншого боку вже на цьому етапі вносяться перекручування, які у разі обробки високоінформативних відеоресурсів можуть спричинити часткову втрату його достовірності (цілісності). Основними моделями тут є такі моделі, як $YCbCr$ або YUV . Вони мають різні можливості з позиції оцінки рівня статистичної невизначеності та втрат рівня цілісності в відеоінформації. Допоміжні кольорові компоненти C_b та C_r є другорядними. Такі компоненти мають більшу кількість психовізуальної надмірності у порівнянні з яркісною. Це створює потенційні умови для додаткового підвищення рівня інформаційного ущільнення відеоресурсу. В цьому випадку для компонент C_r та C_b можуть додатково застосовуватись такі технологічні механізми, як: зменшення роздільної здатності; субдискретизації; квантування спектрального представлення з більшим коефіцієнтом корекції відносно зорової моделі. На цьому етапі може скорочуватись психовізуальні види надмірності в просторово-часовому та просторово-спектральному описах.

Організація усунення типів надмірності динамічного ресурсу повинна враховувати баланс між закономірностями, які існують в межах кадру та в межах їх послідовності. В іншому випадку є такі типи надмірності, які притаманні одночасно як для внутрішньої так й для міжкадрової ланки ДВІР. Отже стандартизованим є підхід, коли внутрішньо та між кадрова надмірності враховуються та усуваються в пере межувальному порядку. Якщо спочатку здійснюється між кадрова обробка, то потім проводиться обробка в межах окремих кадрів, або навпаки. Варіант, коли спочатку організується внутрішньо кадрова обробка, наприклад зі застосуванням дискретного косинусного перетворення, а потім між кадрова – диференційована, розглядається в таких роботах, як [8; 9; 93]. Однак, для такого підходу ефективність, тобто

підвищення інформаційної швидкості ДВІР, буде залежати від наявності та розмірів областей стаціонарного фону між відеокадрами в потоці. В той же час у разі відео забезпечення об'єктів критичної інфраструктури виникають ситуації, коли об'єкти є динамічними. В цьому випадку області стаціонарного фону будуть мати обмежені розміри та зберігатися для незначної кількості відеокадрів у потоці. Це значної міри зменшує ефективність процесів інформаційного ущільнення ДВІР. Отже розглянемо концептуальний варіант, коли спочатку проводиться обробка, яка враховує наявність між кадрових залежностей. З тим, щоб потім компенсувати не достатній рівень інтегрованості мета-закономірностей на внутрішньо кадровій структурі. А потім вже створити структуру, яка допускає врахування закономірностей за трьома напрямками. Для створення можливостей за часом відносно перебалансування навантаження за кількістю операцій між початковими етапами обробки ДВІР, та кінцевими пропонується на першому етапі врахування між кадрових закономірностей використовувати більш економічні математичні перетворення. Це дає змогу зекономити витрачати час для послідуєчих етапів процесу обробки всього ДВІР, які є більш наукоємними та енергозатратними. Отже організується диференційоване представлення поточних кадрів шляхом передбачення вперед за попереднім кадром І-типу або кадру В-Р-типів. Тут збільшення інформаційного ущільнення досягається за рахунок усунення між кадрової надмірності, яка обумовлена незначною зміною структурно-семантичного контенту між сусідніми відеокадрами та/або врахуванням кореляційних залежностей.

Для кадрів В-Р типів в результаті міжкадрової обробки формується диференційоване представлення відносно відповідних елементів в опорному (попередньому В-Р або базовому) кадрі. Також в цьому випадку може задіяти міжкадрове кодування з передбаченням. Схема такої міжкадрової обробки представлена на рис. 2.6.

Для врахування в процесі обробки диференційованих кадрів локальних закономірностей пропонується с початку провести їх розподіл на окремі блоки (рис. 2.6) [6; 18; 44; 116 – 118; 121; 123; 125]. Як правило розмір блоку складає 8×8 або 16×16 . На рис. 2.6 показано розбиття кольорової компоненти $X(\tau)$ для τ -го кадру на блоки $X(\tau)_{\chi,\gamma}$ розміром $w \cdot w$.

На цьому рисунку прийняті наступні позначення: τ - позиція кадру у кадр-тензорній структурі; $(\chi;\gamma)$ - координата блоку $X(\tau)_{\chi,\gamma}$ у відеокадрі.

Відповідно сукупність кадрів $X(\tau)$ за τ , де $\tau = \overline{1, T}$, утворюють кадр-тензорну (КТ) структуру X_T (рис. 2.7), що описується наступним виразом:

$$X_T = \{X(\tau)\}, \quad \tau = \overline{1, T}.$$

Отже порядок обходу кадрів та блоків в КТ-структурі визначає концептуальний підхід для побудови всієї ІТОДВ. Як показано на рис. 2.7, в нашому випадку спочатку проводиться між кадрова обробка, тобто визначається рівень кореляційних залежностей між сусідніми кадрами в потоці. Відповідно рівень таких зв'язків буде відображатися на внутрішньо кадровій структурі у вигляді откликів диференційовано представлених елементів відеокадрів.

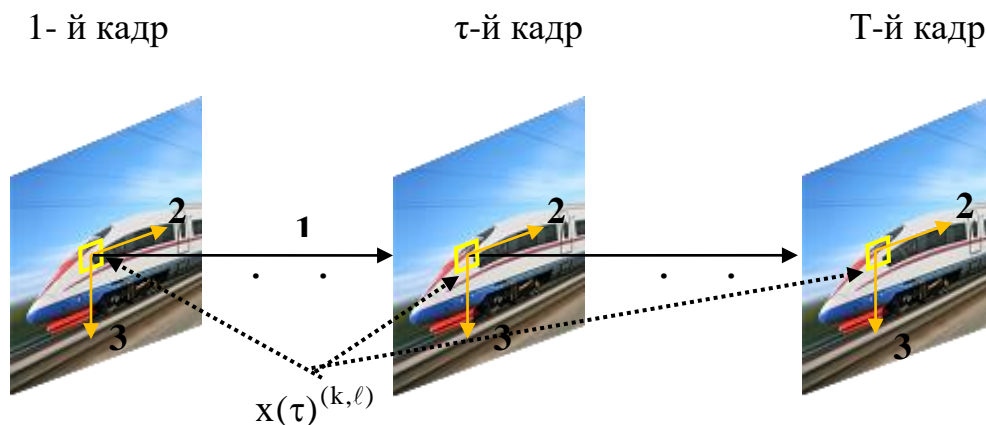


Рис. 2.7. Схема кадр-тензорної структури для послідовності В-Р кадрів

Диференційне представлення В-Р кадрів формується в результаті обчислення відповідної різниці $e(\tau + 1)^{(i,j)}$ між значеннями елемента $x(\tau + 1)^{(k,\ell)}$ поточного $(\tau + 1)$ - кадру із відповідним (k, ℓ) -м елементом $x(\tau)^{(k,\ell)}$ у попередньому кадрі (рис. 2.7). А саме [6; 8; 9; 116 – 118; 123; 125]:

$$e(\tau + 1)^{(i,j)} = x(\tau + 1)^{(i,j)} - x(\tau)^{(i,j)}, \quad (2.1)$$

де $x(\tau)^{(i,j)}$ - значення (i, j) -го елемента для τ -го відеокадру у кадр-тензорній структурі для послідовності кадрів В-Р типів.

Для отримання значення початкового елемента кадру на приймальній стороні, навпаки, до попереднього значення додається різниця $e(\tau + 1)^{(i,j)}$. Це задається наступною формулою:

$$x(\tau + 1)^{(i,j)} = x(\tau)^{(i,j)} + e(\tau + 1)^{(i,j)}. \quad (2.2)$$

Множина передбачених різницевих значень $e(\tau)^{(k,\ell)}$ для В-Р кадру $X(\tau)_{\chi,\gamma}$ представляється блоком $E(\tau)_{\chi,\gamma}$, розміром $w \times w$ елементів, що записується як:

$$E(\tau)_{\chi,\gamma} = \{e(\tau)^{(k,\ell)}\}; \quad \chi = \overline{1, (W_{\text{стр}} / w)}; \quad \gamma = \overline{1, (W_{\text{стб}} / w)}, \quad (2.4)$$

Тут $e(\tau)^{(k,\ell)}$ – (k, ℓ) -я диференційоване значення елемента $(\chi; \gamma)$ -го блоку для τ -го кадру; $(W_{\text{стр}} \cdot W_{\text{стб}} / w \cdot w)$ - кількість блоків, розміром $w \times w$, які складаються для кадру, що містить $W_{\text{стр}} \cdot W_{\text{стб}}$ елементів [6; 116 – 118; 123; 125].

Сукупність $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ диференційованих елементів $e(\tau)^{(k,\ell)}$ передбаченого кадру утворює диференціальне представлення блоку $X(\tau)_{\chi,\gamma}$ для τ -го початкового кадру, а саме:

$$F_e : X(\tau)_{\chi,\gamma} \rightarrow E(\tau)_{\chi,\gamma}.$$

Тут F_e - функціонал, що задає процедуру формування міжкадрового диференціального представлення у разі якщо спочатку здійснюється між кадра обробка, а потім механізми внутрішньокадрової обробки.

Подальша обробка кадрів В-Р типів для існуючих технологій сімейства H26* зводиться до кодування трансформант їх блоків в диференційованому виді. Для такого процесу скорочується внутрішньокадрова надмірність, яка обумовлена структурно-статистичними та психовізуальними закономірностями спектрального представлення блоків В-Р типів.

Для скорочення структурно-статистичної надмірності попередньо проводяться наступні етапи:

- формування макроблоків для кадрів у диференційному описі, які будуються чотирма блоками рівних розмірів;
- формування просторово-спектрального представлення кожного блоку диференційованого кадру В-Р типів на основі виконання двовимірного дискретного косинусного перетворення.

Конвеєр технологічних перетворень представляється такими механізмами:

1. Підготовка макроблоків до кодування. Тут диференційований В-Р кадр розбивається на блоки розміром 8×8 або 16×16 . Далі суміжні 4 блоки в квадратній структурі об'єднуються в один макроблока.

2. Після чого для макроблоків, які відповідають кольоровим компонентам C_r , C_b , проводиться субдискретизації. Такий процес полягає у інтерполюванні окремих блоків на основі інформації опорних блоків. В результаті додатково

скорочується психові зальна надмірність, та зменшується кількість блоків, що потрапляють на подальшу обробку.

3. Отримання просторово-спектрального опису блоків В-Р кадрів. Такий технологічний процес визначається як трансформування блоків диференційованих В-Р кадрів з використанням функціоналу F_{dct} дискретного косинусного перетворення (ДКП). Умовно таке перетворення з використання функціоналу f_{dct} для τ -го кадру із диференційованого виду $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ в трансформаційно-диференційоване $Y(\tau)_{\chi,\gamma}$ (ТД) задається наступним співвідношенням [6; 18; 44; 116 – 118; 121; 123; 125; 131; 132; 137; 138]:

$$F_{\text{dct}} : E(\tau)_{\chi,\gamma} \rightarrow Y(\tau)_{\chi,\gamma}.$$

Просторово-спектральне представлення здійснює переконцентрацію структурно-енергетичних характеристик початкового блоку кадру. Це в свою чергу дозволяє:

- виявити структурно-статистичні та психовізуальні закономірності в трансформантах;
- враховувати укрупнені кореляційні залежності між декількома елементами зображення.

Такий технологічний етап обробки В-Р-кадрів узгоджується зі стандартною технологією сімейства H26*, та відповідає умовам інтеграції в її загальну концепцію відносно обробки потоку відеокадрів.

В результаті виконання ДКП-перетворення формуються блоки коефіцієнтів базисних функцій, які в подальшому будемо позначати як трансформанта $Y(\tau)_{\chi,\gamma}$ [6; 9; 12; 10; 109]:

$$Y(\tau)_{\chi,\gamma} = \begin{vmatrix} y(\tau)^{(1,1)} & \dots & y(\tau)^{(1,\ell)} & \dots & y(\tau)^{(1,w)} \\ & & \dots & & \\ y(\tau)^{(k,1)} & \dots & y(\tau)^{(k,\ell)} & \dots & y(\tau)^{(k,w)} \\ & & \dots & & \\ y(\tau)^{(w,1)} & \dots & y(\tau)^{(w,\ell)} & \dots & y(\tau)^{(w,w)} \end{vmatrix};$$

$$\chi = \overline{1, (W_{\text{стр}} / w)}; \quad \gamma = \overline{1, (W_{\text{стб}} / w)},$$

Сукупність трансформант для фіксованого τ утворюють трансформований диференційований кадр (ТДК) $Y(\tau)$ В-Р типів, що описується наступним виразом [6; 8; 9; 12; 10; 16; 93; 109]:

$$Y(\tau) = \{Y(\tau)_{\chi,\gamma}\}, \quad \chi = \overline{1, W_{\text{стр}} / w}, \quad \gamma = \overline{1, W_{\text{стб}} / w}.$$

Тут $W_{\text{стр}} / w$ та $W_{\text{стб}} / w$ - кількість трансформант у напрямку рядків та стовпців кадру.

4. Врахування особливостей зорової системи та скорочення відповідної кількості психовізуальної надмірності будується в результаті обліку відносно низької чутливості сприйняття перекручувань в області високих частот, в порівнянні зі спотвореннями для низькочастотних компонент. Тут застосовуються різні види скалярного або векторного квантування. Для зменшення кількості службової інформації відносно апарметрів такого процесу, що впоиває на загальне значення інформаційного ущільнення організується скалярне квантування за параметром фактору якості або фактору допустимих корекцій високочастотних компонент відносно психовізуальних особливостей їх сприйняття виконується скалярне квантування (укрупненої дискретизації). Отже виконується умова нерівномірного квантування та перерозподілу семантичного впливу початкового контенту у відповідності до позицій частотних

складових спектру, а саме: низькочастотні компоненти зберігають більшу детальність, а високочастотні – навпаки меншу.

5. Надалі обробка проводиться у відповідності до усунення надмірностей без втрати цілісності інформації. Виконуються технології для скорочення структурно-статичної надмірності за статичним або контекстно-динамічним режимах. Тут важливим є врахування особливостей прикладної сфери, для якої організується відеоінформаційне забезпечення з використанням інформаційних технологій обробки ДВІР. Звідки можливе організація процесу кодування як для безпосередньо компонент трансформант або диференційовано описаних блоків передбачених кадрів, так й для їх метаданих. Так в роботах розглядаються підходу до кодування всієї трансформанти. Але тут не враховуються мета закономірності, незобезпечується механізм скорочення кількості даних попередньо до їх кодування, існують певні обмеження щодо скорочення міжкадрової надмірності. Тим паче такі недоліки виникають у разі обробки окремих елементів трансформант диференційованих блоків з внутрішньо кадровими механізмами. Тому проводиться формування мета урону для опису ТД-блоків передбачених кадрів. Для зменшення складності обчислювального процесу використовується попередньо лінеаризація ТД-юлоків. Організується процес зигзаг-сканування с послідуочим формуванням структурних сплайнів нульового порядку для опису послідовностей не значимих компонент трансформанти. Зігзаг-сканування двовимірної трансформанти $Y(\tau)_{\chi,\gamma}$, до одновимірного вектору $Y(\tau)_{\chi,\gamma}^{(1)}$, описується за допомогою виразу [6; 8; 9; 12; 10; 16; 31; 57; 93; 109]:

$$Y(\tau)_{\chi,\gamma} \rightarrow Y(\tau)_{\chi,\gamma}^{(1)}.$$

6. Розгляд цілком всього одновимірного векторного опису ТД-блоку $Y(\tau)_{\chi,\gamma}^{(1)}$ (*диференційованого опису блока в спектральному просторі*) створює можливість для виявлення укрупнених структурно-статистичних

закономірностей. Одна з ключових технологій кодування одновимірних ТД-блоків для стандартизованих ІТОПК сімейства H26* полягає в побудові структурних сплайнів $S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ нульового порядку (ССНП). Тут величина δ визначається як фактор корекції відносно зорової моделі сприйняття відеозображення, u - індекс позиції сплайну в ТД-блоці. Структурний сплайн $S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ нульового порядку для $(\chi; \gamma)$ -го ТД-блоку τ -го кадру в КТ-структурі формується на основі використання базису виділення значимих компонент $z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ та відповідно довжин $\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ послідовностей незначущих компонент ТД-блока. Отже його опис задається такою формулою:

$$S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} = \{ \ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}; z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} \}.$$

Тут $\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ - довжина u -ї послідовності незначущих компонент, які знаходяться перед значущою компонентою $z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ для $(\chi; \gamma)$ -го ТД-блоку τ -го кадру.

Найчастіше як ознака виділення значущості компонент виступає граничний (пороговий рівень) рівень, нижче якого компоненти ТД-блоку встановлюються як незначущі. Після чого послідовність суміжних незначущих компонент заміняється їх довжиною, що показано на рис. 2.8 [12; 15; 64].

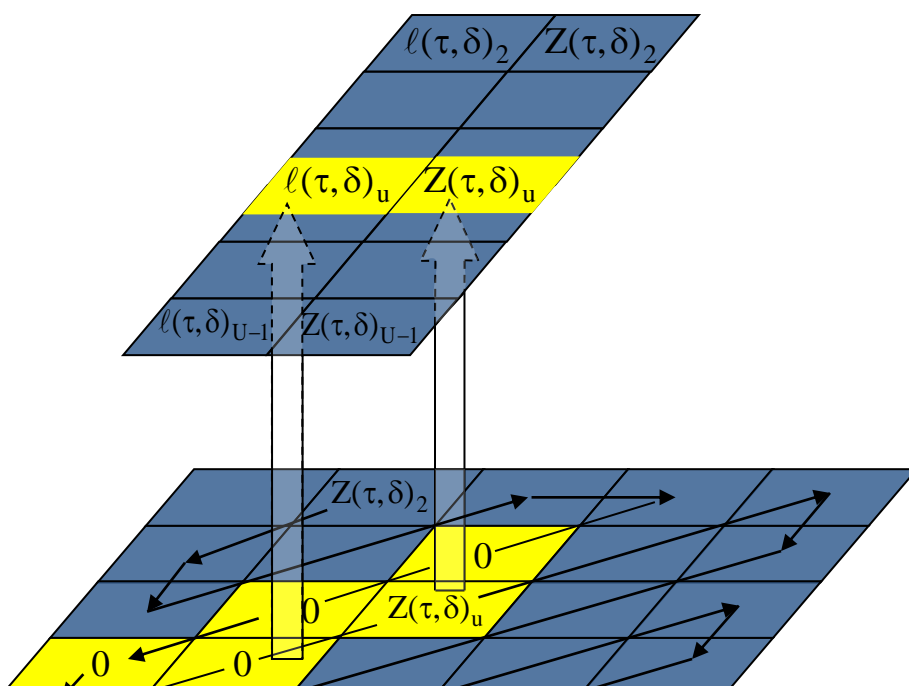


Рисунок 2.8. – Схема формування параметрів структурних сплайнів нульового порядку для ТД-блоків кадрів КТ-структури

Отже можна надати наступну трактовку параметрам ССНП, а саме: $\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ - позиційна координата u -го ССНП та відповідно $z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ - його спектральна координата в $(\chi; \gamma)$ -му одновимірному ТД-блоці для τ -го кадру КТ-структури у випадку застосування стратегії квантування з параметром δ .

За рахунок побудови мета-рівня опису ТД-блоку шляхом виявлення ССНП та представлення їх параметрів забезпечується усунення психовізуальної та структурно-статистичної надмірності, а також надлишкової кількості даних для подальшої обробки. Важливе місце тут посідає позиційна координата ССНП. Формування такої мета-структури дозволяє послідовність незначимих компонент ТД-блоку представити одним скалярним числом-ознакою. Зі зростанням довжини послідовностей незначущих компонент тобто зі зростанням значення позиційної координати досягається збільшення ефективності процесу обробки щодо ступеня підвищення бітової швидкості ДВІР. Враховується розташування послідовностей незначимих компонент ТД-блоку в напрямку їх діагональ. Тому для збільшення кількості надмірності, що усувається, у стандартизованих ІТОДВ обхід компонент ТД-блоку здійснюється за зигзагоподібним напрямком. В загалі для кожного ТД-блоку в залежності від його структурно-семантичного навантаження будується різна кількість структурних сплайнів.

В результаті формування ССНП $S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ для $(\chi; \gamma)$ -го одновимірного ТД-блоку $Y(\tau)_{\chi, \gamma}^{(1)}$ буде описуватися наступною послідовністю $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$:

$$Y(\tau)_{\chi, \gamma}^{(1)} = S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} = \{ \{ \ell(\tau; \delta)_{1, \chi, \gamma}; z(\tau; \delta)_{1, \chi, \gamma} \}; \dots; \{ \ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}; z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} \}; \dots; \dots; \{ \ell(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma}; z(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} \} \}$$

або

$$Y(\tau)_{\chi, \gamma}^{(1)} = S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} = \{ S(\tau; \delta)_{1, \chi, \gamma}; \dots; S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}; \dots; S(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} \}.$$

Тут $U(\tau, \chi, \gamma)$ - кількість ССНП для $(\chi; \gamma)$ -го ТД-блоку τ -го кадру КТ-структури.

Сукупність ССНП $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$, що будуються для окремого ТД-блоку будемо надалі позначати як **фрейм**. Фрейм для $(\chi; \gamma)$ -го ТД-блоку τ -го В-Р-кадру можна представити у такому вигляді:

$$S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} = \begin{vmatrix} \ell(\tau; \delta)_{1, \chi, \gamma} & & z(\tau; \delta)_{1, \chi, \gamma} \\ & \dots & \\ \ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} & & z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} \\ & \dots & \\ \ell(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} & & z(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} \end{vmatrix}.$$

Тоді ТД-кадр $Y(\tau)$ В-Р типу через **сплайнову фрейм структуру** буде задаватися наступним чином:

$$Y(\tau) = \{ Y(\tau)_{\chi, \gamma}^{(1)} \} = \{ S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} \}, \quad \chi = \overline{1, W_{\text{ср}} / w}, \quad \gamma = \overline{1, W_{\text{стб}} / w}.$$

Отже **пропонується** диференційовану КТ-структуру Y_T для послідовності В-Р кадрів в спектральному просторі розглядати як сукупність сплайн-фреймів та трансформованого базового кадру $Y(1)$, а саме:

$$Y_T = \{ Y(1); S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} \}, \tau = \overline{2, T}; \chi = \overline{1, W_{\text{стр}} / w}, \gamma = \overline{1, W_{\text{стб}} / w}.$$

Базовий кадр $Y(1)$, як правило для стандартизованих технологій сімейства H26* займає першу позицію в КТ-структурі та обробляється окремо. В процесі формування диференційованого опису базовий кадр є опорним для послідовності кадрів В-Р типів. Далі на відміну від стандартизованої технології, *пропонується* з КТ-структури виключити кадри В-типу. Це дозволить створити умови для підвищення цілісності динамічного відеоінформаційного ресурсу.

Визначення. Надалі складову КТ-структури послідовності I-B-P кадрів, яка визначається сукупністю сплайн-фреймів $\{S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}\}$, $\tau = \overline{2, T}$; $\chi = \overline{1, W_{\text{стр}} / w}$, $\gamma = \overline{1, W_{\text{стб}} / w}$ будемо називати **фрейм-тензорною сплайн-структурою** S_{T-1} (ФТСС).

З врахуванням чого диференційовану КТ-структуру Y_T для послідовності В-Р кадрів в спектральному просторі буде складатися з компонент, а саме базового трансформованого кадру $Y(1)$ та фрейм-тензорної сплайн-структурою S_{T-1} , тобто:

$$Y_T \rightarrow \{ Y(1); S_{T-1} \}.$$

Тут складова S_{T-1} має $(T-1)$ компоненти, та записується наступним чином:

$$S_{T-1} = \{ S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} \}, \tau = \overline{2, T}; \chi = \overline{1, W_{\text{стр}} / w}, \gamma = \overline{1, W_{\text{стб}} / w}.$$

або, враховуючи, що $S(\tau) = \{ S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} \}$

$$S_{T-1} = \{ S(\tau) \}, \tau = \overline{2, T}.$$

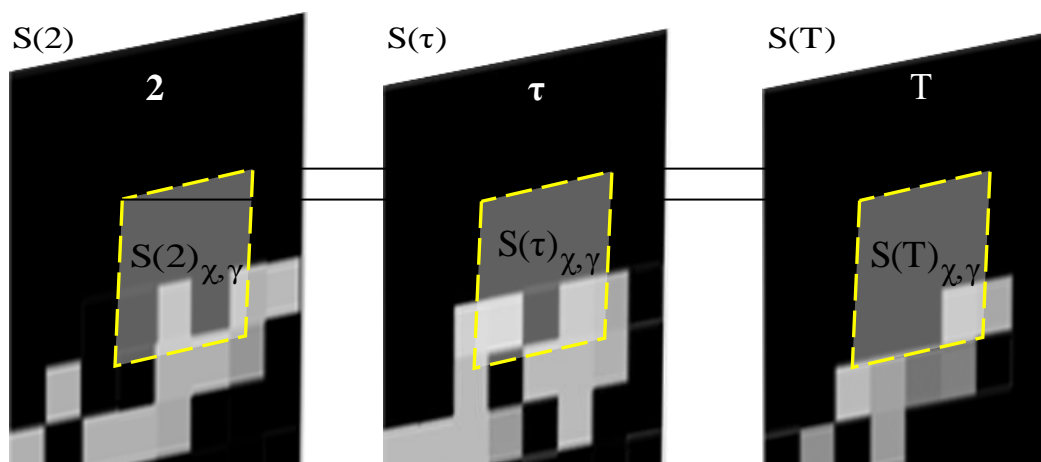
При цьому кожна **сплайн фреймова структура** (СФС) $S(\tau)$ утворюється сукупністю **фреймів** $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$, розміром $w \times w$ елементів або

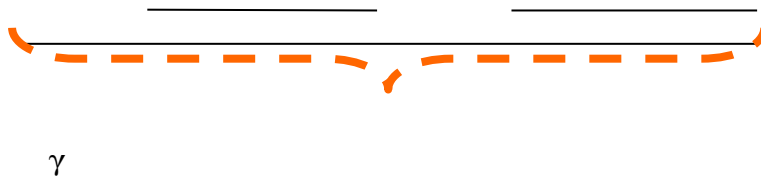
$$S(\tau) = \begin{pmatrix} S(\tau; \delta)_{1,1} & \dots & S(\tau; \delta)_{1,\gamma} & \dots & S(\tau; \delta)_{\chi, w_{\text{стб}}} \\ & & \dots & & \\ S(\tau; \delta)_{\chi,1} & \dots & S(\tau; \delta)_{\chi,\gamma} & \dots & S(\tau; \delta)_{\chi, w_{\text{стб}}} \\ & & \dots & & \\ S(\tau; \delta)_{w_{\text{стр}},1} & \dots & S(\tau; \delta)_{w_{\text{стр}},\gamma} & \dots & S(\tau; \delta)_{w_{\text{стр}}, w_{\text{стб}}} \end{pmatrix}. \quad (2.5)$$

Ключовою структурною компонентою тут є одноелементний зріз за τ складовою у динамічній послідовності СФС. Саме така складова створює **одноелементний фрейм-сплайновий тензор** (ОФСТ) $S(T-1)_{\chi, \gamma}$ для послідовності В-Р кадрів. Фрейм-сплайновий тензор $S(T-1)_{\chi, \gamma}$ представляє собою послідовність фреймів $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ в диференційованій КТ-структурі на позиції з координатами $(\chi; \gamma)$. Це записується таким виразом:

$$S(T-1)_{\chi, \gamma} = \{S(2; \delta)_{\chi, \gamma}; \dots; S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}; \dots; S(T; \delta)_{\chi, \gamma}\}.$$

Фрейм-сплайновий тензор $S(T-1)_{\chi, \gamma}$ фактично представляє собою багатожильний моток. При цьому уздовж ФТСС на позиції $(\chi; \gamma)$, у кожному перетині якого знаходиться фрейм-структура $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ ТД-кадру В-Р типу (рис. 2.9).





Одноэлементный фрейм-сплайновый тензор $S(T-1)_{\chi,\gamma}$

Рис. 2.9. Схема позиціонування ОФСТ у фрейм-тензорній сплайн-структурі

Створення диференційованої КТ-структури для послідовності В-Р кадрів в спектральному просторі на основі створення фрейм-тензорною сплайн-структурою S_{T-1} забезпечує ряд переваг щодо варіанту формування диференціального представлення для початкових кадрів. Оцінка таких переваг з позиції *одноелементного фрейм-сплайнового тензора* виглядає наступним чином.

Фрейм-сплайновий тензор $S(T-1)_{\chi,\gamma}$ представляє собою фактично тривимірну структуру, елементами $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ якої є структурні сплайни. Структурні сплайни $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, створюються двома компонентами, $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} = \{\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}; z(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}\}$ та описують рівень метаданих стосовно послідовності спектрально-диференційованих (ТД) блоків. Звідки це:

- по-перше вже враховує наявність закономірностей у внутрішній структурі ТД-блоків, а саме наявність спектральних компонент, які не значимі за своїм впливом на семантичний контент або на якість візуального сприйняття реконструйованих відеозображень. Отже в цьому випадку формуються позиційні координати $\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ сплайнів $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$;

- по-друге надає потенційну можливість відносно виявлення додаткових закономірностей статистичної та структурної природи. Отримані параметри структурного опису ТД-блоків враховують властивість щодо неоднорідності спектрально-частотних характеристик. В свою чергу, це створює умови для

додаткового виявлення структурно-статистичних закономірностей в ОФС-тензорі, як в напрямку стовбців (фреймів, внутрішньокадровий), так й в напрямку строк (міжкадровий). Тут формуються нерівномірні значення параметрів $\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ та $z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ структурних сплайнів $S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ в залежності від області їх розташування відносно спектрально-частотного простору. При цьому такі залежності будуть властиві для послідовності у ОФС-тензорі.

- втретє створюється можливість для усунення надмірності не тільки для внутрішньо кадрового напрямку, але ще й для міжкадрового напрямку. Тобто фактично забезпечується можливість для усунення надмірності за трьома координатами фрейм-сплайнового тензору;

- в результаті виявлення та параметричного опису структурних сплайнів досягається скорочення початкових даних, які в подальшому приймають участь в процесі ефективного кодування. Це дозволяє з одного боку скоротити часові затримки на обробку послідовностей В-Р кадрів, а з іншого боку забезпечити додатковий час для застосування нових технологій скорочення надмірності.

На відміну щодо технологій які представлено в роботах [8; 9; 93] та базуються на усуненні міжтрансформантної надмірності з врахуванням в основному тільки незначних між кадрових змін, тобто таких що потребують наявності стабільного за часом стаціонарного фону, пропонується підхід створює умови для врахування динамічних пульсацій значень елементів в сусідніх ТД-блоках. Крім того, міжтрансформантний [8; 9; 93] підхід обмежене врахуванням лише закономірностей в суміжних трансформантах. Навпаки створення фрейм-сплайнового тензору дозволяє одночасно враховувати структурно-статистичні закономірності за двома напрямками: між блочний та внутрішньо- фреймовий.

Отже представлення послідовності В-Р кадрів структурами фрейм-сплайнових тензорів для їх спектрально-диференційовних блоків створює умови

для підвищення ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі динамічного відеоресурсу.

2.3. Створення структурно-комбінаторного підходу для кодування фрейм-сплайнових тензорів динамічної послідовності передбачених кадрів

Складовими ОФС-тензору $S(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів є сукупність позиційних $L(T-1)_{\chi,\gamma}$ та спектральних $Z(T-1)_{\chi,\gamma}$ координат, яка представляється такою структурою:

$$L(T-1)_{\chi,\gamma} = \begin{vmatrix} \ell(2;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & \ell(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & \ell(T;\delta)_{1,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ \ell(2;\delta)_{u,\chi,\gamma} & \dots & \ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} & \dots & \ell(T;\delta)_{u,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ \ell(2;\delta)_{U(2,\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & \ell(\tau;\delta)_{U(\tau,\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & \ell(T;\delta)_{U(T,\chi,\gamma),\chi,\gamma} \end{vmatrix} ;$$

$$Z(T-1)_{\chi,\gamma} = \begin{vmatrix} z(2;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & z(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & z(T;\delta)_{1,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ z(2;\delta)_{u,\chi,\gamma} & \dots & z(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} & \dots & z(T;\delta)_{u,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ z(2;\delta)_{U(2,\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & z(\tau;\delta)_{U(\tau,\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & z(T;\delta)_{U(T,\chi,\gamma),\chi,\gamma} \end{vmatrix} .$$

Компактне представлення сукупності $Z(T-1)_{\chi,\gamma}$ спектральних координат в існуючих стандартизованих ІТОПДВ проводиться з використанням методів усунення психовізуальної надмірності (технологія квантування ТД блоків) та статистичного кодування.

Навпаки технології обробки сукупності $L(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат, які описують довжину не значимих компонент ТД-блоків, мають певні проблемні недоліки:

1. Залежність рівня інтенсивності бітового опису кодованих сукупностей позиційних координат відносно показника статистичної (ймовірнісної) невизначеності.

Статистичні характеристики сукупностей позиційних координат залежать в:

- межах окремих фреймів - від інформативності структурно-семантичного контенту блоків відеокадрів та рівня втрат цілісності під час квантування їх компонент;

- напрямку послідовності фреймів - від швидкості зміни контенту в послідовності кадрів.

В теж час виділяються такі особливості:

- в першому випадку для блоків В-Р кадрів існує неоднорідність інформаційного навантаження, тобто неоднорідність розподілу ваги структурно-семантичного контенту. Отже в системах інформаційного забезпечення функціонування об'єктів критичної інфраструктури збільшується кількість блоків в зображенні, яким притаманна наявність високого рівня інформативності за структурно-семантичним контентом;

- в другому випадку в умовах контролю та управління динамічними системами буде характерна швидка зміна поточної обстановки. Звідки зростає швидкість зміни структурно-семантичного контенту між кадрами в послідовності.

Це призведе до збільшення рівня невизначеності з позиції оцінки інформативності сукупностей позиційних координат за статистичними властивостями. Тому в означених випадках край різко падає ефективність методів статистичного кодування сукупностей позиційних координат.

2. В концепцію технологій кодування на основі виключення ймовірнісно-статистичної надмірності закладається принцип формування кодограм нерівномірної довжини. Отже для забезпечення цілісності інформації додатково залучаються маркерні кодові слова. Такі маркери можуть бути або як префіксні

додатки або як кодові розмежувачі. Це призведе до збільшення об'єму бітового потоку.

3. Нерівномірні кодові конструкції, які будуються для методів статистичного кодування відрізняються низькою завадостійкістю до дії помилок в каналі зв'язку. В свою чергу позиційні координати характеризуються суттєвою вразливістю до виникнення помилок. Отже використання статистичних кодів для синтаксичного представлення сукупності позиційних координат спричиняє, або значиме руйнування відеозображень та повну втрату інформації, або необхідність додатково використовувати значну кількість біт для забезпечення потрібного рівня завадостійкості. Також проблема виникає у разі кодування сукупностей позиційних координат в напрямку послідовності В-Р кадрів. В цьому випадку помилка в одній позиції призведе до руйнування всіх послідуєчих ТД-блоків В-Р кадрів.

Тому одним з напрямків подальшого підвищення ефективності процесів обробки послідовності В-Р кадрів на основі створення структурних сплайнів їх ТД-блокам полягає у розробці методів кодування сукупностей позиційних координат ОФС-тензорів. Отже пропонується здійснювати подальше удосконалення структурно-комбінаторного підходу до кодування, який створено професором Баранніком Володимиром Вікторовичем [6; 7; 15; 18]. При цьому необхідно забезпечити наступні умови відносно створення підходу для ефективного кодування сукупностей позиційних координат ОФС-тензорів послідовності В-Р кадрів [11; 12; 14; 63; 109] :

1) виявлення закономірностей таким чином, що б усунути кількість надмірності різної фізичної природи (статистична, структурна, психовізуальні) в усій тривимірній структурі. Потрібно застосовувати блочні технології ефективного кодування сукупностей позиційних координат з можливістю додаткового усунення структурних видів надмірності;

2) скорочення кількості додаткової службової інформації, в тому числі маркерних розмежувачів різного призначення. У разі кодування сукупності

позиційних координат необхідно створювати механізми контролю їх кодостворення, в тому числі будувати рівномірні кодові конструкції;

3) наявність технологічних механізмів для підвищення рівня завадостійкості кодограм. В край необхідно забезпечити властивості локалізації шкідливої дії каналних помилок в процесі реконструкції сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових структур;

4) додаткове зниження бітового об'єму сукупності позиційних координат без внесення додаткових втрат семантичної цілісності відеоресурсу.

Для забезпечення таких вимог проведемо дослідження властивостей сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовностей В-Р кадрів.

На формування відповідних властивостей оказує вплив наступні фактори:

- особливості структурно-семантичного контенту послідовності відеокадрів В-Р типів;

- особливості представлення диференційованих блоків відеокадрів в спектральному просторі;

- особливості процесу утворення структурних сплайнів та їх параметричного опису.

Переважаюча частина відеокадрів характеризується низько частотними областями, а саме плавні та ступінчасті зміни рівня яскравості. Звідки [6; 11; 12; 14; 63; 109]:

1. Основна доля енергетичного навантаження буде припадати на низькочастотні області спектрально-диференційованих блоків відеокадрів. Відповідно такі області будуть містити переважно значимі спектральні компоненти. Ці області розташовані в лівій верхній області ТД-блоку. Отже у разі виявлення структурних сплайнів в напрямку фреймів (внутрішньо кадровий напрямок) таким областям буде притаманне короткі довжини не значимих компонент. Тоді позиційні координати, які формуються для лівих верхніх областей послідовності відповідних ТД-кадрів будуть мати обмежений

динамічний діапазон $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ **зміни** своїх значень $\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, $\tau = \overline{2, T}$, $u \rightarrow 1$.

Це описується наступним співвідношенням:

$$\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} - \ell(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} \leq \overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0. \quad (2.6)$$

В цій формулі прийняти такі позначення:

$\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ - значення позиційної координати $(\chi;\gamma)$ -го структурного сплайну для τ -го ТД блоку (фрейму $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$);

$\ell(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)}$ - мінімальне значення позиційних координат відповідно u -ї строки $L(\delta)_{u',\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, що обчислюється за такою формулою:

$$\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)} = \min_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} \}. \quad (2.7)$$

$\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ - динамічний діапазон **зміни** значень позиційних координат для u -ї строки $L(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ блоку $L(T-1)_{\chi,\gamma}$, величина якого знаходиться таким чином:

$$\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)} = \ell(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\max)} - \ell(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} + 1, \quad u = \overline{1, U(\tau,\chi,\gamma)}. \quad (2.8)$$

або

$$\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)} = d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} - \ell(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} \} - \min_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} \} + 1,$$

$\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\max)}$ - максимальні значення позиційних координат u -ї строки $L(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ блоку $L(T-1)_{\chi,\gamma}$, що обчислюється за допомогою виразу:

$$\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\max)} = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} \}$$

2. Навпаки високочастотна область спектрально-диференційованого (ТД) представлення блоку кадру буде мати найменше енергетичне навантаження. Ці області розташовані в нижній правій області ТД-блоку. Отже з врахуванням процесу корекції ТД-блоків згідно моделі зорового сприйняття (технологія квантування), для цих областей будуть формуватися структурні сплайни, які мають найбільші значення *зміни* динамічних діапазонів $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ позиційних координат $\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, тобто:

$$\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} - \ell(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} \xrightarrow[u \rightarrow U(\tau,\chi,\gamma)]{} \overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)} < w^2 - 1, \quad (2.9)$$

де $w \cdot w$ - розмір ТД-блоку.

При цьому величина $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ буде меншою ніж рівень $(w^2 - 1)$ максимально можливого значення позиційної координати [11; 12; 14; 63; 109]. Тут враховується те, що низькочастотна DC-компонента ТД-блоку є завжди значимою спектральною компонентою. Відповідна їй довжина $\ell(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma}$ не значимих компонент буде дорівнювати нульовому рівню, а саме

$$\ell(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} = 0, \quad (2.10)$$

Відповідно найбільше значення позиційна координата буде досягати для довжини $\ell(\tau;\delta)_{U(\tau,\chi,\gamma),\chi,\gamma}$ не значимих компонент, яка утворюється для кінцевих компонент лінерізованого ТД-блоку [12; 14; 63; 109]. Це відображається так:

$$\ell(\tau;\delta)_{U(\tau,\chi,\gamma),\chi,\gamma} \rightarrow w^2 - 1, \quad (2.11)$$

Враховуючи те, що: компонента DC несе найбільше інформативне навантаження згідно структурно-семантичного контенту, а після останньої

позиційної координати $\ell(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma}$ не розміщуються спектральні компоненти, то в подальшому використовуються такі технологічні етапи:

1) компонента DC обробляється на основі стандартизованих механізмів, що передбачені для існуючих ІТОПДВ сімейства H26*. Наприклад, застосовуються ранжуючі таблиці за інтервалами динамічних діапазонів і фіксованих таблиць статистичного кодування [31; 47; 58; 59]. Додатково обробка послідовності DC-компонент сусідніх ТД-блоків може проводитись методами кодування сімейств-LZ або LZW [53; 55 – 57].

2) позиційна координата $\ell(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma}$ усувається з процесу подальшої обробки. Її значення буде відновлюватись на основі значень попередніх позиційних координат з використанням такого виразу:

$$\ell(\tau; \delta)_{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} = w^2 - (U(\tau, \chi, \gamma) - 1) - \sum_{u=1}^{U(\tau, \chi, \gamma)-1} \ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}. \quad (2.12)$$

В загальному випадку структурні властивості динамічних діапазонів *зміни* значень позиційних координат для ОФС-тензору послідовності В-Р-кадрів можна представити такою системою виразів:

$$\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} - \ell(\delta)_{u, \chi, \gamma}^{(\min)} \leq \begin{cases} \overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)} = 0, & \rightarrow u = 1; \\ 0 < \overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)} \ll w^2 - 1, & \rightarrow 2 \leq u \leq U(\tau, \chi, \gamma); \\ \overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)} < w^2 - 1, & \rightarrow u = U(\tau, \chi, \gamma). \end{cases} \quad (2.13)$$

З врахуванням цього виразу для сукупності $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ фрейм-сплайнового тензору допустимо надати наступні трактування, що втілюють його неоднорідність структурних властивостей по різним напрямкам:

1) в напрямку стовбців $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ блоків $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ (тобто окремих фреймів) матиме послідовність, елементам $\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ яких притримана нерівномірність та обмеженість динамічних діапазонів;

2) в напрямку строк $L(\delta)_{u', \chi, \gamma}$ блоку $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ утворюються послідовності, елементам яких властиво однорідність змін значень відносно відповідних динамічних діапазонів. На цьому рівні досягається локалізація особливостей, що обумовлені різним навантаженням спектрально-частотних компонент в залежності від їх розташування в ТД-блоці.

З позиції наведених вимог відносно розробки технології кодування сукупностей позиційних координат одним з перспективних підходів є концепція здійснення обробки в напрямку стовбців $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ блоків $L(T-1)_{\chi, \gamma}$. Це обумовлено тим, що:

- враховуються структурні закономірності стосовно нерівномірності та обмеженості динамічних діапазонів позиційних координат;

- формування кодових конструкцій обмежується межами окремих фреймів. Звідки локалізується лавиний ефект розповсюдження помилок в процесі реконструкції послідовностей В-Р кадрів;

- за рахунок додаткового виявлення динамічних діапазонів в напрямку строк блоків $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ досягається врахування міжблочних структурних закономірностей.

В цьому випадку окремі стовбці $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ інтерпретуються як послідовності в мультіадичному просторі. Тоді рівень інформаційної невизначеності з позиції врахування структурних закономірностей одразу всій послідовності $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ буде оцінюватись величиною $Q(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$. Згідно запропонованому трактуванню послідовностей $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ величина $Q(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ визначається як кількість допустимих послідовностей, елементи яких мають обмеження згідно системи виразів (2.13). Тому величина $Q(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ дорівнює:

$$Q(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} = (\overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)})^{(U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma - 1)}. \quad (2.14)$$

Оскільки кожен стовбець $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ блоку $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ обробляється незалежно один від одного, то інформаційна невизначеність всього блоку $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ с позиції структурно-комбінаторного підходу визначається згідно теореми комбінаторики про перемноження, а саме:

$$Q(T-1)_{\ell}^{(\tau, \chi, \gamma)} = \prod_{\tau=2}^T Q(\tau; \delta)_{\chi, \gamma} = \prod_{\tau=2}^T (\overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)})^{(U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma - 1)}$$

або

$$Q(T-1)_{\ell}^{(\tau, \chi, \gamma)} = (\overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)})^{U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma - (T-1)}. \quad (2.15)$$

Відповідно до чого, максимальна бітова інтенсивність $V(T-1)_{\ell}^{(\chi, \gamma)}$ компактного синтаксичного представлення сукупності $L(T-1)_{\chi, \gamma}$ позиційних координат ОФС-тензору на основі структурно-комбінаторного підходу для заданих значень динамічних діапазонів $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)}$ оцінюється за формулою:

$$\begin{aligned} V(T-1)_{\ell}^{(k, \ell)} &= \log_2 Q(T-1)_{\ell}^{(\chi, \gamma)} = ((U(\tau, \chi, \gamma) - 1) \cdot (T-1) [\log_2 (\overline{d(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)})] + 1) = \\ &= ((U(\tau, \chi, \gamma) - 1) \cdot (T-1) [\log_2 (\ell'(\delta)_{u, \chi, \gamma}^{(\max)} - \ell'(\delta)_{u, \chi, \gamma}^{(\min)} + 1)] + 1). \end{aligned} \quad (2.16)$$

З аналізу виразу (2.16) можна заключити, що за рахунок обмеженості та нерівномірності динамічного діапазону зміни значень позиційних координат ОФС-тензору досягається додаткове зменшення інтенсивності бітового представлення ОФС-тензору. Отже створюються умови для підвищення ефективності інформаційних технологій обробки послідовностей В-Р кадрів.

Відповідно кількість $N(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}$ кодової надмірності визначається як різниця між інформативністю $V(Y(T-1)_2^{(1)})_{\text{beg}}$ бітового представлення послідовності ТД-блоків у початковому синтаксичному опису та її інформативністю $V(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}$ у випадку застосування запропонованого структурно-комбінаторного підходу щодо сукупності $L(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат в ОФС-тензорі. Тоді величина $N(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}$ оцінюється за допомогою наступної формули [12; 14; 63; 109; 111]:

$$N(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)} = V(Y(T-1)_2^{(1)})_{\text{beg}} - V(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)} \text{ (біт)}.$$

Кількість надмірності $\overline{N(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}}$, яка в процентах визначає зменшення рівня інтенсивності бітового представлення послідовності ТД-блоків для створеного підходу на основі блочного кодування сукупності позиційних координат в мультіадичному просторі відносно початкового опису, визначається наступним співвідношенням:

$$\overline{N(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}} = \left(1 - \frac{V(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}}{V(Y(T-1)_2^{(1)})_{\text{beg}}}\right) \cdot 100\% . \quad (2.17)$$

Зрозуміло, що оскільки додатково враховуються обмеження на динамічні діапазони зміни значень позиційних координат ОФС-тензору, то досягається: по-перше можливість для скорочення структурної надмірності; по-друге забезпечуються умови для підвищення інформаційної швидкості кодованого представлення послідовності ТД-блоків згідно потоку В-Р кадрів, що найменше

в $\frac{V(Y(T-1)_2^{(1)})_{\text{beg}}}{V(T-1)_\ell^{(\chi,\gamma)}}$ разів. Оцінка показника збільшення коефіцієнта

інформаційного ущільнення (підвищення бітової швидкості ДВІР) кодової

послідовності ТД-кадрів на основі застосування створеного підходу наведена на рис. 2.10.

З аналізу діаграм на рис. 2.10 можна стверджувати, що кількість надмірності, що потенційно можна скоротити в результаті застосування створеного підходу в залежності від рівня фактору квантування знаходиться в межах від 17 до 27%.

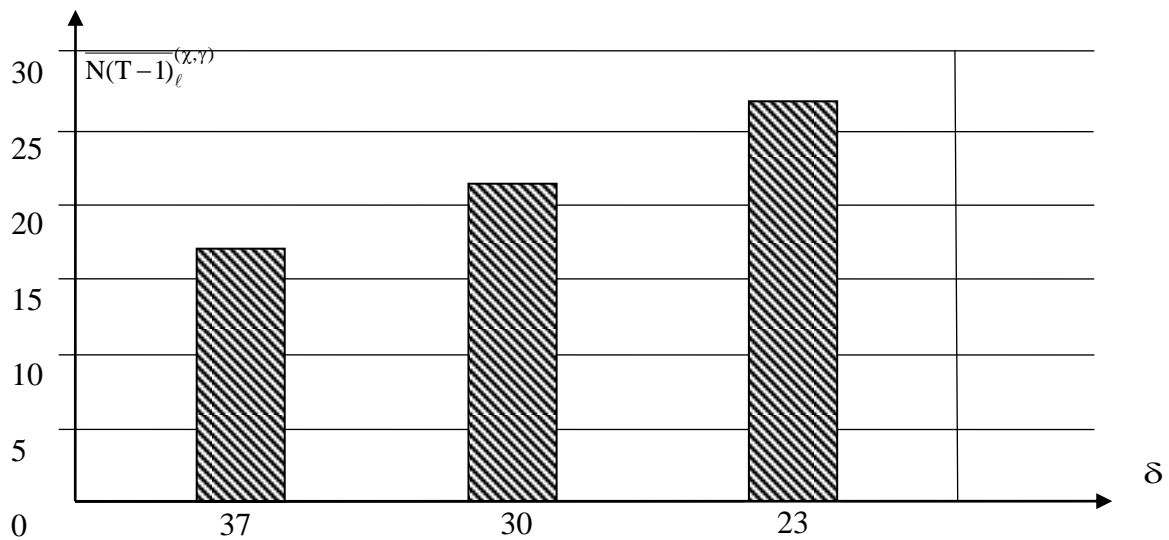


Рисунок 2.10. - Діаграма залежності величини $\overline{N(T-1)}_{\ell}^{(x,\gamma)}$ від фактору δ квантування

Таким чином, структурно-комбінаторний підхід стосовно ефективного кодування послідовності ТД-кадрів на основі представлення сукупностей позиційних координат ОФС-тензору в мультіадичному просторі створює умови для підвищення ефективності процесу обробки послідовності В-Р кадрів для ІТОПДВ.

Висновки за другим розділом

1. Обґрунтовано, що загальним технологічним принципом в процесі кодування послідовності передбачених кадрів та їх окремих блоків в спектрально-диференційованому просторі для ІТОПДВ сімейства H26* є застосування локальної позиційно-диференційованої технології обробки кадрів в КТ-структурі в залежності від їх типу у потоці та ваги щодо досягнення компромісу між рівнем інформаційної інтенсивності бітового потоку динамічного відеоресурсу та їх цілісністю. А саме:

1) локальність полягає в тому, що технологічна лінія обробки застосовується до окремих послідовностей кадрів (8; 12, 15, 30 кадрів). У цьому випадку відеопотік ділиться на локальні підпотоки – КТ-структури;

2) обробка відеокадрів, в межах кожної локальної послідовності, проводиться диференційовано зі застосуванням двохтипової технології в залежності від їх позиції та ваги щодо досягнення компромісу між рівнем інформаційної інтенсивності бітового потоку динамічного відеоресурсу та їх цілісністю, а саме:

- перша технологічна архітектура застосовується для обробки кадрів, (опорні) які призначено для найбільшого збереження цілісності інформації всієї локальної кадр-тензорної структури;

- друга технологія використовується для кодування кадрів (передбачені), які призначено для найбільш допустимого зменшення інформаційної інтенсивності бітового потоку. Саме такі кадри обробляються з внесенням найбільшого рівня корекцій стосовно зорової моделі сприйняття візуальної інформації.

2. Обґрунтовано необхідність представлення послідовності передбачених кадрів у вигляді сукупностей фрейм-сплайнових тензорів, які складаються з динамічної послідовності сукупностей параметрів структурних сплайнів спектрально-диференційованих блоків.

Фрейм-сплайновий тензор представляє собою двовимірну структуру, елементами якої є структурні сплакни, що створюються двома компонентами,

та описують рівень метаданих стосовно послідовності спектрально-диференційованих (ТД) блоків. В цьому випадку забезпечується:

- врахування наявності спектральних компонент, які не значимі за своїм впливом на семантичний контент або на якість візуального сприйняття реконструйованих відеозображень;

- умови для додаткового виявлення структурно-статистичних закономірностей в ОФС-тензорі, як в напрямку стовбців (фреймів, внутрішньокадровий), так й в напрямку строк (міжкадровий). Тут формуються нерівномірні значення параметрів структурних сплайнів в залежності від області їх розташування відносно спектрально-частотного простору;

- в результаті виявлення та параметричного опису структурних сплайнів досягається скорочення початкових даних, які в подальшому приймають участь в процесі ефективного кодування.

Отже представлення послідовності В-Р кадрів структурами фрейм-сплайнових тензорів для послідовності їх спектрально-диференційованих блоків створює умови для підвищення ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі динамічного відеоресурсу.

3. Обґрунтовано проблемні недоліки для існуючих технологій обробки сукупності позиційних координат, які описують довжину не значимих компонент ТД-блоків, а саме:

- 1) залежність рівня інтенсивності бітового опису кодованих сукупностей позиційних координат відносно показника статистичної-ймовірнісної невизначеності, а саме це проявляється у наступному:

- в межах окремих фреймів - від інформативності структурно-семантичного контенту блоків відеокадрів та рівня втрат цілісності під час квантування їх компонент;

- в напрямку послідовності фреймів - від швидкості зміни контенту в послідовності кадрів.

2) для забезпечення цілісності інформації додатково залучаються маркерні кодові слова, що Це призведе до збільшення об'єму бітового потоку.

3) використання статистичних кодів для синтаксичного представлення сукупності позиційних координат у разі виникнення помилок (завад) спричиняє, або значиме руйнування відеозображень та повну втрату інформації, або необхідність додатково використовувати значну кількість біт для забезпечення потрібного рівня завадостійкості.

4. Створено структурно-комбінаторний підхід для кодування динамічної послідовності передбачених кадрів на основі представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів в мультіадичному базисному просторі. В цьому випадку:

- враховуються структурні закономірності стосовно нерівномірності та обмеженості динамічних діапазонів позиційних координат;

- формування кодових конструкцій обмежується межами окремих фреймів. Звідки локалізується лавиний ефект розповсюдження помилок в процесі реконструкції послідовностей В-Р кадрів;

- за рахунок додаткового виявлення динамічних діапазонів в напрямку строк фрейм-сплайнових тензорів досягається врахування міжблочних структурних закономірностей.

5. Побудовано модель оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності передбачених кадрів в мультіадичному базисі. Тут враховуються неоднорідності структурних властивостей за напрямком стовбців сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнового тензору, а саме: в напрямку стовбців блоків (тобто окремих фреймів) матиме послідовність, елементам яких притримана нерівномірність та обмеженість динамічних діапазонів. В цьому випадку окремі стовбці інтерпретуються як послідовності в мультіадичному просторі.

6. Проведені оцінки показали, що кількість надмірності, яку потенційно можна скоротити в результаті застосування створеного підходу в залежності від рівня фактору квантування знаходиться в межах від 17 до 27%.

Наукова новизна.

Отримала подальше вдосконалення модель оцінки інформативності представлення послідовності передбачених кадрів на основі їх спектрально-диференційованого опису (структурно-комбінаторного підходу). Характерні відмінності моделі щодо існуючих полягають у оцінці рівня структурно-комбінаторної невизначеності для мільтиадичного простору, який побудовано на базі двовимірних структур створених для сукупностей позиційних координат сплайнового опису послідовності диференційованих блоків в спектральному просторі. Це дозволяє створити умови для додаткового скорочення надмірності відеозображень та підвищення ефективності процесу кодування послідовності передбачених кадрів.

Основні науково-прикладні результати досліджень, що викладено в цьому розділі опубліковано та апробовано у наступних наукових працях [10 - 14; 63; 109; 111].

ЕФЕКТИВНЕ ДИНАМІЧНЕ КОДУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ В-Р КАДРІВ В ДВОПОЛЮСНОМУ ЗМІШАНОМУ МУЛЬТІАДИЧНОМУ ПРОСТОРИ

Створено метод структурного нормування одноелементних фрейм-сплайнових тензорів, який базується на вирівнюванні лінійних розмірів його фреймів шляхом декомпозиції параметрів структурних сплайнів, які мають максимальні значення позиційних координат. Обґрунтовано ефективність такої декомпозиції за показниками скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу та виключення можливостей щодо втрати інформації. Обґрунтовано організація технології виявлення закономірностей за динамічними діапазонами позиційних координат з врахуванням їх розташування у фреймі відносно частотної області спектрально-диференціального блоку В-Р кадрів. Викладається розробка методу динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного кодування в напрямку їх фреймів з врахуванням: виявлення структурних обмежень одночасного за двома напрямками відносно границь динамічних діапазонів. Викладаються основні етапи створення технологічної концепції інтегрування методів обробки В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів.

3.1. Розробка технології структурної декомпозиції фрейм-сплайнового тензору для забезпечення його нормування

Для додаткового зменшення часових затримок на доставку динамічного відеоінформаційного ресурсу *пропонується* здійснювати ефективне *динамічне кодування* одноелементного фрейм-сплайнового тензору (ОФСТ) $S(T-1)_{\chi,\gamma}$ на основі застосування блочних кодів (в змішаному мультиадичному просторі).

Відносно КТ-структури послідовності В-Р кадрів $(\chi;\gamma)$ -й ОФС-тензор $S(T-1)_{\chi,\gamma}$ представляється у вигляді двовимірного масиву (блоку), що має такий опис [10; 64; 109; 113; 114] :

$$S(T-1)_{\chi,\gamma} = \begin{vmatrix} S(2;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & S(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & S(T;\delta)_{1,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ S(2;\delta)_{u,\chi,\gamma} & \dots & S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} & \dots & S(T;\delta)_{u,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ S(2;\delta)_{U(2,\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & S(\tau;\delta)_{U(\tau,\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & S(T;\delta)_{U(T,\chi,\gamma),\chi,\gamma} \end{vmatrix}. \quad (3.1)$$

Тут $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ є u -м структурним сплайном нульового порядку (ССНП), сформованим для $(\tau;\chi;\gamma)$ -го фрейму $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$. Структурний сплайн утворюється двома складовими, $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} = \{\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}; z(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}\}$, де $\ell(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ - позиційна координата u -го ССНП та відповідно $z(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ - його спектральна координата в $(\chi;\gamma)$ -му одновимірному ТД-блоці для τ -го кадру КТ-структури у випадку застосування стратегії квантування з параметром δ .

Кількість ССНП у $(\tau;\chi;\gamma)$ -му фреймі $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ дорівнює величині $U(\tau,\chi,\gamma)$. Однак, як видно з аналізу виразу (3.1) в загальному випадку кількість елементів в стовбцях фрейму $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ одноелементного фрейм-сплайнового тензору (ОФСТ) $S(T-1)_{\chi,\gamma}$ є нерівномірним, тобто:

$$U(2,\chi,\gamma) \neq \dots \neq U(\tau,\chi,\gamma) \neq \dots \neq U(T,\chi,\gamma).$$

Це ускладнює процес подальшого блочного кодування ОФСТ. Отже *пропонується* попередньо застосовувати технологію нормалізації розмірів векторних величин $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$. Така нормалізація направлена на *вирівнювання (нормалізації)* розмірів позиційних координат $L(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ фреймів у всій ОФСТ, тобто для всього одноелементного фрейм-сплайнового тензору $S(T-1)_{\chi, \gamma}$, до максимального розміру $U(\chi, \gamma)$, тобто:

$$U(\chi, \gamma) = U(\tau, \chi, \gamma) + \Delta U(\tau, \chi, \gamma).$$

Тут величина максимального лінійного розміру $U(\chi, \gamma)$ серед векторів $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ знаходиться у результаті застосування наступного співвідношення:

$$U(\chi, \gamma) = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{U(\tau, \chi, \gamma)\}$$

Для реалізації такого нормування *пропонується* застосовувати принцип декомпозиції. В його основі є *генерування* (шляхом розкладу) допоміжних структурних сплайнів $\Delta S(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}$ ТД блоку. Кількість $\Delta U(\tau, \chi, \gamma)$ допоміжних структурних сплайнів для $(\tau; \chi; \gamma)$ -го фрейму $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ визначається відповідно забезпечення умови, коли скорегована кількість $U'(\tau, \chi, \gamma)$ його компонент буде дорівнювати нормованій величині $U(\chi, \gamma)$, тобто [10; 14; 64; 109; 113; 114]:

$$U'(\tau, \chi, \gamma) = U(\chi, \gamma). \quad (3.2)$$

Відповідно цієї умови величина $\Delta U(\tau, \chi, \gamma)$, яка визначає кількість допоміжно-згенерованих структурних сплайнів нульового порядку для $(\tau; \chi; \gamma)$ -го фрейму $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$, буде обчислюватись із умови:

$$\Delta U(\tau, \chi, \gamma) = U(\chi, \gamma) - U(\tau, \chi, \gamma). \quad (3.3)$$

Генерування *пропонується* організувати шляхом розкладу параметрів тих структурних сплайнів (ССНП) $S(\tau; \delta; \max)_{u, \chi, \gamma}$, які мають найбільші значення $\ell(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\max)}$ позиційних координат $\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}$, тобто:

$$\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma} = \ell(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\max)} ;$$

$$\ell(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\max)} = \max_{1 \leq u \leq U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} \{ \ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma} \}.$$

Тут ξ - координата розташування опорного ССНП $S(\tau; \delta; \max)_{\xi, \chi, \gamma}$ у фреймі $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$.

Під опорним ССНП розуміється такий ССНП, на базі позиційної координати якого проводиться генерування допоміжних ССНП $\Delta S(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}$. Тобто опорний ССНП $S(\tau; \delta; \max)_{\xi, \chi, \gamma}$ має найбільше значення $\ell(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\max)}$ позиційної координати у фреймі $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$.

Механізм розкладу позиційної координати $\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}$ залежить від кількості $\Delta U(\tau, \chi, \gamma)$ потрібних допоміжних ССНП $\Delta S(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}$, та полягає у виконанні наступних дій [14; 64; 109; 113; 114] :

$$\overline{\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}} = \left[\frac{\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}}{\Delta U(\tau, \chi, \gamma)} \right],$$

де $\overline{\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}}$ - усереднене значення позиційної координати опорного ССНП згідно кількості $\Delta U(\tau, \chi, \gamma)$ потрібних допоміжних ССНП; $[x]$ - операція вибору цілого значення величини x .

Тоді величина $\overline{\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}}$ приймається як значення $\Delta \ell(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$ позиційних координат допоміжних ССНП $\Delta S(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}$, а саме:

$$\Delta \ell(\tau; \delta)_{\xi+\alpha, \chi, \gamma} = \overline{\ell(\tau; \delta)}_{\xi, \chi, \gamma} = \left[\frac{\max_{1 \leq u \leq U(\tau, \chi, \gamma), \chi, \gamma} \{\ell(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}\}}{\Delta U(\tau, \chi, \gamma)} \right], \quad \alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}.$$

В свою чергу для позиційної координати опорного ССНП здійснюється перерахунок її значення відповідно до наступного виразу [14; 64; 113; 114]:

$$\ell'(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma} = \ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma} - \overline{\ell(\tau; \delta)}_{\xi, \chi, \gamma} \cdot \Delta U(\tau, \chi, \gamma).$$

Отже величина $\ell'(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}$ визначає модифіковане значення позиційної координати опорного ССНП $S(\tau; \delta; \max)_{\xi, \chi, \gamma}$ після генерування допоміжних ССНП $\Delta S(\tau; \delta)_{\xi+\alpha, \chi, \gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}$.

Координати розташування допоміжних ССНП у фреймі визначаються координатою ξ опорного ССНП. Тут приймається умова розташування допоміжних ССНП одразу за опорним. Для такого варіанту координати Δu допоміжних ССНП формуються наступним чином [14; 64; 109; 113; 114] :

$$\Delta u = \xi + \alpha, \quad \alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}.$$

Відповідно до цього, індекси ССНП, які будуть розташовуватися після додавання до фрейму допоміжних ССНП, після процесу декомпозиції будуть оцінюватись таким співвідношенням:

$$u := u + \Delta U(\tau, \chi, \gamma), \quad \text{де } u \geq \xi + 1$$

В узагальненому вигляді модифіковані координати розташування ССНП у фреймі після технології його декомпозиції обчислюються за допомогою такої системи виразів [14; 64; 109; 113; 114] :

$$u' = \begin{cases} u, & \rightarrow u \leq \xi - 1; \\ \xi, & \rightarrow u = \xi \ \& \ \alpha = 0; \\ \xi + \alpha & \rightarrow u = \xi \ \& \ \alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}; \\ u + \Delta U(\tau, \chi, \gamma), & \rightarrow u \geq \xi + 1. \end{cases}$$

Відповідно нормовані позиційні координати $\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ фрейму $S'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ після процесу їх декомпозиції визначаються на базі наступної системи співвідношень [14; 64; 109; 113; 114] :

$$\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} = \begin{cases} \ell(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow u' \leq \xi - 1; \\ \ell'(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}, & \rightarrow u' = \xi \ \& \ \alpha = 0; \\ \overline{\ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma}} & \rightarrow u' = \xi + \alpha \ \& \ \alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}; \\ \ell(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow u' = u + \Delta U(\tau, \chi, \gamma), \ u \geq \xi + 1. \end{cases}$$

При цьому значення спектральних координат $\Delta z(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}$ для допоміжних ССНП $\Delta S(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma}$ буде дорівнювати значенню $z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$ спектральної координати опорного ССНП, а саме:

$$\Delta z(\tau; \delta)_{\xi + \alpha, \chi, \gamma} = z(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}.$$

З врахуванням чого значення $z'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ спектральних координат для нормованого фрейму $S'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ визначаються з використанням наступної системи формул [14; 64; 109; 113; 114] :

$$z'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} = \begin{cases} z(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow u' \leq \xi - 1; \\ z(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow u' = \xi + \alpha \ \& \ \alpha = \overline{0, \Delta U(\tau, \chi, \gamma)}; \\ z(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow u' = u + \Delta U(\tau, \chi, \gamma), \ u \geq \xi + 1. \end{cases}$$

В результаті процесу декомпозиції фрейм-сплайнового тензору отримується нормований ОФС-тензор $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$, який матиме наступний вигляд:

$$S'(T-1)_{\chi,\gamma} = \begin{vmatrix} S'(2;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & S'(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & S'(T;\delta)_{1,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ S'(2;\delta)_{u',\chi,\gamma} & \dots & S'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} & \dots & S'(T;\delta)_{u',\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ S'(2;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & S'(\tau;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & S'(T;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} \end{vmatrix}. \quad (3.4)$$

При цьому модифіковані лінійні розміри $U'(\tau,\chi,\gamma)$ кожного декомпанованого фрейму $S'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ у складі нормованого ОФС-тензора $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ будуть рівномірними, а саме виконується умова:

$$U(\chi,\gamma) = U'(2,\chi,\gamma) = \dots = U'(\tau,\chi,\gamma) = \dots = U'(T,\chi,\gamma).$$

Структурно-функціональна схема методу нормування фрейм-сплайнового тензору наведена на рис. 3.1.

Такий підхід обумовлено тим, що:

- по-перше це не призведе до руйнування відповідності між кількістю елементів в ТД-блоці та сумою значень позиційних координат ССП відповідного йому фрейму. Отже згідно принципу розкладу величини $\ell(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}^{(\max)}$ на допоміжні складові $\Delta\ell(\tau;\delta)_{\xi+\alpha,\chi,\gamma}$, $\alpha = \overline{1, \Delta U(\tau,\chi,\gamma)}$, їх сумарне значення $\ell(\tau;\delta)_{\xi,\chi,\gamma}$ буде не змінним, а саме:

$$\ell'(\tau;\delta)_{\xi,\chi,\gamma} + \sum_{\alpha=1}^{\Delta U(\tau,\chi,\gamma)} \Delta\ell(\tau;\delta)_{\xi+\alpha,\chi,\gamma} = \ell'(\tau;\delta)_{\xi,\chi,\gamma} + \overline{\ell(\tau;\delta)_{\xi,\chi,\gamma}} \cdot \Delta U(\tau,\chi,\gamma)$$

або з врахуванням виразів для величини $\ell(\tau;\delta)_{\xi,\chi,\gamma}$, отримаємо, що

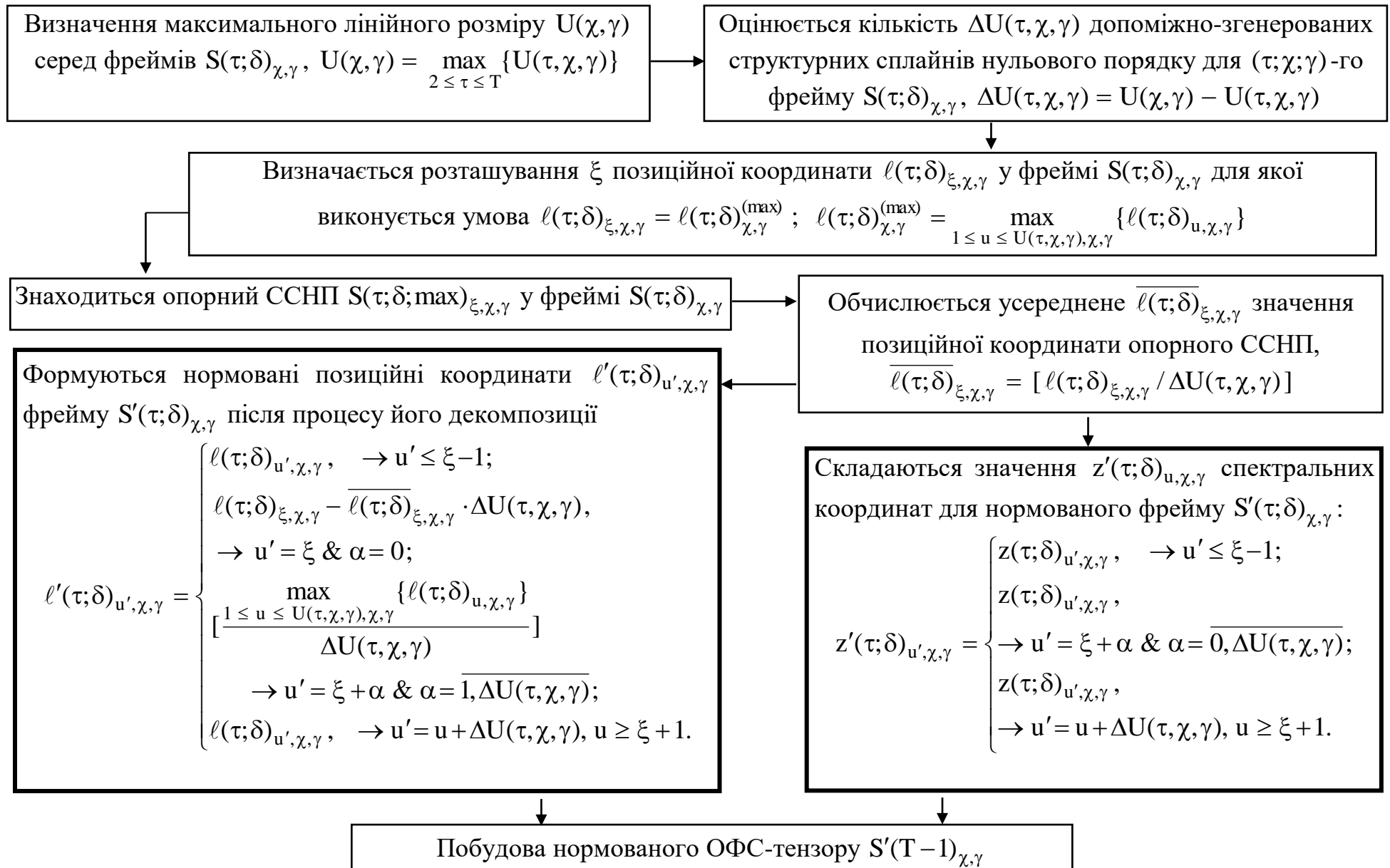


Рисунок 3.1. - Структурно-функціональна схема методу нормування фрейм-сплайнового тензора

$$\ell(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\max)} = \ell(\tau; \delta)_{\xi, \chi, \gamma};$$

- по-друге виключається необхідність використання додаткових службових даних на адресацію допоміжно-генерованих ССНП або на нерівномірні розміри фреймів. Це впливає з того, що допоміжні ССНП позиційно прив'язані до опорного ССНП. Отже по умові технології декомпозиції допоміжні ССНП розташовуються одразу за опорним ССНП.

Отже створено метод структурного нормування одноелементних фрейм-сплайнових тензорів, який базується на вирівнюванні лінійних розмірів його фреймів шляхом декомпозиції параметрів структурних сплайнів, які мають максимальні значення позиційних координат. Обґрунтовано ефективність такої декомпозиції за показниками скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу та виключення можливостей щодо втрати інформації.

Наукова новизна. Вперше розроблено метод структурного нормування фрейм-сплайнових тензорів на основі технології декомпозиції фреймів. Відмінності методу полягають у тому, що:

1) вирівнювання лінійних розмірів фрейм-сплайнових тензорів в залежності від структурно-семантичного контенту блоків Р-В кадрів на основі принципу структурного генерування допоміжних структурних сплайнів нульового порядку (ССНП);

2) декомпозиція фреймів (генерування допоміжних сплайнів) формується на базі структурного розкладу максимальних значень позиційних координат їх структурних сплайнів нульового порядку.

Це забезпечує підвищення ефективності кодування у напрямку скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу без втрат його достовірності.

3.2. Створення методу кодування позиційних координат фрейм-сплайнового тензора в змішаному мультиадичному просторі

Для додаткового підвищення бітової швидкості динамічного відеоінформаційного ресурсу пропонується здійснювати ефективно **динамічне кодування** сукупності $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ нормованого одноелементного фрейм-сплайнового тензора (ОФСТ) $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ в змішаному мультиадичному просторі.

Сукупність $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ модифікованих позиційних координат $\ell'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$ структурних сплайнів в межах одного фрейму, який формується для $(\chi;\gamma)$ -го ТД-блоку τ -го В-Р-кадру, позначається наступним чином:

$$L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma} = \begin{pmatrix} \ell'(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} \\ \dots \\ \ell'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma} \\ \dots \\ \ell'(\tau;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} \end{pmatrix}.$$

Векторна величина $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$, що утворюється складовою нормованого фрейму за позиційними координатами структурних сплайнів *називається позиційною координатою нормованого фрейму в ТД-кадрі*.

Відповідно динамічна послідовність $L''(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ фреймів з координатами $(\chi;\gamma)$ в КТ-структурі за τ , тобто які належать нормованому одноелементному фрейм-сплайновому тензору (НОФСТ) $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ для послідовності В-Р кадрів, утворює відповідну **позиційну координату нормованого ОФС-тензору**, а саме [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

$$L'(T-1)_{\chi,\gamma} = \{L'(2;\delta)_{\chi,\gamma}; \dots; L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}; \dots; L'(T;\delta)_{\chi,\gamma}\}.$$

При цьому оскільки величина $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ є векторною, то $(\chi;\gamma)$ -та позиційна координата $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензора представляється у вигляді двовимірного масиву (блоку), що має такий опис:

$$L'(T-1)_{\chi,\gamma} = \begin{vmatrix} \ell'(2;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & \ell'(\tau;\delta)_{1,\chi,\gamma} & \dots & \ell'(T;\delta)_{1,\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ \ell'(2;\delta)_{u',\chi,\gamma} & \dots & \ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} & \dots & \ell'(T;\delta)_{u',\chi,\gamma} \\ & & \dots & & \\ \ell'(2;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & \ell'(\tau;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} & \dots & \ell'(T;\delta)_{U(\chi,\gamma),\chi,\gamma} \end{vmatrix}. \quad (3.5)$$

Тут векторна величина $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ є τ -м стовбцем блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, а відповідно вектор $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ представляю собою u -у строку блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, тобто [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

$$L'(\delta)_{u,\chi,\gamma} = \{\ell'(2;\delta)_{u,\chi,\gamma}; \dots; \ell'(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}; \dots; \ell'(T;\delta)_{u,\chi,\gamma}\}$$

Проведемо розробку підходу відносно компактного синтаксичного представлення декомпонованих позиційних координат $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ нормованого одноелементного фрейм-спланового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Для цього обґрунтуємо характеристики блоків $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Оскільки параметри структурних сплайнів формуються для диференціально-представлених блоків кадрів В-Р типів в спектральному просторі, то можна виділити наступні особливості:

1. Для значень $\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ позиційних координат структурних сплайнів $S(\tau;\delta)_{u,\chi,\gamma}$, які розташовані з початку фреймів, тобто :

$$u' \rightarrow 1$$

проявляється обмеженість динамічних діапазонів, аж до нульового значення,

$$\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \xrightarrow{u' \rightarrow 1} 0.$$

В такому випадку для векторів $L'(\delta)_{u, \chi, \gamma}$, які представляють зріз по u -й строки блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ буде характерне обмеженість значень $d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ динамічних діапазонів аж до нульового рівня. Динамічний діапазон $d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ для елементів векторів $L'(\delta)_{u, \chi, \gamma}$ відносно нульового рівня (*режим абсолютного індексування*) визначається в залежності від максимального значення $\ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\max)}$ u' -й строки $L'(\delta)_{u', \chi, \gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$. Це обчислюється за формулою:

$$\ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\max)} = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \}; \quad d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\max)} + 1.$$

Зрозуміло, що для величин $d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ відповідних позиційним координатам, що сформовані для низькочастотних областей ТД-блоку, виконується наступна залежність

$$d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0.$$

2. Навпаки для позиційних координат $\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ структурних сплайнів $S(\tau; \delta)_{u, \chi, \gamma}$, що створені для області високочастотних компонент ТД-блоків В-Р кадрів, тобто які розташовані в кінці фреймів, характерно найбільші значення. Тоді буде вірно умова:

$$\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \xrightarrow{u' \rightarrow U(\chi, \gamma)} w \cdot w,$$

де $w \cdot w$ - розмір фреймів $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$.

З врахуванням чого величини $\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ в динамічній послідовності $L'(\delta)_{u', \chi, \gamma}$ НОФС-тензору, у разі коли $u' \rightarrow U(\chi, \gamma)$, будуть:

- з одного боку мати максимальні значення, що відповідає верхній межі динамічного діапазону;

- з іншого боку матимуть нижню границю $\ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\min)}$ динамічного діапазону значень $\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$, $\tau = \overline{2, T}$, яка суттєво перевищує рівень 1, а саме:

$$\ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\min)} \underset{u' \rightarrow U(\chi, \gamma)}{\gg \gg} 1.$$

Тут мінімальне значення $\ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\min)}$ відповідно u' -ї строки $L(\delta)_{u', \chi, \gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ обчислюється за такою формулою:

$$\ell'(\delta)_{u, \chi, \gamma}^{(\min)} = \min_{2 \leq \tau \leq T} \{ \ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \}.$$

Сумуючи отримані результати досліджень можна зробити наступні твердження [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

1) враховуючи наявність обмеженості динамічних діапазонів позиційних координат нормованого ОФС-тензора, що сформовані для низькочастотних та середньочастотних областей ТД-блоку, **пропонується** будувати блочні коди в мультіадичному просторі;

2) приймаючи до уваги те, що позиційні координати НОФС-тензору, що утворені для областей високих частот ТД-юлоку, мають суттєво вищі значення нижньої границі динамічного діапазону, то **пропонується** здійснювати блочне кодування в різницевому мультіадичному просторі. В цьому випадку структурна надмірність буде обумовлена наявністю одразу обмежень на нижню та верхню границі динамічного діапазону.

Тому *пропонується* організувати блочне кодування позиційних координат нормованих одноелементних фрейм-спланових тензорів в змішаному мультиадичному просторі.

Тут під *змішаним мультиадичному просторі* розуміється представлення блоку даних одночасно в двох режимах виявлення структурних обмежень, а саме [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

- у разі коли виконується умова $d(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0$, то позиційні координати

НОФС-тензору розглядаються в абсолютному мультиадичному просторі, а нижню границею динамічного діапазону буде нульовий рівень;

- навпаки, якщо, проявляється умова, коли $\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)} \gg \gg 1$, то

позиційні координати як динамічна послідовність в межах НОФС-тензору В-Р кадрів буде представлятися в різницевому мультиадичному просторі.

Представлення позиційних координат $\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ відповідно u' -ї строки $L(\delta)_{u',\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензору $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів в різницевому мультиадичному просторі проводиться з використанням наступних виразів [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

1) знаходяться динамічні діапазони $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ векторів $L(\delta)_{u',\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензору $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ в різницевому мультиадичному просторі.

Для цього виконується наступна дія:

$$\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)} = \ell'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\max)} - \ell'(\delta)_{u,\chi,\gamma}^{(\min)} + 1 = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}\} - \min_{2 \leq \tau \leq T} \{\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}\} + 1,$$

$$u = \overline{1, U(\chi,\gamma)},$$

де $\overline{d(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}$ - динамічний діапазон в різницевому мультиадичному просторі для

u -ї строки $L'(\delta)_{u,\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, з врахуванням величини $\ell'(\delta)_{u',\chi,\gamma}^{(\min)}$;

2) здійснюється перерахунок значень позиційних координат $\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ з абсолютного в різницевий мультіадичний простір. Для чого, враховуючі, що

$$\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} > \ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\min)},$$

виконуються наступні математичні операції:

$$\overline{\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}} = \ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - \overline{d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}}, \quad u = \overline{1, U(\chi, \gamma)}.$$

В цій формулі величина $\overline{\ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}}$ є позиційною координатою НОФС-тензора в різницевому мультіадичному просторі.

Отже після виконання цих технологічних етапів отримуємо опис нормованого ОФС-тензора в змішаному мультіадичному просторі. Це задається наступною системою виразів стосовно визначення основаній $g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ змішаного мультіадичного (ЗМ) простору [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

- для системи основ:

$$g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \begin{cases} d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}, & \rightarrow d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} \xrightarrow{u \rightarrow 1} 0; \\ \overline{d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}}, & \rightarrow \ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\min)} \gg \gg 1; \end{cases} \quad (3.6)$$

- для елементів $\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ ЗМ простору:

$$\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} = \begin{cases} \ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \\ \ell'(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - \ell'(\delta)_{u', \chi, \gamma}^{(\min)}, & \rightarrow g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \overline{d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}}. \end{cases}$$

В теж час, в незалежності від умов відносно обмежень на значення динамічного діапазону, можлива ситуація, коли виконується наступна умова:

$$\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \rightarrow g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$$

відносно концентрації значень позиційних координат динамічної послідовності на базі нормованого ОФС-тензору.

В цьому випадку більш ефективно здійснювати індексування блоків $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ відносно верхньої границі динамічного діапазону позиційних координат.

Тоді у випадку вибору верхньої границі $g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ динамічного діапазону як початку індексування чисел в змішаному мультіадичному просторі, отримаємо наступні вирази для перерахунку позиційних координат:

$$\rho''(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} = g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - 1.$$

В даній формулі величина $\rho''(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ визначається як позиційна координата нормованого ОФС-тензору в змішаному мультіадичному просторі в умовах початку індексування відносно верхнього рівня $g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ динамічного діапазону.

В загальному випадку представлення позиційних координат як елементів $\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ в умовах врахування двох варіантів початку індексування описується наступним співвідношенням [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

$$\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} = \begin{cases} \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \leq g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - 1; \\ \rho''(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}, & \rightarrow \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} > g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - 1. \end{cases}$$

Тут $\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ - позиційна координата блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ в змішаному мультіадичному просторі в умовах врахування двох варіантів початку їх індексування.

При цьому система оснований змішаного мільтіадичного простору остається незмінною, та задається системою виразів (3.6).

Отриману систему виразів для елементів $\Delta\rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ можна представити узагальненим виразом для спрощення обчислювань, а саме:

$$\Delta\rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} = | \rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} - (g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} - 1)(1 - \text{sign}(1 + \text{sign}((g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} - \rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} - 1) - \rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}))) | .$$

В даному виразі використовується функція $\text{sign}(x)$, яка має наступну трактовку:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \rightarrow x > 0; \\ 0, & \rightarrow x = 0; \\ -1, & \rightarrow x < 0. \end{cases}$$

Отже розглянемо варіант, коли відомі такі величини, а саме позиційної координати $\Delta\rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ нормованого блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ в змішаному мультіадичному просторі в умовах врахування двох полюсів початку їх індексування та системи оснований $g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ змішаного мультіадичного (ЗМ) простору. Тоді базова технологія формування кодового значення $E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ для послідовності модифікованих позиційних координат $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ нормованого ОФС-тензору послідовності В-Р кадрів в двополюсному змішаному мультіадичному просторі в умовах обробки в напрямку фреймів (стовбців блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$) задається наступним співвідношенням (рис. 3.2) [14; 16; 64; 67; 112; 116] :

$$E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}) = \sum_{u'=1}^{U(\chi,\gamma)} \Delta\rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} \prod_{k=u'+1}^{U(\chi,\gamma)} g(\ell)_k^{(\chi,\gamma)} \cdot \Delta Q(\Delta\rho(\tau;\delta)_{k,\chi,\gamma}). \quad (3.7)$$

В цьому виразі кодове значення формується для всього стовбцю $L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ блоку

$L'(T - 1)_{\chi, \gamma}$, а величина $\Delta Q(\Delta p(\tau; \delta)_{k, \chi, \gamma})$ позначається як змінна складова

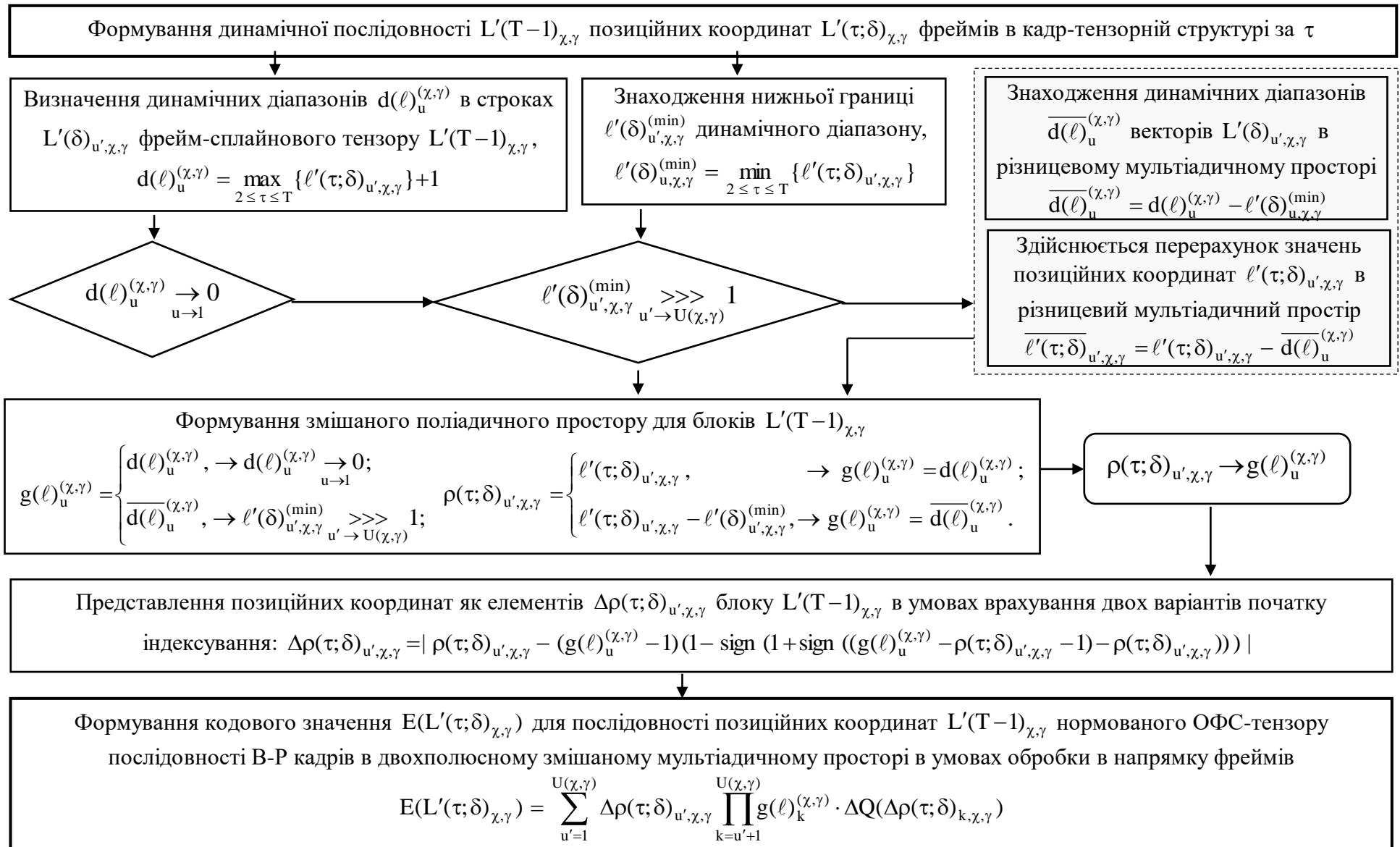


Рисунок 3.2. Структурно-функціональна схема методу динамічного формування кодового значення декомпанованим позиційним координатам нормованого фрейму в двополюсному змішаному мультиадичному просторі

вагового коефіцієнту елементу $\Delta\rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$. В загальному випадку додаток $\Delta Q(\Delta\rho(\tau;\delta)_{k,\chi,\gamma})$ до ваги визначається наступним функціоналом, а саме:

$$\Delta Q(\Delta\rho(\tau;\delta)_{k,\chi,\gamma}) = F(u'; \omega; (\omega - u'); D(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}). \quad (3.8)$$

Функціонал $F(u'; \omega; (\omega - u'); D(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)})$ в загальному випадку залежить від таких параметрів (специфікації процесу формування вагових коефіцієнтів позиційних координат $\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ під час формування кодового значення в двополюсному змішаному мільтіадичному просторі) (рис. 3.3):

1) напрямок вибору позиційних координат для формування кодового значення. Це може бути або в напрямку фреймів, тобто стовбців $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, або в напрямку строк $L'(\delta)_{u',\chi,\gamma}$ блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Отже для ідентифікації такого напрямку вказується один з двох індексів розташування позиційних координат $\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ в блоці $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, що є перемінною в процесі формування кодового значення. В нашому випадку це індекс u' , який задає індексування параметрів сплайнів в межах відповідного фрейму $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$;

2) кількість ω елементів блоку $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, для яких утворюється єдине кодове значення. У випадку обраних умов процесу кодування максимальне значення ω може дорівнювати $U(\chi,\gamma)$;

3) кількість елементів, які на поточний час ще не опрацьовано. У разі обходу позиційних координат $\ell'(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma}$ в напрямку фрейму кількість не оброблених елементів на момент часу $k=u'$ в залежності від загальної кількості елементів в єдиному кодовому значенні дорівнюватиме:

- $(U(\chi,\gamma) - u')$, якщо загальна кількість елементів для процесу кодування складає $U(\chi,\gamma)$;

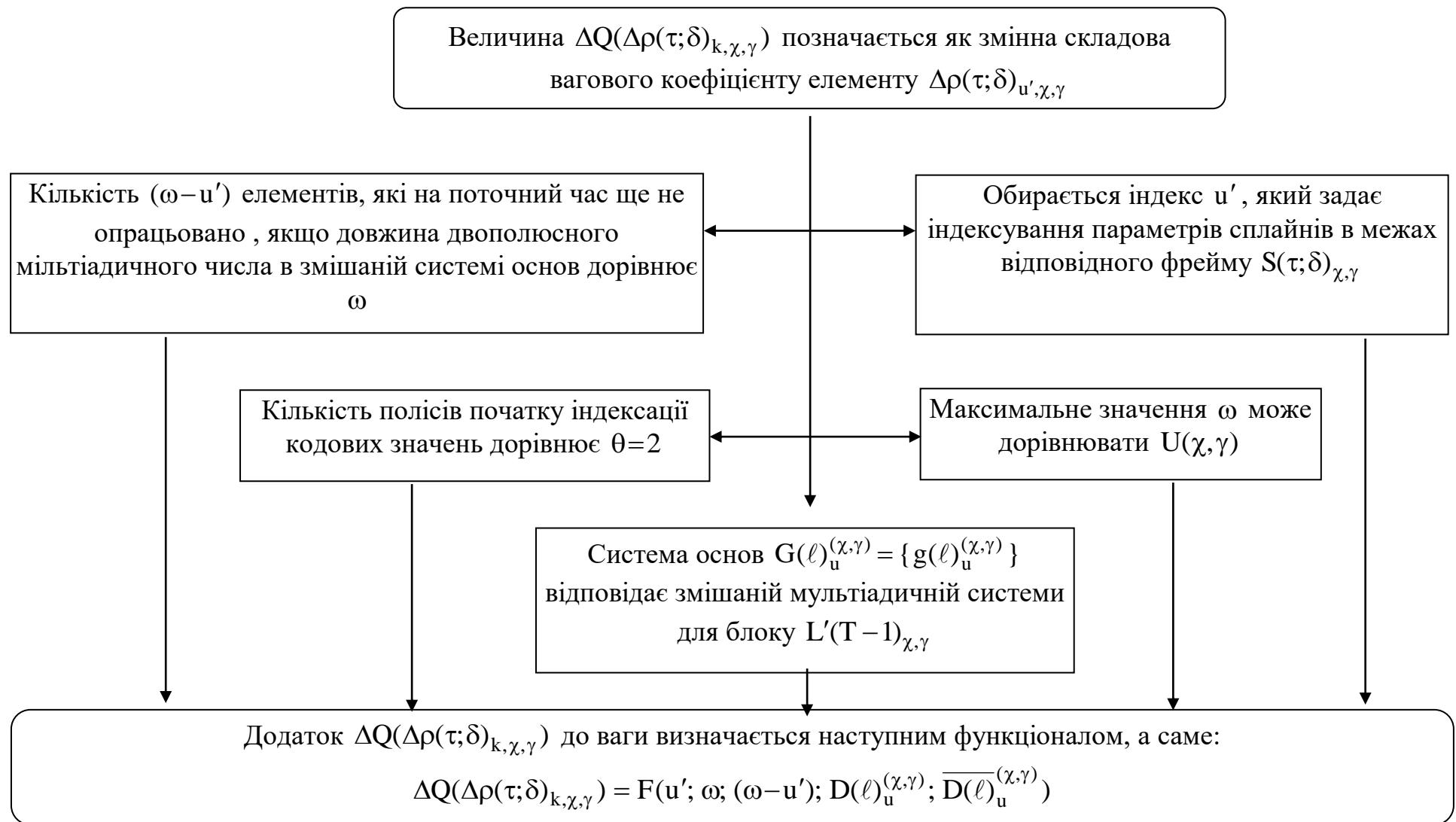


Рисунок 3.3. Схема визначення параметрів функціоналу для оцінки складової вагового коефіцієнту для позиційних координат в процесі формування кодового значення в двополюсному змішаному мультіадичному просторі

- $(\omega - u')$, якщо довжина двополюсного мільтіадичного числа в змішаній системі основ дорівнює ω ;

Така специфікація є динамічною, тобто її значення змінюється з кожним шагом в процесі кодування;

4) система основ $G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \{g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}\}$ змішаної мультіадичної системи для блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$. Тут враховується система основ в режимі абсолютного

$D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \{d(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}\}$ та різницевого $\overline{D}(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \overline{d}(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$ кодоутворення;

5) кількість θ полюсів для позначення нульового рівня індексування кодівих значень. В умовах обраного процесу кодування кількість полісів дорівнює $\theta=2$, а саме перший полюс це індексування відносно нульового рівня, а другий полюс – індексування відносно верхньої границі динамічного діапазону.

З врахуванням виразу (3.8) для оцінки складової $\Delta Q(\Delta p(\tau; \delta)_{k, \chi, \gamma})$ вагового коефіцієнту формула (3.7) для знаходження кодового значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$ буде задаватись наступним чином [14; 16; 64; 67; 112; 116]:

$$E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}) = \sum_{u'=1}^{U(\chi, \gamma)} (|\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - (g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - 1)(1 - \text{sign}(1 + \text{sign}((g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} - 1) - \rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma})))|) \times \prod_{k=u'+1}^{U(\chi, \gamma)} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; U(\chi, \gamma); (U(\chi, \gamma) - u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D}(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}). \quad (3.9)$$

У випадку, коли кодове значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ формується не для всієї послідовності $L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$ (стовбцю блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$), а тільки для окремої його частини $L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}$ (підпослідовності), то відповідне співвідношення матиме наступний вигляд:

$$E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}) = \sum_{k=u'}^{u'+\omega-1} \Delta \rho(\tau; \delta)_{k, \chi, \gamma} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}}), \quad (3.10)$$

де $L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}$ - частина послідовності $L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$, для ω елементів якої створюється єдине кодове значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$.

Структурно-функціональна схема метода динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мільтіадичного кодування на рис. 3.4 [14; 16; 64; 67; 112; 116] .

Стосовно викладеного матеріалу наукових досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Обґрунтовано організація технології виявлення закономірностей за динамічними діапазонами позиційних координат з врахуванням їх розташування у фреймі відносно частотної області спектрально-диференціального блоку В-Р кадрів. А саме для позиційних координат фреймів, які:

- описують низькочастотну область ТД-блоку враховуються верхні обмеження динамічного діапазону;
- побудовані для високочастотних областей ТД-блоку додатково враховуються обмеження на нижню границю динамічного діапазону.

В цьому випадку враховується різноманітність (адаптивність) сукупності позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності кадрів В-Р типів в залежності від області ТД-блоку для яких формується структурний сплайн.

2. Розроблено метода динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мільтіадичного кодування в напрямку їх фреймів з врахуванням: виявлення структурних обмежень одночасного за двома напрямками відносно границь динамічних діапазонів;

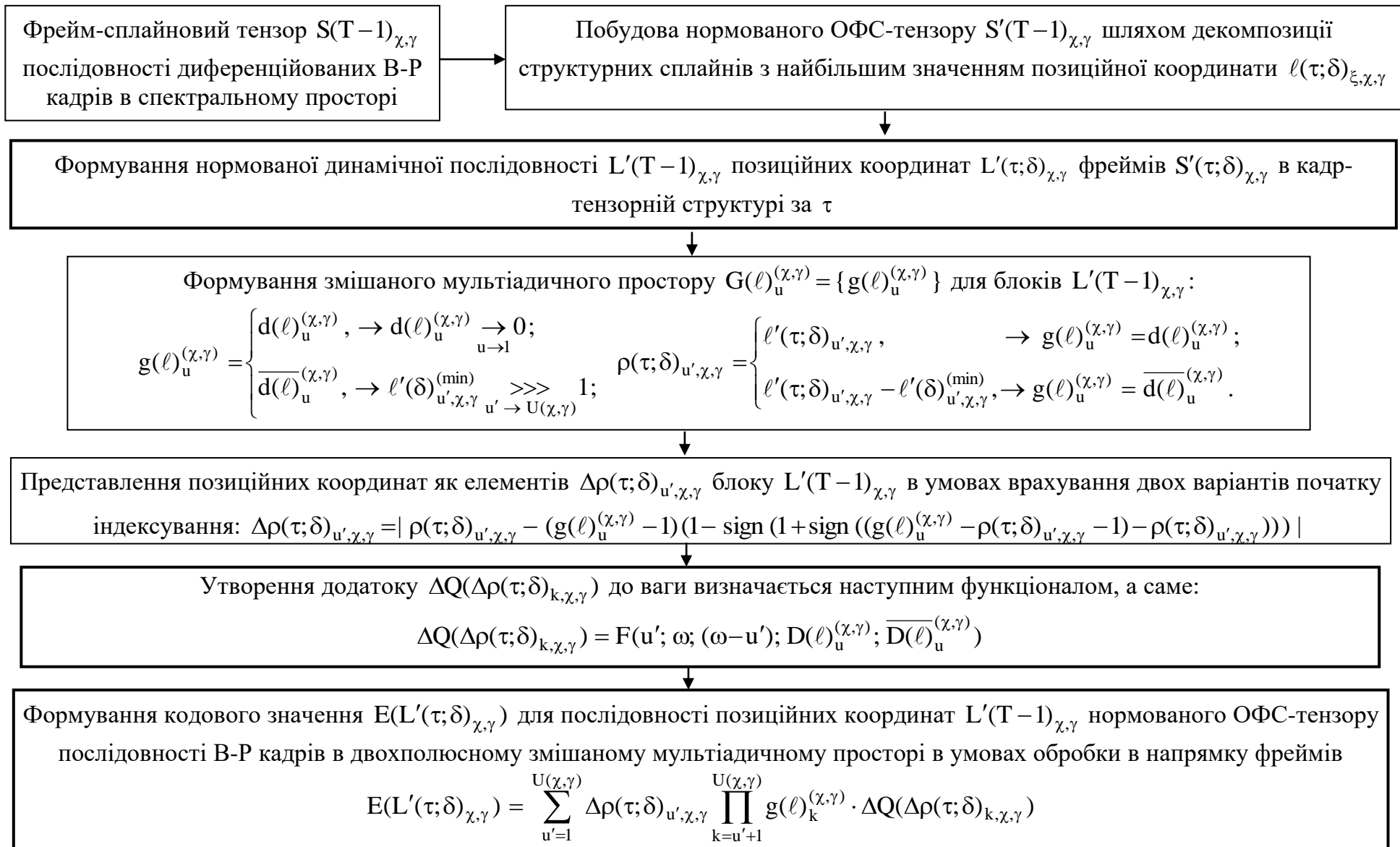


Рисунок 3.4. - Структурно-функціональна схема методу динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мільтіадичного кодування

адаптивним врахуванням структурних особливостей позиційних координат сплайнів в залежності від спектрально-частотної області їх формування.

Базовими технологічними етапами методу є:

- формування змішаного мільтіадичного простору на базі сукупності позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів;
- обчислення додатків до вагових коефіцієнтів з врахуванням обробки сукупностей позиційних координат сплайнів за напрямком формування їх фреймів;
- технологія адаптивного кодування позиційних координат за фреймовим напрямком в залежності від їх пульсації відносно границь динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисі;
- концепція скорочення надмірності з одночасним врахуванням закономірностей, як внутрі спектрально-диференційованих кадрів, так й між ними.

В цьому випадку досягається додаткове скорочення структурної надмірності, яка обумовлена:

- врахуванням структурних, статистичних та психовізуальних закономірностей, як внутрішньокадрової, й так міжкадрової направленості;
- врахуванням закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування;
- врахуванням пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисному просторі.

Наукова новизна.

1. Удосконалено метод мільтіадичного кодування на основі формування змішаного базису. Основні відмінності методу стосуються використання технологія кодування даних одночасно в двополюсному режимі з адаптивним врахуванням пульсації елементів відносно границь динамічного діапазону змішаного мультіадичного базисного простору. Це дозволяє підвищити ефективність обробки тривимірних структур даних за рахунок можливості

скорочення структурної надмірності одночасно за двома напрямками без внесення втрат цілісності інформації.

2. Вперше розроблено метод кодування послідовності передбачених відеокадрів на основі формування спектрально-диференційованих блоків. Основні відмінності методу полягають у наступному: обробка послідовностей В-Р кадрів здійснюється в динамічному режимі для позиційних координат їх фрейм-сплайнових тензорів на основі двополюсного змішаного мільтіадичного кодування.

Це забезпечую додаткове скорочення часових затримок на передачу (зниження інформаційної інтенсивності бітового потоку) кадрів В-Р-типів шляхом скорочення надмірності (структурної, статистичної, психовізуальної), яка обумовлена одночасним виявленням внутрішньо- й між кадрових закономірностей.

3.3. Створення методу інтегрування процесу кодування послідовності В-Ркадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів

Аналіз виразів (3.9) та (3.10) відповідно для знаходження кодових значень $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$ та $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$, показує що в процесі кодування можуть виникати такі вразливі фактори, які впливають на загальну ефективність інформаційної технології обробки та передачі кадрів (ІТОПК). Сюди потрібно віднести наступні фактори (рис.3.5) [12; 16; 64; 115; 135] :

1) існує пропорційна залежність між значенням величин $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$, $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ та кількістю елементів, для яких вони будуються, тобто:

$$E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}) \sim \omega; \quad E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}) \sim \omega.$$

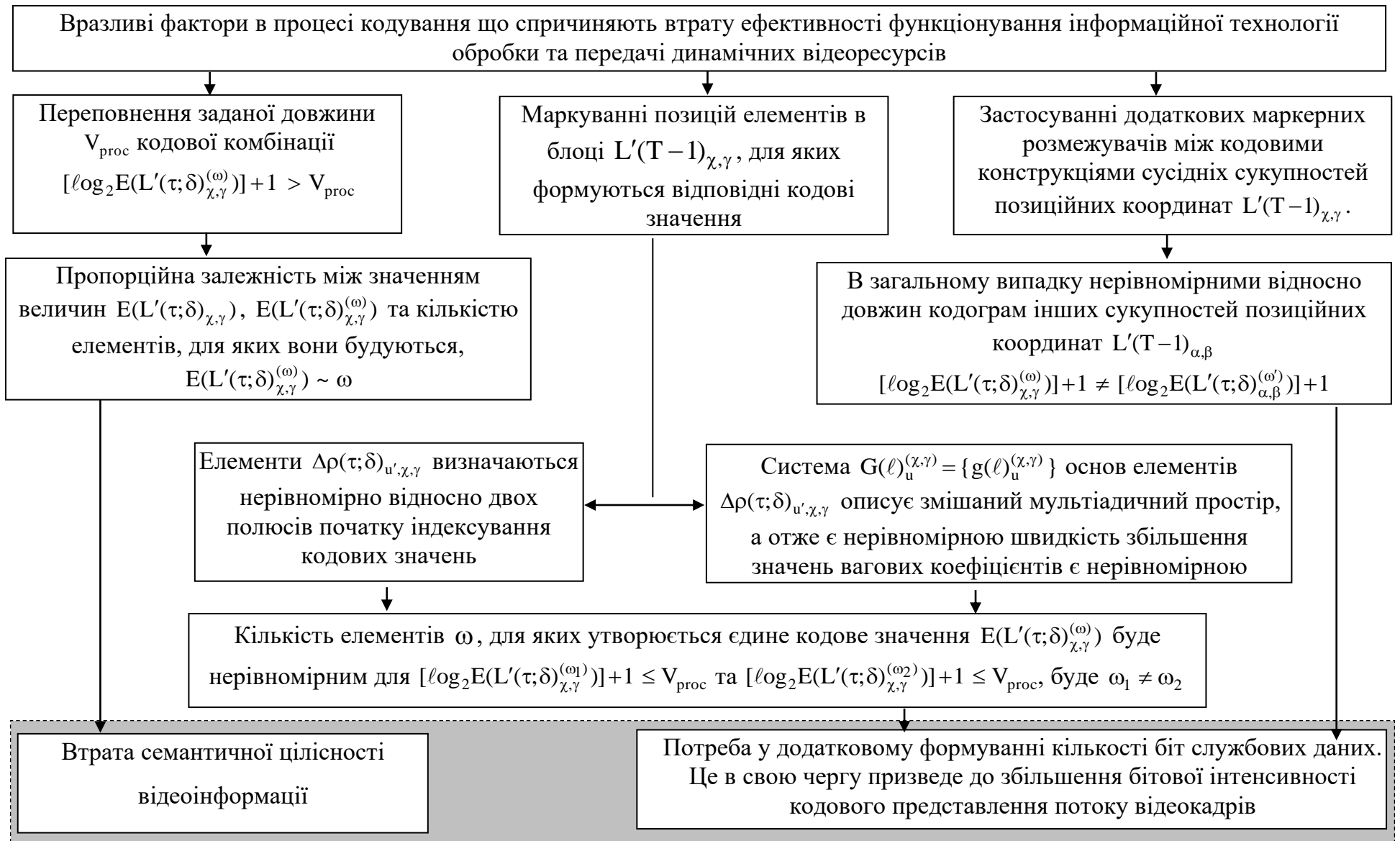


Рисунок 3.5. – Схема впливу вразливих факторів на втрати ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі динамічного відеоресурсу

Звідки з додаванням кожного елементу на k -му кроці обробки можуть виникати випадки переповнення заданої довжини V_{proc} кодової комбінації, що встановлена в ІТОПК, тобто:

$$[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})] + 1 \leq V_{\text{proc}} \quad \text{або} \quad [\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})] + 1 \leq V_{\text{proc}}; \quad (3.11)$$

2) кодові значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ формуються для стовбців блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$, то:

- по-перше їх елементи $\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ визначаються нерівномірно відносно двох полюсів початку індексування кодових значень;

- по-друге система $G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \{g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}\}$ основ елементів $\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma}$ описує змішаний мультіадичний простір, а отже є нерівномірною. Звідки величини вагових коефіцієнтів також будуть нерівномірними щодо приросту своїх значень. Тобто швидкість збільшення значень вагових коефіцієнтів є нерівномірною. Це демонструється наступним співвідношенням:

$$\frac{\prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}})}{\prod_{k=u'+2}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'-1); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}})} \neq \frac{\prod_{k=u'+2}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'-1); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}})}{\prod_{k=u'+3}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'-2); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}})}.$$

Враховуючі ці обставини можна стверджувати, що кількість елементів ω , для яких утворюється єдине кодове значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ буде нерівномірним,

тобто: якщо з одного для двох кодів $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega_1)})$ та $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega_2)})$ буде виконуватись вимога щодо обмежень на довжину їх кодограм, а саме:

$$[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega_1)})] + 1 \leq V_{\text{proc}} \quad \text{та} \quad [\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega_2)})] + 1 \leq V_{\text{proc}},$$

але з іншого боку в загальному випадку між величинами ω_1 та ω_2 буде існувати нерівність:

$$\omega_1 \neq \omega_2,$$

тобто кількість елементів ω_1 та ω_2 , що належить відповідно кодовим значенням $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega_1)})$ та $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega_2)})$ буде різним.

В такому випадку існуватиме потреба у маркуванні позицій елементів в блоці $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$, для яких формуються відповідні кодові значення. Наприклад, виникає необхідність у позначені координат розташування початкових або кінцевих елементів кожної послідовності $L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}$.

Такий фактор призведе до необхідності використовувати позиційні маркери. Звідки слідує потреба у додатковому формуванні кількості біт службових даних. Це в свою чергу призведе до збільшення бітової інтенсивності кодового представлення потоку відеокадрів.

Тут під *додатковою службовою інформацією* розуміються такі відомості, які не використовуються безпосередньо в процесі формування кодових значень;

3) довжина $[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})] + 1$ кодограм на двійкове представлення відповідних кодових значень хоча і є рівномірною в межах обробки позиційних координат $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ нормованого фрейм-сплайнового тензору (НОФС). Це обумовлено необхідністю виконання умови (3.11). Тобто в процесі утворення кодограм використовується концепція локально-рівномірного визначення їх довжин. Однак ці довжини $[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})] + 1$ в умовах досягнення

нерівності (3.11) будуть в загальному випадку нерівномірними відносно довжин кодограм інших сукупностей позиційних координат $L'(T-1)_{\alpha,\beta}$ в межах однієї послідовності В-Р кадрів. А саме:

$$[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi,\gamma}^{(\omega)})] + 1 \neq [\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\alpha,\beta}^{(\omega')})] + 1,$$

де $[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi,\gamma}^{(\omega)})] + 1$, $[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\alpha,\beta}^{(\omega')})] + 1$ - довжини кодограм, які утворюються як базові відповідно для блоків $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ та $L'(T-1)_{\alpha,\beta}$.

Отже виникає потреба у застосуванні додаткових маркерних розмежувачів між кодовими конструкціями сусідніх сукупностей позиційних координат $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$.

Тому важною технологічною умовою в процесі двохполюсного мільтіадичного кодування позиційних координат НОФС тензору послідовності В-Р кадрів є виключення випадків неконтрольованої втрати цілісності інформації та збільшення інформаційної інтенсивності бітового потоку (рис. 3.6).

Для усунення факторів вразливості процесу кодування В-Р кадрів в ІТОПК *пропонується* наступне [12; 16; 64; 115; 135] :

1. Створення необхідної умови. По-перше *пропонується* використовувати в процесі формування кодового значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi,\gamma}^{(\omega)})$ рекурентного виразу. Для отримання рекурентної технології кодування в двоуполюсному змішаному мультіадичному просторі проведемо наступні перетворення.

Перепишемо вираз (3.10) для визначення кодового значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi,\gamma}^{(\omega)})$ у разі відокремлення вагової складової

$$\Delta\rho(\tau;\delta)_{u',\chi,\gamma} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi,\gamma)} \cdot F(u';\omega;(\omega-u');D(\ell)_u^{(\chi,\gamma)};\overline{D(\ell)}_u^{(\chi,\gamma)}) \quad \text{для старшого}$$

елементу, тобто:



Рисунок 3.6. – Схема усунення вразливих факторів щодо втрати ефективності функціонування інформаційної технології обробки та передачі динамічного відеоресурсу

$$\begin{aligned}
E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}) &= \sum_{k=u'}^{u'+\omega-1} \Delta\rho(\tau; \delta)_{k, \chi, \gamma} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)}) = \\
&\Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)}) + \\
&\sum_{k=u'-1}^{u'+\omega-1} \Delta\rho(\tau; \delta)_{k, \chi, \gamma} \prod_{k=u'}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'+1); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)}).
\end{aligned}$$

При цьому остання складова в цій формулі є кодовим значенням $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega-1)})$, що утворено для $(\omega-1)$ елементу, а саме:

$$E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega-1)}) = \sum_{k=u'-1}^{u'+\omega-1} \Delta\rho(\tau; \delta)_{k, \chi, \gamma} \prod_{k=u'}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} F(u'; \omega; (\omega-u'+1); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)}).$$

З врахуванням останнього співвідношення, отримуємо таку рекурентну формулу [12; 16; 64; 115; 135] :

$$\begin{aligned}
E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}) &= \Delta\rho(\tau; \delta)_{u', \chi, \gamma} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)}_u^{(\chi, \gamma)}) + \\
&+ E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega-1)}).
\end{aligned}$$

Отже отримано вираз для рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат НОФС-тензору в двополюсному змішаному мультіадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів.

Це надає можливість контролювати значення величини $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ відносно виконання вимоги (3.11) шляхом перевірки допустимості додавання чергового елементу до процесу формування кодового значення. Отже отримана рекурентна технологія кодування є необхідною умовою виключенні вразливих факторів процесу динамічної обробки відеокадрів. Для забезпечення достатньої

умови потрібно створити технологічний механізм по-крокового контролю виконання умови (3.11).

2. Побудова достатньої умови. Для цього по-друге потрібно розробити таке правило контролю кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$, а також визначення довжини $[\log_2 E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})] + 1$ кодових комбінацій на їх двійкове представлення, для якого виключається необхідність застосовувати додаткову службову інформацію.

Для цього *пропонується* використовувати властивості мільтіадичного представлення, а саме наявність верхньої межі для кодових значень в змішаному мультіадичному просторі, та її залежність виключно від системи $G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \{g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}\}$ основ. Це має такий математичний опис [12; 115; 135] :

$$E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)}) < g(\ell)_{u'}^{(\chi, \gamma)} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}}). \quad (3.12)$$

$$\text{Тут } g(\ell)_{u'}^{(\chi, \gamma)} \prod_{k=u'+1}^{u'+\omega-1} g(\ell)_k^{(\chi, \gamma)} \cdot F(u'; \omega; (\omega-u'); D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}; \overline{D(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}}) - \text{ величина,}$$

яка дорівнює кількості допустимих послідовностей довжиною ω елементів в побудованому двополюсному змішаному мультіадичному просторі. При цьому, як слідує з аналізу виразу (3.12), для отримання верхньої межі кодового значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ потрібна тільки та інформація, яка використовується безпосередньо в процесі його формування. З врахуванням умови (3.12) можна без застосування додаткової службової інформації:

- по-перше забезпечити контроль значення величин $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}^{(\omega)})$ на кожному кроці процесу кодування послідовностей позиційних координат (для цього лише потрібно застосовувати рекурентну по-елементну технологію

побудови кодових значень в двополюсному змішаному мультіадичному просторі);

- по друге установити позиції розташування кодових конструкцій суміжних блоків $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$, тобто для кодових конструкцій позиційних координат суміжних фрейм-сплайнових тензорів.

Таким чином, застосування створених двох технологічних принципів, а саме: стосовно рекурентного по-елементного формування кодового значення в двополюсному змішаному мультіадичному просторі та механізму відносно визначення довжин кодограм на основі застосування інформації о системі основ $G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)} = \{g(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}\}$, дозволяє усунути указані фактори вразливості щодо втрати ефективності функціонування процесу кодування для ІТОПДВ.

Згідно виразу (3.12) довжина $V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}))$ кодограми $C(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}))$ на двійкове представлення кодового значення $E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ сукупності $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат для $(\chi;\gamma)$ -го фрейму $S(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів буде визначатися за допомогою такої формули [12; 16; 64; 115; 135] :

$$\begin{aligned} V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})) &= [\log_2 \prod_{k=1}^{U(\chi,\gamma)} g(\ell)_k^{(\chi,\gamma)} \cdot \Delta Q(\Delta\rho(\tau;\delta)_{k,\chi,\gamma})] + 1 = \\ &= [U(\chi,\gamma) \sum_{k=1}^{U(\chi,\gamma)} \log_2 (g(\ell)_k^{(\chi,\gamma)} \cdot \Delta Q(\Delta\rho(\tau;\delta)_{k,\chi,\gamma}))] + 1. \end{aligned} \quad (3.13)$$

При цьому згідно достатньої умови виконується наступна нерівність:

$$[\log_2 E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})] + 1 \leq V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})).$$

В свою чергу кодограма $C(E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}))$ є частиною кодової конструкції $C(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$, яка несе інформацію як про кодове значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$ (інформаційна частина), так й про службову інформацію.

Для розробленого методу кодування позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовностей кадрів В-Р-типів службова інформація ділиться на два типи, а саме (рис. 3.7) [12; 64; 115; 135]:

1) загального типу (для всій послідовності В-Р кадрів):

- матриці знаків для кадрів в процесі їх диференційованого представлення;

- матриці знаків компонент спектрально-диференційованих (ТД) кадрів;

- кількість кадрів T в послідовності кадрів В-Р типів;

- інформація щодо нормованої сукупності $Z'(T-1)_{\chi, \gamma}$ спектральних координат фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi, \gamma}$ послідовності В-Р кадрів;

2) локального типу (ті службові відомості, що необхідні безпосередньо для формування кодового значення $E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$ нормованої сукупності позиційних координат $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$ для окремого одноелементного фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi, \gamma}$):

- кількість $U(\chi, \gamma)$ структурних елементів у фреймі $S(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}$;

- система основ $G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)} = \{g(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}\}$ змішаного мультіадичного базису для блоку $L'(T-1)_{\chi, \gamma}$.

Звідки складові кодограми $C(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$ представляються таким виразом:

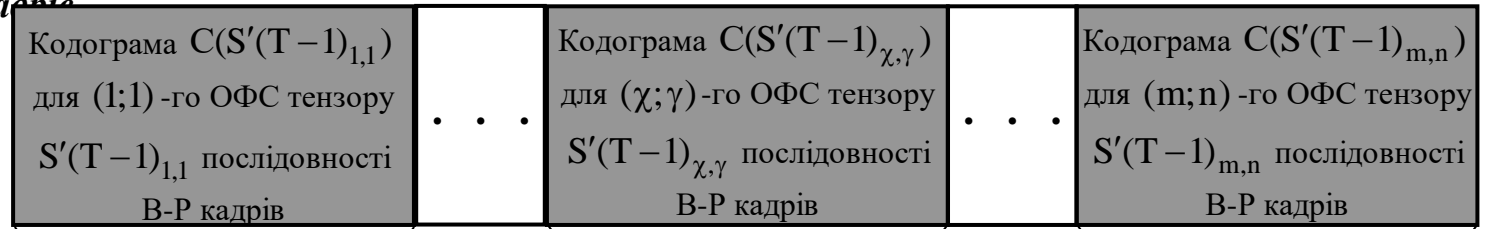
$$C(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma}) = C(U(\chi, \gamma)) \cup C(G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}) \cup C(E(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})),$$

де $C(U(\chi, \gamma))$, $C(G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)})$ - кодограми двійкового опису інформації щодо таких величин: $U(\chi, \gamma)$ та $G(\ell)_u^{(\chi, \gamma)}$.

Кодові конструкції $C(L'(\tau; \delta)_{\chi, \gamma})$ окремих фреймів є складовими загальних кодових конструкцій $C(L'(T - 1)_{\chi, \gamma})$ відносно компактного бітового

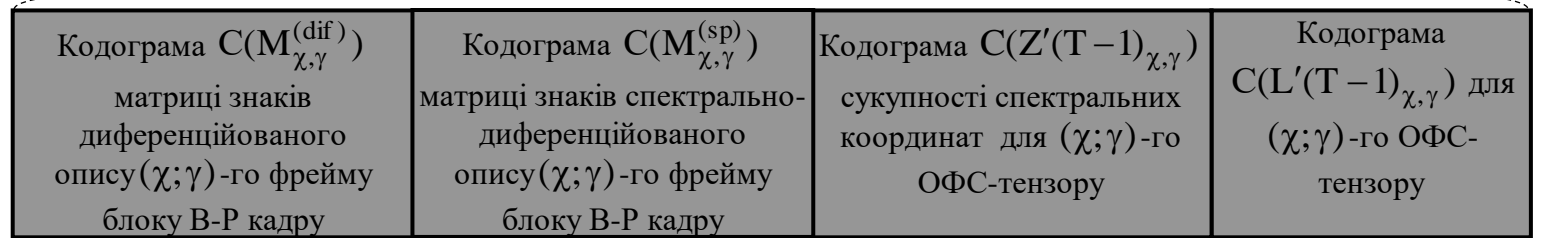
Рівень послідовності В-Р-кадрів

Кодовий опис $C(S'(T-1))$ інформаційної частини ефективного синтаксичного представлення динамічних послідовностей В-Р кадрів



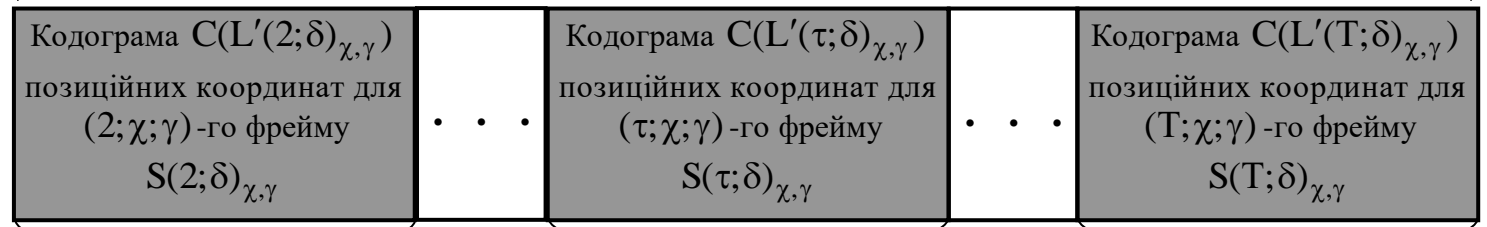
Рівень ОФС-тензору

Кодограма $C(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$ $(\chi;\gamma)$ -го одноелементного фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$



Рівень сукупності позиційних координат ОФС-тензору

Кодограма сукупності позиційних координат $C(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$ для $(\chi;\gamma)$ -го ОФС-



Рівень позиційних координат фреймів

Кодограма $C(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ для $(\tau;\chi;\gamma)$ -го фрейму



Рисунок 3.7. - Структурна схема кодової конструкції для компактно представлені послідовності В-Р кадрів

опису всієї нормованої сукупності $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат ОФС-тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Це можна представити наступним математичним виразом:

$$C(L'(T-1)_{\chi,\gamma}) = \bigcup_{\tau=2}^{T-1} C(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}).$$

Отже інформаційні частини кодових конструкцій $C(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$ одноелементних фрейм-сплайнових тензорів $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ будуються з окремих кодограм $C(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$, а саме:

$$C(S'(T-1)_{\chi,\gamma}) = C(M_{\chi,\gamma}^{(dif)}) \cup C(M_{\chi,\gamma}^{(sp)}) \cup C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}) \cup C(L'(T-1)_{\chi,\gamma}).$$

Тут $C(M_{\chi,\gamma}^{(dif)})$, $C(M_{\chi,\gamma}^{(sp)})$ - кодограми компактного представлення матриці знаків відповідно диференційованого та спектрально-диференційованого опису $(\chi;\gamma)$ -го блоку В-Р кадрів; $C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma})$ - кодограма нормованої сукупності $Z'(T-1)_{\chi,\gamma}$ спектральних координат фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів.

В свою чергу послідовність кодових конструкцій $C(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$, $\chi = \overline{1, W_{стр} / w}$, $\gamma = \overline{1, W_{стб} / w}$ створюють кодовий опис $C(S'(T-1))$ інформаційної частини ефективного синтаксичного представлення динамічних послідовностей В-Р кадрів. Це задається наступним співвідношенням:

$$C(S'(T-1)) = \bigcup_{\chi=1}^{W_{стр} / w} \bigcup_{\gamma=1}^{W_{стб} / w} C(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$$

або

$$C(S'(T-1)) = \bigcup_{\chi=1}^{W_{стр} / w} \bigcup_{\gamma=1}^{W_{стб} / w} \left(C(M_{\chi,\gamma}^{(dif)}) \cup C(M_{\chi,\gamma}^{(sp)}) \cup C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}) \cup C(L'(T-1)_{\chi,\gamma}) \right) =$$

$$\begin{aligned}
&= \bigcup_{\chi=1}^{W_{\text{стр}}/w} \bigcup_{\gamma=1}^{W_{\text{стб}}/w} \left(C(M_{\chi,\gamma}^{(\text{dif})}) \cup C(M_{\chi,\gamma}^{(\text{sp})}) \cup C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}) \cup \right. \\
&\quad \left. \bigcup_{\tau=2}^{T-1} C(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}) \right) = \\
&= \bigcup_{\chi=1}^{W_{\text{стр}}/w} \bigcup_{\gamma=1}^{W_{\text{стб}}/w} \left(C(M_{\chi,\gamma}^{(\text{dif})}) \cup C(M_{\chi,\gamma}^{(\text{sp})}) \cup C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}) \cup \right. \\
&\quad \left. \bigcup_{\tau=2}^{T-1} (C(U(\chi,\gamma)) \cup C(G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}) \cup C(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}))) \right).
\end{aligned}$$

Відповідна чотирьохрівнева схема кодової конструкції в умовах виключення факторів втрат ефективності функціонування ІТОПДВ наведена на рис. 3.7.

Саме концепція інтеграції розробленого методу кодування сукупності позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності В-Р кадрів в стандартизовану ІТОПДВ сімейства H26* в умовах виключення додаткових втрат її ефективності, представлено на рис. 3.8 [12; 16; 64; 115; 135].

Стосовно представленого матеріалу досліджень допустимо зробити такі підсумки:

1. Обґрунтовано наявність вразливих фактори відносно втрати загальної ефективності інформаційної технології обробки та передачі динамічного відеоресурсу. Такі фактори стосуються наступного:

1) в процесі формування кодових значень для сукупності позиційних координат сплайнових фреймів можуть виникати випадки переповнення заданої довжини кодової комбінації;

2) виникає потреба у додатковому формуванні кількості біт службових даних, а саме на додаткове використання маркерів: розташування послідовностей позиційних координат, для яких формуються кодові значення;

розмежувачів між кодovими конструкціями сусідніх сукупностей позиційних координат.

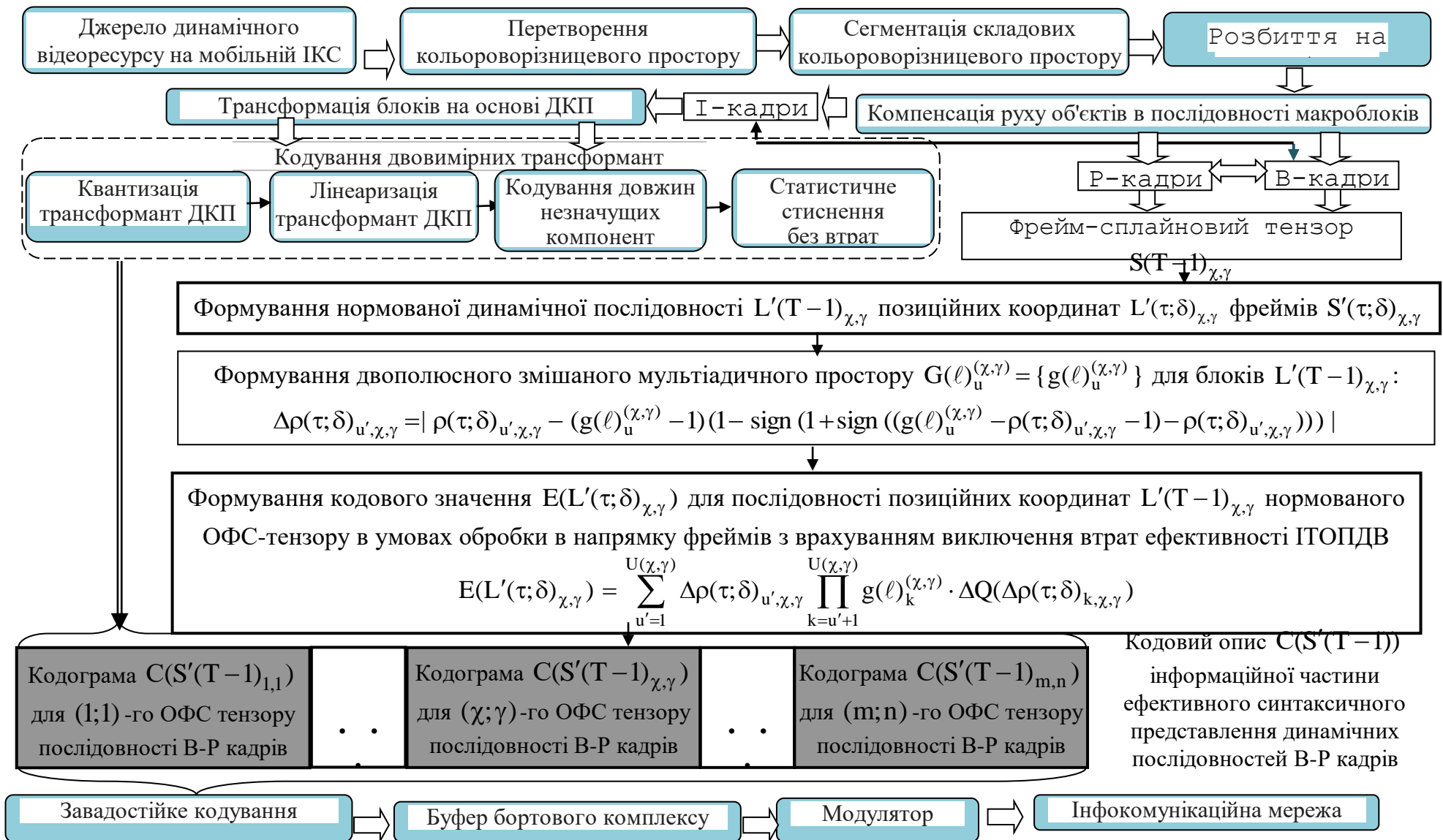


Рисунок 3.8 – Схема концепція інтеграції розробленого методу кодування сукупності позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності В-Р кадрів в стандартизовану ІТОПДВ

Це в свою чергу призведе до збільшення бітової інтенсивності кодового представлення потоку відеокадрів, а отже призведе до зниження рівня доступності інформаційного ресурсу. Це обумовлено тим, що:

- елементи ЗМ простору визначаються нерівномірною пульсацією відносно двох полюсів початку індексування кодових значень;
- швидкість збільшення значень вагових коефіцієнтів є нерівномірною;
- довжини кодограм кодових значень позиційних координат фреймів в загальному випадку є нерівномірними в межах кодової конструкції послідовності В-Р кадрів.

2. Розроблено технологічну концепцію інтегрування створених методів обробки В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів, яка базується на таких методах:

1) усунення вразливих факторів втрати ефективності функціонування ІТОПДВ на основі розроблення *рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат НОФС-тензору в двополюсному змішаному мультиадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів*

2) концепції формування чотирьохрівневої кодової конструкції на основі використання правила контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій, яке враховує залежності верхньої межі для кодових значень в змішаному мультиадичному просторі виключно від системи основ.

В цьому випадку усувається:

- можливість переповнення заданої довжини кодової комбінації;
- необхідність використовувати додаткову службову інформацію на маркування кодованих послідовностей та позицій розташування їх кодограм.

Виключаються втрати семантичної цілісності інформації та рівня зниження інформаційної інтенсивності бітового потоку

Наукова новизна

1. Удосконалено метод кодування сукупності позиційних координат на основі змішаного мільтіадичного базису. Основні відмінності методу полягають в тому, що:

- по-перше пропонується в процесі формування кодового значення використовувати рекурентну технологію кодування в двополюсному змішаному мультіадичному просторі (необхідна умова);

- по-друге розробляється правило контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій, яке враховує залежності верхньої межі для кодових значень в змішаному мультіадичному просторі виключно від системи основ (достатня умова).

Це забезпечує: можливість контролювати кодові значення шляхом перевірки допустимості додавання чергового елемента до формування кодового значення; контроль кодових значень на кожному кроці процесу кодування послідовностей позиційних координат; встановлення позиції розташування кодових конструкцій суміжних ТД-блоків.

2. Удосконалено інформаційну технологію обробки та передачі відеоінформаційного ресурсу на основі інтегрування процесу кодування послідовності В-Ркадрів в фрейм-сплайновому просторі. Основні відмінні особливості полягають у наступному: створено технологію усунення вразливих факторів втрати ефективності процесу кодування В-Р кадрів на основі побудови необхідної та достатньої умов, які базуються на: рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат НОФС-тензору в двополюсному змішаному мультіадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів; концепції формування чотирьохрівневої кодової конструкції на основі використання правила контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій.

Це дозволяє додатково відносно існуючих технологій кодування знизити часові затримки на доведення динамічного відеоресурсу в умовах збереження потрібного рівня його семантичної цілісності.

Висновки за третім розділом

1. Створено метод структурного нормування одноелементних фрейм-сплайнових тензорів, який базується на вирівнюванні лінійних розмірів його фреймів шляхом декомпозиції параметрів структурних сплайнів, які мають максимальні значення позиційних координат. Обґрунтовано ефективність такої декомпозиції за показниками скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу та виключення можливостей щодо втрати інформації.

2. Обґрунтовано організація технології виявлення закономірностей за динамічними діапазонами позиційних координат з врахуванням їх розташування у фреймі відносно частотної області спектрально-диференціального блоку В-Р кадрів. А саме для позиційних координат фреймів, які:

- описують низькочастотну область ТД-блоку враховуються верхні обмеження динамічного діапазону;
- побудовані для високочастотних областей ТД-блоку додатково враховуються обмеження на нижню границю динамічного діапазону.

В цьому випадку враховується різномірність (адаптивність) сукупності позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності кадрів В-Р типів в залежності від області ТД-блоку для яких формується структурний сплайн.

3. Розроблено метод динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мільтіадичного кодування в напрямку їх фреймів з врахуванням: виявлення структурних обмежень одночасного за двома напрямками відносно границь динамічних діапазонів;

адаптивним врахуванням структурних особливостей позиційних координат сплайнів в залежності від спектрально-частотної області їх формування.

Базовими технологічними етапами методу є:

- формування змішаного мільтіадичного простору на базі сукупності позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів;
- обчислення додатків до вагових коефіцієнтів з врахуванням обробки сукупностей позиційних координат сплайнів за напрямком формування їх фреймів;
- технологія адаптивного кодування позиційних координат за фреймовим напрямком в залежності від їх пульсації відносно границь динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисі;
- концепція скорочення надмірності з одночасним врахуванням закономірностей, як внутрішньокадрових, так й між ними.

В цьому випадку досягається додаткове скорочення структурної надмірності, яка обумовлена:

- врахуванням структурних, статистичних та психовізуальних закономірностей, як внутрішньокадрової, й так міжкадрової направленості;
- врахуванням закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування;
- врахуванням пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисному просторі.

4. Обґрунтовано наявність вразливих факторів відносно втрати загальної ефективності інформаційної технології обробки та передачі динамічного відеоресурсу. Такі фактори стосуються наступного:

1) в процесі формування кодових значень для сукупності позиційних координат сплайнових фреймів можуть виникати випадки переповнення заданої довжини кодової комбінації;

2) виникає потреба у додатковому формуванні кількості біт службових даних, а саме на додаткове використання маркерів: розташування послідовностей позиційних координат, для яких формуються кодові значення; розмежувачів між кодовими конструкціями сусідніх сукупностей позиційних координат.

Це в свою чергу призведе до збільшення бітової інтенсивності кодового представлення потоку відеокадрів, а отже призведе до зниження рівня доступності інформаційного ресурсу. Це обумовлено тим, що:

- елементи ЗМ простору визначаються нерівномірною пульсацією відносно двох полюсів початку індексування кодових значень;
- швидкість збільшення значень вагових коефіцієнтів є нерівномірною;
- довжини кодограм кодових значень позиційних координат фреймів в загальному випадку є нерівномірними в межах кодової конструкції послідовності В-Р кадрів.

5. Розроблено технологічну концепцію інтегрування створених методів обробки В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів, яка базується на таких методах:

1) усунення вразливих факторів втрати ефективності функціонування ІТОПДВ на основі розроблення *рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат НОФС-тензору в двополюсному змішаному мультіадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів;*

2) концепції формування чотирьохрівневої кодової конструкції на основі використання правила контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій, яке враховує залежності верхньої межі для кодових значень в змішаному мультіадичному просторі виключно від системи основ.

В цьому випадку усувається:

- можливість переповнення заданої довжини кодової комбінації;
- необхідність використовувати додаткову службову інформацію на маркування кодованих послідовностей та позицій розташування їх кодограм.

Виключаються втрати семантичної цілісності інформації та рівня зниження інформаційної інтенсивності бітового потоку.

Наукова новизна.

1. Вперше розроблено метод структурного нормування фрейм-сплайнових тензорів на основі технології декомпозиції фреймів. Відмінності методу полягають у тому, що:

1) вирівнювання лінійних розмірів фрейм-сплайнових тензорів в залежності від структурно-семантичного контенту блоків Р-В кадрів на основі принципу структурного генерування допоміжних структурних сплайнів нульового порядку (ССНП);

2) декомпозиція фреймів (генерування допоміжних сплайнів) формується на базі структурного розкладу максимальних значень позиційних координат їх структурних сплайнів нульового порядку.

Це забезпечує підвищення ефективності кодування у напрямку скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу без втрат його достовірності.

2. Удосконалено метод мільтіадичного кодування на основі формування змішаного базису. Основні відмінності методу стосуються використання технологія кодування даних одночасно в двополюсному режимі з адаптивним врахуванням пульсації елементів відносно границь динамічного

діапазону змішаного мультіадичного базисного простору. Це дозволяє підвищити ефективність обробки тривимірних структур даних за рахунок можливості скорочення структурної надмірності одночасно за двома напрямками без внесення втрат цілісності інформації.

3. Вперше розроблено метод кодування послідовності передбачених відеокадрів на основі формування спектрально-диференційованих блоків. Основні відмінності методу полягають у наступному: обробка послідовностей В-Р кадрів здійснюється в динамічному режимі для позиційних координат їх фрейм-сплайнових тензорів на основі двополюсного змішаного мільтіадичного кодування.

Це забезпечую додаткове скорочення часових затримок на передачу (зниження інформаційної інтенсивності бітового потоку) кадрів В-Р-типів шляхом скорочення надмірності (структурної, статистичної, психовізуальної), яка обумовлена одночасним виявленням внутрішньо- й між кадрових закономірностей.

4. Удосконалено метод кодування сукупності позиційних координат на основі змішаного мільтіадичного базису. Основні відмінності методу полягають в тому, що:

- по-перше пропонується в процесі формування кодового значення використовувати рекурентну технологію кодування в двополюсному змішаному мультіадичному просторі (необхідна умова);

- по-друге розробляється правило контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій, яке враховує залежності верхньої межі для кодових значень в змішаному мультіадичному просторі виключно від системи основ (достатня умова).

Це забезпечує: можливість контролювати кодові значення шляхом перевірки допустимості додавання чергового елемента до формування кодового значення; контроль кодових значень на кожному кроці процесу

кодування послідовностей позиційних координат; встановлення позиції розташування кодових конструкцій суміжних ТД-блоків.

5. Удосконалено інформаційну технологію обробки та передачі відеоінформаційного ресурсу на основі інтегрування процесу кодування послідовності В-Ркадрів в фрейм-сплайновому просторі. Основні відмінні особливості полягають у наступному: створено технологію усунення вразливих факторів втрати ефективності процесу кодування В-Р кадрів на основі побудови необхідної та достатньої умов, які базуються на: рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат НОФС-тензору в двополюсному змішаному мультіадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів; концепції формування чотирьохрівневої кодової конструкції на основі використання правила контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій.

Це дозволяє додатково відносно існуючих технологій кодування знизити часові затримки на доведення динамічного відеоресурсу в умовах збереження потрібного рівня його семантичної цілісності.

Основні науково-прикладні результати досліджень стосовно матеріалу викладеного в третьому розділі опубліковано в наступних наукових працях [12; 14; 16; 64; 113; 114; 115; 135].

РОЗДІЛ 4

**ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДІВ КОДУВАННЯ ДЛЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДИНАМІЧНОГО
ВІДЕОРЕСУРСУ**

Викладаються основні етапи щодо створення методу оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу для методу ефективного кодування послідовності передбачених кадрів шляхом представлення їх фрейм-сплайнових тензорів в двополюсному змішаному мультіадичному просторі. Тут враховуються те, що розроблений метод відноситься до класу локально-диференційного кодування.

Викладаються та досліджуються результати експериментів відносно оцінки бітової швидкості, інформаційної інтенсивності та часу на доставку ДВІР та його достовірності в умовах заданої вимоги щодо повноти.

4.1. Створення методу для оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу на основі кодування сукупностей позиційних координат блоків передбачених кадрів

Проведення оцінки ефективності створеного методу потрібно організувати в умовах його інсталяції до загальної інформаційної технології обробки динамічних відеоресурсів. Таке інтегрування задіюється за позиції кодування послідовності ТД-блоків на етапі врахування особливостей та кодування послідовності параметрів структурних сплайнів. Інсталяція повинна забезпечити досягнення наступних факторів [12; 14; 16; 113; 114; 115; 135] :

Уникнення факторів вразливостей щодо втрати рівня бітової швидкості ДВІР. Необхідно узгодити кількість та технології скорочення психовізуальної надмірності, які застосовуються для створеного підходу та тих, що вже використовуються в існуючих ІТОДВ. Саме це дозволяє створити механізми контролю балансу між рівнем достовірності інформації та зниженням часових затримок на його доставку. Тому в процесі виявлення структурних сплайнів необхідно враховувати рівень фактору обліку зорових особливостей в процесу квантування компонент ТД-блоків.

Усунення фактору порушення сумісності відносно застосування різних типів технологій, які базуються на зменшенні структурно-статистичних видів надмірності. Тут необхідно враховувати те, що [12; 14; 16; 113; 114; 115] :

- під час міжкадрового передбачення частина кореляційних зв'язків на внутрішньо кадровому рівні теж усувається;

- під час трансформування диференційованих блоків порушуються кореляційні зв'язки між елементами;

- в результат формування позиційних координат ССНП для послідовності не значимих компонент знижується частина кількості ймовірно-статистичної надмірності.

Отже необхідно використовувати підхід, який ґрунтується на структурних особливостях рівня метаданих при опису фреймових послідовностей.

Локалізація фактору порушення балансу між кількістю службових відомостей та виключенням можливостей відносно:

- неконтрольованих втрат інформації;
- втрат рівня інформаційного ущільнення;
- зменшення рівня стікості кодових конструкцій до дії помилок, які виникають в процесі їх передачі в ІТКС.

Тут вкрай важливе використовувати тільки такі службові відомості, що застосовуються в процесі або формування вихідних кодових конструкцій для створеного методу, або що використовуються в процесі стандартизованої обробки для інформаційних технологій обробки ДВІР сімейства H26*.

Для цього в процесі оцінки бітової швидкості необхідно враховувати наступні особливості кодування сукупності позиційних координат для послідовності передбачених кадрів [14; 16; 17; 65; 66]:

1. Фрейм-сплайнові тензори будуються для диференційованих блоків в спектральному просторі, які є складовими послідовності передбачених кадрів.

Отже структура кодових конструкцій стандарту H26* зазнає наступних змін:

1) скорочення психовізуальної надмірності на етапі квантування трансформант компенсується формуванням позиційних координат структурних сплайнів для послідовності не значимих компонент. Це дозволяє виключити квантування компонент трансформант із загальної технології обробки ДВІР. Відповідно скорочується кількість бітових затрат на відповідні службові відомості;

2) кодування спектрально-диференційованих блоків проводиться шляхом формування кодових значень для блоків даних. В нашому випадку такими блоками є сукупності позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів. При цьому розміри таких блочних структур є постійними, що досягається в результаті створеної технології нормування сукупностей параметричних характеристик послідовності структурних сплайнів. Рівномірність розмірів зберігається для всієї поточної послідовності передбачених кадрів, та не потребує використання додаткових службових відомостей для різних рівней кодових конструкцій загальної технологічної концепції.

2. Створений метод кодування фрейм-сплайнових тензорів для динамічних відеоресурсів потребує використання службових відомостей, які забезпечують взаємооднозначність прямих та зворотніх перетворень на етапах обробки кодових значень ФСТ та їх кодових конструкцій. Отже необхідно використовувати такі службові відомості [14; 16; 17; 65; 66]:

- інформація про розміри блочних сукупностей структурних сплайнів для фреймів в нормованому опису фрейм-сплайнового тензору;

- інформація щодо системи основ змішаного мільтіадичного простору.

3. Побудова послідовностей кодових значень здійснюється для блоків, які містять метаінформацію щодо структурних характеристик ТД-блоків. При цьому такі блочні сукупності несуть одразу всю інформацію стосовно цілих послідовностей ТД-блоків. Але кожна така послідовність обробляється незалежно від інших в послідовності передбачених кадрів. Це створює умови для подвійної локалізації дії помилок каналу зв'язку в процесі реконструкції ДВІР.

Отже проведемо оцінку бітової швидкості ДВІР для розробленого методу (РМ). Величина $U(K)_{\text{real}}$ реальної усередненої інформаційної (бітової) швидкості *кодованого* динамічного відеоресурсу (ДВІР) формату K , який

передається з використанням ІТКС з інформаційним ущільненням k_{id} визначається таким співвідношенням [14; 16; 17; 65; 66] :

$$U(K)_{real} = k_{id} \cdot U_c,$$

де U_c - швидкість передачі даних в телекомунікаційній мережі;

Коефіцієнт k_{id} інформаційного ущільнення в загальному випадку розраховується за виразом [14; 16; 17; 65; 66] :

$$k_{id} = \frac{\sum_{\tau=1}^{v_1} \sum_{\chi=1}^{W(K)_{ряд}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{стов}/w} (d_0 / d(\tau; \chi; \gamma)_{ec})}{v_1 W(K)_{ряд} \cdot W(K)_{стов} / w^2}. \quad (4.1)$$

Тут d_0 кількість біт на двійкове представлення пікселя початкового відеокадру (до його кодування); $d(\tau; \chi; \gamma)_{ec}$ - інформаційна щільність для $(\chi; \gamma)$ -го блоку τ -го кадру, біт/піксель; $w \cdot w$ - розмір блоку в кадрі.

Відповідно величина $d(\tau; \chi; \gamma)_{ec}$ інформаційної щільності $(\chi; \gamma)$ -го *кодованого* блоку τ -го кадру з врахуванням отриманого значення $v(\tau; \chi; \gamma)$ його бітового об'єму, визначається як наступне відношення:

$$d(\tau; \chi; \gamma)_{ec} = v(\tau; \chi; \gamma) / (w \cdot w) \text{ (біт/піксель)}.$$

Тоді вираз (4.1) прийме такого виду:

$$k_{id} = \frac{\sum_{\tau=1}^{v_1} \sum_{\chi=1}^{W(K)_{ряд}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{стов}/w} (d_0 (w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma))}{v_1 W(K)_{ряд} \cdot W(K)_{стов} / w^2}. \quad (4.2)$$

Звідки величина $U(K)_{real}$ реальної інформаційної швидкості буде оцінюватись з використанням такої формули [14; 16; 17; 65; 66] :

$$U(K)_{\text{real}} = \frac{\sum_{\tau=1}^{v_1} \sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} (d_0(w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma))}{v_1 W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2} \cdot U_c. \quad (4.3)$$

Аналіз даного виразу показує, що реальна інформаційна швидкість залежить від швидкості передачі даних в телекомунікаційних мережах та характеристик методу кодування ДВІР, які задаються величиною $v(\tau; \chi; \gamma)$.

Отже для оцінки величини $U(K)_{\text{real}}$ проведемо розрахунок інформаційної інтенсивності $v(\tau; \chi; \gamma)$ для розробленого методу.

По-перше перепишемо вираз (4.3) у такому вигляді, який буде враховувати те, що обхід блоків в процесі кодування на основі створеного методу здійснюється спочатку в напрямку послідовності передбачених кадрів, тобто за часом (мідкадровий напрямок), а потім організується обхід внутрікадру. Тоді з врахуванням того, що кількість кадрів в послідовності передбачених кадрів дорівнює $(T - 1)$, отримуємо наступний вираз [14; 16; 17; 65; 66] :

$$U(K)_{\text{real}} = \frac{\sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} \sum_{\tau=2}^T (d_0(w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma))}{(T - 1) W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2} \cdot U_c. \quad (4.4)$$

В цьому співвідношенні величина $(\sum_{\tau=2}^T (d_0(w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma)))$ є кількістю біт, які витрачаються на *кодоване* представлення послідовності блоків з координатою $(\chi; \gamma)$ в послідовності передбачених кадрів (кадр-тензорній структурі).

Тому, по-друге, потрібно оцінити величину $(\sum_{\tau=2}^T (d_0(w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma)))$

об'єму в бітах на кодове представлення послідовності спектрально-диференційованих блоків шляхом ефективного кодування їх фрейм-сплайнових тензорів на основі представлення сукупності позиційних координат в двополюсному змішаному мультиадичному просторі.

Для цього пропонується враховувати чотириохрівневий принцип побудови кодових конструкцій для розробленого методу. Тут інформаційні частини кодових конструкцій $C(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$ одноелементних фрейм-сплайнових тензорів $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ будуються з окремих кодограм $C(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$, а саме:

$$C(S'(T-1)_{\chi,\gamma}) = C(M_{\chi,\gamma}^{(dif)}) \cup C(M_{\chi,\gamma}^{(sp)}) \cup C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}) \cup C(L'(T-1)_{\chi,\gamma}).$$

Тут $C(M_{\chi,\gamma}^{(dif)})$, $C(M_{\chi,\gamma}^{(sp)})$ - кодограми компактного представлення матриці знаків відповідно диференційованого та спектрально-диференційованого опису $(\chi; \gamma)$ -го блоку В-Р кадрів; $C(Z'(T-1)_{\chi,\gamma})$ - кодограма нормованої сукупності $Z'(T-1)_{\chi,\gamma}$ спектральних координат фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів.

Використовуючи такий підхід отримуємо наступний вираз для знаходження величини $V(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$ бітового об'єму на кодоване представлення одноелементного фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ [14; 16; 17; 65; 66] :

$$V(S'(T-1)_{\chi,\gamma}) = V(M_{\chi,\gamma}^{(dif)}) + V(M_{\chi,\gamma}^{(sp)}) + V(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}) + V(L'(T-1)_{\chi,\gamma}). \quad (4.5)$$

В цьому співвідношенні прийняті такі позначення: $V(M_{\chi,\gamma}^{(dif)})$, $V(M_{\chi,\gamma}^{(sp)})$ - кількість біт на компактне представлення матриці знаків відповідно диференційованого та спектрально-диференційованого опису $(\chi;\gamma)$ -го блоку В-Р кадрів; $V(Z'(T-1)_{\chi,\gamma})$ - кількість біт на компактний опис нормованої сукупності $Z'(T-1)_{\chi,\gamma}$ спектральних координат фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ послідовності В-Р кадрів; $V(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$ - кількість біт на представлення нормованої сукупності $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат фрейм-сплайнового тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$ після їх інформаційного ущільнення.

Отже зрозуміло, що сумарна кількість $V(S'(T-1)_{\chi,\gamma})$ біт визначає

величину $(\sum_{\tau=2}^T (d_0(w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma)))$, тобто:

$$(\sum_{\tau=2}^T (d_0(w \cdot w) / v(\tau; \chi; \gamma))) = V(S'(T-1)_{\chi,\gamma}).$$

З врахуванням отриманого співвідношення вираз для оцінки величини реальної інформаційної швидкості ДВІР прийме наступного виду:

$$U(K)_{\text{real}} = \frac{\sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} V(S'(T-1)_{\chi,\gamma}}{(T-1) W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2} \cdot U_c.$$

або

$$U(K)_{\text{real}} = \left(\frac{\sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} (V(M_{\chi,\gamma}^{(dif)}) + V(M_{\chi,\gamma}^{(sp)}) + V(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}))}{(T-1) W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2} \right) +$$

$$+ \frac{\sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} V(L'(T-1)_{\chi,\gamma})}{(T-1) W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2} \cdot U_c \quad (4.6)$$

В свою чергу величина $V(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$ для розробленого методу залежить від бітових об'ємів $V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ на кодоване представлення послідовності $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат фреймів. Величини $V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ є складовими загального бітового об'єму $V(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$ компактного опису всієї нормованої сукупності $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат ОФС-тензору $S'(T-1)_{\chi,\gamma}$. Це можна представити таким виразом:

$$V(L'(T-1)_{\chi,\gamma}) = \sum_{\tau=2}^{T-1} V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}). \quad (4.7)$$

При цьому для розробленого методу величина $V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ залежить від:

- кількості $V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}))$ біт, що витрачається на двійкове представлення кодового значення $E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ для стовпця $L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}$ нормованої сукупності $L'(T-1)_{\chi,\gamma}$ позиційних координат;

- кількості $V(U(\chi,\gamma))$, $V(G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)})$ біт, яке витрачається відповідно на кодове представлення інформації щодо кількості $U(\chi,\gamma)$ структурних сплайнів в нормованій сукупності та системи $G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}$ основ змішаного мільярдичного простору.

З врахуванням чого, отримуємо такий вираз для оцінки величини $V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$:

$$V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}) = V(U(\chi,\gamma)) + V(G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}) + V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})). \quad (4.8)$$

Тоді формула (4.7) для знаходження величини $V(L'(T-1)_{\chi,\gamma})$ з врахуванням виразу (4.8) для обчислення об'єму $V(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})$ буде мити такого вигляду:

$$V(L'(T-1)_{\chi,\gamma}) = \sum_{\tau=2}^{T-1} (V(U(\chi,\gamma)) + V(G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}) + V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma}))). \quad (4.9)$$

Отже вихідне співвідношення для оцінки реальної інформаційної швидкості $U(K)_{\text{real}}$ ДВІР для розробленого методу (PM) буде мати такий вигляд:

$$U(K)_{\text{real}} = \left(\frac{\sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} (V(M_{\chi,\gamma}^{(\text{dif})}) + V(M_{\chi,\gamma}^{(\text{sp})}) + V(Z'(T-1)_{\chi,\gamma}))}{(T-1)W(K)_{\text{ряд}} \cdot W(K)_{\text{стов}} / w^2} + \frac{\sum_{\chi=1}^{W(K)_{\text{ряд}}/w} \sum_{\gamma=1}^{W(K)_{\text{стов}}/w} \sum_{\tau=2}^{T-1} (V(U(\chi,\gamma)) + V(G(\ell)_u^{(\chi,\gamma)}) + V(E(L'(\tau;\delta)_{\chi,\gamma})))}{(T-1)W(K)_{\text{ряд}} W(K)_{\text{стов}} / w^2} \right) \cdot U_c \quad (4.10)$$

Отриманий вираз дозволяє здійснити оцінку реальної інформаційної швидкості ДВІР з використанням створеного методу ефективного кодування послідовності передбачених кадрів з врахуванням значення відповідного коефіцієнту інформаційного ущільнення.

Отже створено метод оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу для методу ефективного кодування послідовності передбачених кадрів шляхом представлення їх фрейм-сплайнових тензорів в двополюсному змішаному мультіадичному просторі.

4.2. Оцінка характеристик технологій обробки динамічного відеоресурсу відносно підвищення рівня його бітової швидкості

Розглянемо оцінку інформаційної (бітової) швидкості ДВІР з врахуванням кодування динамічного відеоресурсу на основі інтеграції створеного методу формування кодових значень для сукупностей позиційних координат. Послідовність кадрів для обробки наведено у додатку Б. Порівняльну оцінку бітових швидкостей будемо здійснювати для існуючих технологій сімейства H26* у разі використання для них стандартизованих статистичних кодів та з врахуванням інсталяції створеного методу кодування сукупностей позиційних координат. Початкові дані для проведення експерименту наступні. Розмір формату кадрів відповідає форматам FullHD, 4K та 8K. Частота кадрів від 15 до 30 кадрів/с. Довжина кадр-тензору дорівнює 8 с одним базовим кадром, який розташовано на початку послідовності.

Відповідно оцінки бітової швидкості ДВІР для різних форматів кадрів з використанням телекомунікаційних технологій класів WiFi та LTE-A, наведені у вигляді графіків на рис. 4.1., 4.2.

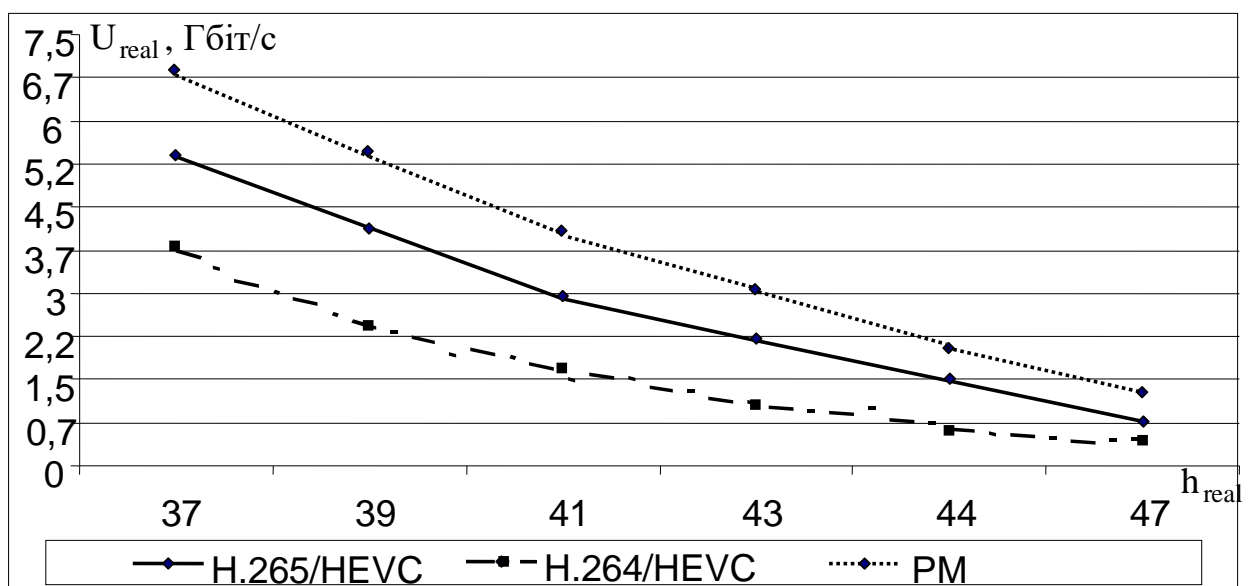


Рисунок 4.1. – Графіки залежності бітової швидкості U_{real} від рівня ПВСШ h_{real} у разі використання технології WiFi

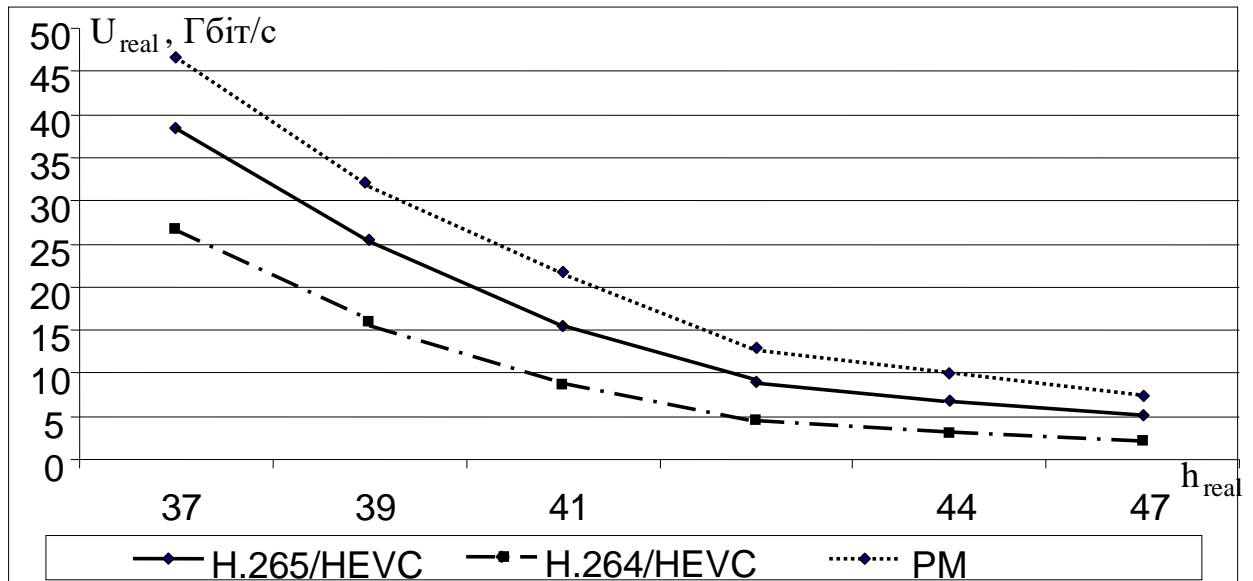


Рисунок 4.2. – Графіки залежності бітової швидкості U_{real} від ПВСШ h_{real} у разі використання технології LTE-A

Дослідження графіків, приведених на рис. 4.1, 4.2 дозволяє стверджувати наступне. Відносно інформаційних технологій ІТОДВ, які використовують стандартизовані методи кодування блоків передбачених кадрів. В умовах забезпечення потрібного рівня достовірності відеоресурсу в залежності від рівня його структурно-семантичної інформативності, що відповідає рівню ПВСШ не менш, ніж 37 – 48 дБ, досягається:

1) підвищення рівня бітової швидкості відеоресурсу в середньому від 17 до 37 %. Це досягається за рахунок:

- додаткового скорочення міжкадрової надмірності з врахуванням: закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування; пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисному просторі на рівні, який відповідає підвищенню величини коефіцієнта ущільнення в середньому на 22 – 30 %;

- скорочення кількості даних в середньому на 20 – 40 %, які поступають на процес обробки в результаті формування позиційних координат для послідовності не значимих компонент трансформати.

Виграш за величинами інформаційного ущільнення та бітової швидкості ДВІР забезпечує можливість скорочення кількості втрачених пакетів та зменшення часових затримок на їх доставку з використанням бездротових ІТКС. Відповідні залежності представлено на графіках рис. 4.3 та 4.4.

Оцінки проводилась у разі забезпечення рівня достовірності ДВІР, який відповідає значенням ПВСШ в межах 37 – 47 дБ в залежності від структурно-семантичної інформативності відеокадрів у потоці.

Отже у разі застосування розробленого методу в умовах забезпечення потрібного рівня ПВСШ, що знаходиться в допустимих межах від 37 – 48 дБ, відносно інформаційних технологій ІТОДВ, які використовують стандартизовані методи кодування блоків передбачених кадрів, досягається:

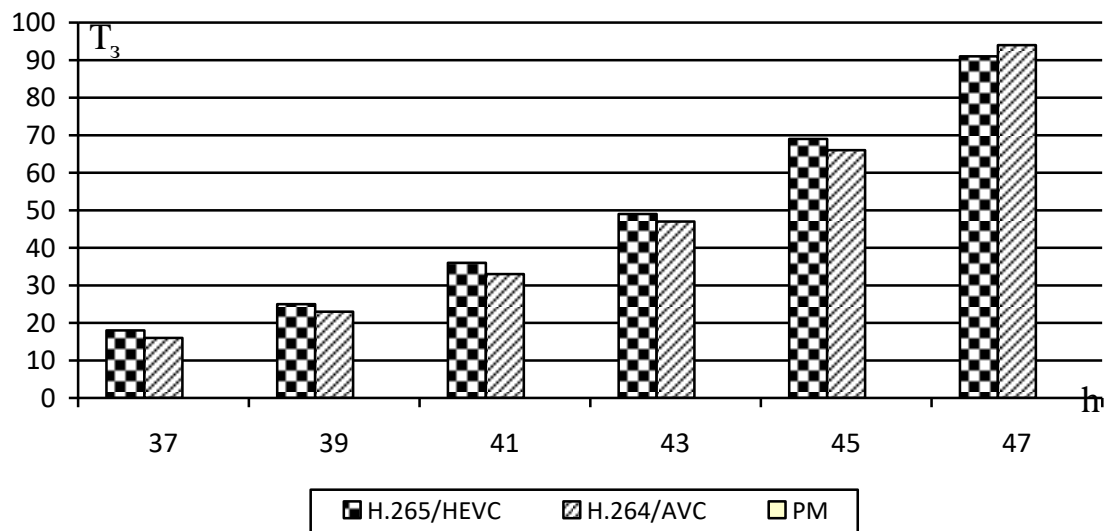


Рисунок 4.3. - Залежність часових затримок T_3 на доставку ДВІР від h та U_c відповідно технологій класу Wi-Fi

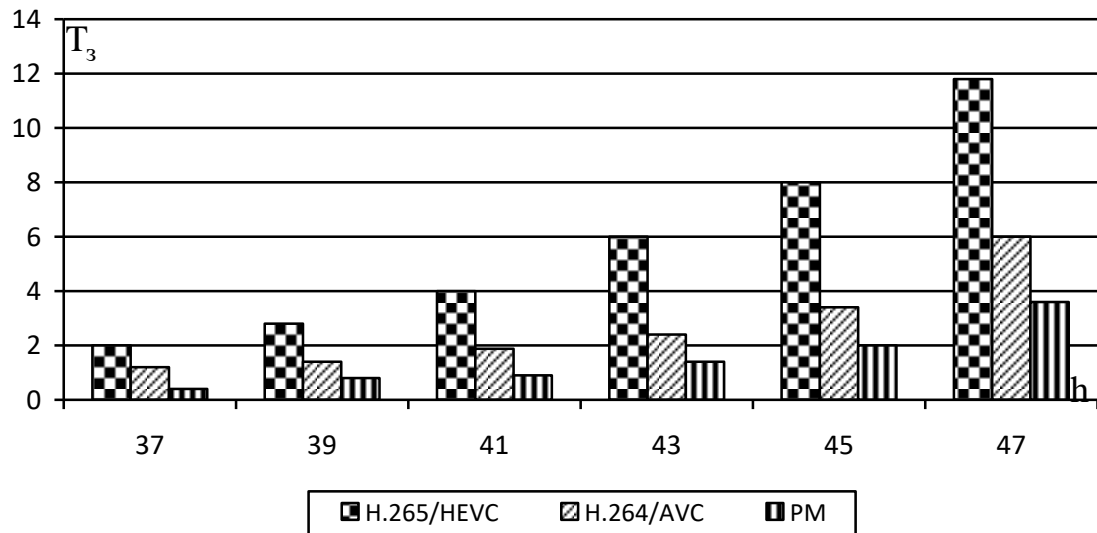


Рисунок 4.4. - Залежність часових затримок T_3 на доставку ДВІР від h та U_c відповідно технологій класу LTE-A

1) скорочення часових затримок в середньому від 15 до 37 % в залежності від рівня інформативності за структурно-семантичним змістом ДВІР;

2) доставка динамічного відеоресурсу в реальному часі, з використанням бездротових телекомунікаційних мереж в умовах підвищення рівня повноти інформації з формату FullHD до формату 4K та 8K.

Таким чином, інсталяція розроблених методів для стандартизованих ІТОДВ, а саме методу кодування сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів досягається доставка динамічного відеоінформаційного ресурсу в системах управління об'єктами критичної інфраструктури в реальному часі з використанням ІТКС класу LTE-A, а також забезпечується можливість для збільшення рівня інформаційної повноти для заданого рівня часових затрат на передачу ДВІР.

Висновки за четвертим розділом

1. Створено метод оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу для методу ефективного кодування послідовності передбачених кадрів шляхом представлення їх фрейм-сплайнових тензорів в двополюсному змішаному мультиадичному просторі. Тут враховується те, що розроблений метод відноситься до класу локально-диференційного кодування, і має наступні відмінності: ієрархічний потік формується на базі кодограм кодових значень сукупності нормованих позиційних координат фреймів; управління якістю реконструкції ДВІР досягається на основі вибору порогу визначення не значимих компонент спектрально-диференційованого опису блоку передбаченого кадру.

2. В результаті проведення експериментальної обробки з реальними ДВІР показане наступне. Відносно інформаційних технологій ІТОДВ, які використовують стандартизовані методи кодування блоків передбачених кадрів. В умовах забезпечення потрібного рівня достовірності відеоресурсу в залежності від рівня його структурно-семантичної інформативності, що відповідає рівню ПВСШ не менш, ніж 37 – 48 дБ, досягається:

1) підвищення рівня бітової швидкості відеоресурсу в середньому від 17 до 37 %. Це досягається за рахунок:

- додаткового скорочення міжкадрової надмірності з врахуванням: закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування; пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультиадичному базисному просторі на рівні, який відповідає підвищенню величини коефіцієнта ущільнення в середньому на 22 – 30 %;

- скорочення кількості даних в середньому на 20 – 40 %, які поступають на процес обробки в результаті формування позиційних координат для послідовності не значимих компонент трансформати;

2) скорочення часових затримок в середньому від 15 до 37 % в залежності від рівня інформативності за структурно-семантичним змістом ДВІР;

3) доставка динамічного відеоресурсу в реальному часі, з використанням бездротових телекомунікаційних мереж в умовах підвищення рівня повноти інформації з формату FullHD до формату 4K та 8K.

Науково-прикладні результати четвертого розділу дисертації опубліковані в наступних працях [14; 16; 17; 65; 66].

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальна *науково-прикладна задача*, яка полягає у підвищенні бітової швидкості динамічного відеоресурсу в *інформаційно-телекомунікаційних системах* в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури. Створено метод підвищення бітової швидкості ДВІР на основі ефективного кодування послідовності передбачених кадрів шляхом представлення їх нормованих фрейм-сплайнових тензорів в двополюсному змішаному мультіадичному просторі.

В процесі проведення науково-прикладних досліджень розроблені наступні *основні наукові результати*.

1. Створено структурно-комбінаторний підхід для кодування динамічної послідовності передбачених кадрів на основі представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів в мультіадичному базисному просторі. В цьому випадку:

- враховуються структурні закономірності стосовно нерівномірності та обмеженості динамічних діапазонів позиційних координат;

- формування кодових конструкцій обмежується межами окремих фреймів. Звідки локалізується лавиний ефект розповсюдження помилок в процесі реконструкції послідовностей В-Р кадрів;

- за рахунок додаткового виявлення динамічних діапазонів в напрямку строк фрейм-сплайнових тензорів досягається врахування міжблочних структурних закономірностей.

2. Побудовано модель оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності передбачених кадрів в мультіадичному базисі. Тут враховуються неоднорідності структурних властивостей за напрямком стовбців сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнового тензору, а саме: в напрямку стовбців блоків (тобто окремих фреймів) матиме

послідовність, елементам яких притримана нерівномірність та обмеженість динамічних діапазонів. В цьому випадку окремі стовбці інтерпретуються як послідовності в мультіадичному просторі.

3. Створено метод структурного нормування одноелементних фрейм-сплайнових тензорів, який базується на вирівнюванні лінійних розмірів його фреймів шляхом декомпозиції параметрів структурних сплайнів, які мають максимальні значення позиційних координат. Обґрунтовано ефективність такої декомпозиції за показниками скорочення об'єму бітового потоку динамічного відеоресурсу та виключення можливостей щодо втрати інформації.

4. Розроблено метод динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного кодування в напрямку їх фреймів з врахуванням: виявлення структурних обмежень одночасного за двома напрямками відносно границь динамічних діапазонів; адаптивним врахуванням структурних особливостей позиційних координат сплайнів в залежності від спектрально-частотної області їх формування. Базовими технологічними етапами методу є:

- формування змішаного мультіадичного простору на базі сукупності позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів;

- обчислення додатків до вагових коефіцієнтів з врахуванням обробки сукупностей позиційних координат сплайнів за напрямком формування їх фреймів;

- технологія адаптивного кодування позиційних координат за фреймовим напрямком в залежності від їх пульсації відносно границь динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисі;

- концепція скорочення надмірності з одночасним врахуванням закономірностей, як внутрі спектрально-диференційованих кадрів, так й між ними.

В цьому випадку досягається додаткове скорочення структурної надмірності, яка обумовлена:

- врахуванням структурних, статистичних та психовізуальних закономірностей, як внутрішньокадрової, й так міжкадрової направленості;
- врахуванням закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування;
- врахуванням пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультиадичному базисному просторі.

5. Розроблено технологічну концепцію інтегрування створених методів обробки В-Р кадрів в інформаційну технологію обробки та передачі динамічних відео ресурсів, яка базується на таких методах:

1) усунення вразливих факторів втрати ефективності функціонування ІТОПДВ на основі розроблення *рекурентної технології кодування змінної сукупності позиційних координат НОФС-тензору в двополюсному змішаному мультиадичному просторі на основі властивості незалежності вагових коефіцієнтів*;

2) концепції формування чотирьохрівневої кодової конструкції на основі використання правила контролю: кількості елементів в процесі кодування та декодування кодових значень; довжини кодових комбінацій, яке враховує залежності верхньої межі для кодових значень в змішаному мультиадичному просторі виключно від системи основ.

В цьому випадку усувається:

- можливість переповнення заданої довжини кодової комбінації;
- необхідність використовувати додаткову службову інформацію на маркування кодованих послідовностей та позицій розташування їх кодограм.

Виключаються втрати семантичної цілісності інформації та рівня зниження інформаційної інтенсивності бітового потоку.

6. Створено метод оцінки бітової швидкості динамічного відеоресурсу для методу ефективного кодування послідовності передбачених кадрів

шляхом представлення їх фрейм-сплайнових тензорів в двополюсному змішаному мультіадичному просторі.

Основні практичні результати.

Відносно інформаційних технологій ІТОДВ, які використовують стандартизовані методи кодування блоків передбачених кадрів. В умовах забезпечення потрібного рівня достовірності відеоресурсу в залежності від рівня його структурно-семантичної інформативності, що відповідає рівню ПВСШ не менш, ніж 37 – 48 дБ, досягається:

1) підвищення рівня бітової швидкості відеоресурсу в середньому від 17 до 37 %. Це досягається за рахунок:

- додаткового скорочення міжкадрової надмірності з врахуванням: закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування; пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисному просторі на рівні, який відповідає підвищенню величини коефіцієнта ущільнення в середньому на 22 – 30 %;

- скорочення кількості даних в середньому на 20 – 40 %, які поступають на процес обробки в результаті формування позиційних координат для послідовності не значимих компонент трансформати;

2) скорочення часових затримок в середньому від 15 до 37 % в залежності від рівня інформативності за структурно-семантичним змістом ДВІР;

3) доставка динамічного відеоресурсу в реальному часі, з використанням бездротових телекомунікаційних мереж в умовах підвищення

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- адекватністю результатів відносно підвищення бітової швидкості динамічних відеоінформаційних ресурсів в умовах заданого рівня їх достовірності та повноти, які отримується в процесі експериментів,

теоретичним даним шляхом моделювання; наявністю етапів обробки, для яких відсутні втрати цілісності;

- сумісністю процесу інтегрування розроблених методів в апробовані стандартизовані інформаційні технології.

Результати дисертаційної роботи доцільно використовувати:

- при обробці і передачі відеоінформації в інформаційно-телекомунікаційних системах, у тому числі в системах підтримки і прийняття рішень в процесі управління об'єктами критичної інфраструктури;

- при проведенні конструкторських і науково - дослідницьких робіт із створення нових технічних засобів і програмних виробів по забезпеченню підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів;

- при вивченні учбових дисциплін по кодуванню і обробки відеоінформації з використанням засобів інфокомунікацій для підготовки фахівців у вищих учбових закладах.

Результати досліджень реалізовані:

1) при виконанні дослідно-конструкторських робіт в Державному науково-дослідному інститут МВС України;

2) в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход/пер. с англ. 2-е изд. Москва: Изд. дом "Вильямс", 2004. 992 с.
2. Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений: учеб. пособие для студентов вузов. Москва: Высш. школа, 1983. 295 с.
3. Ансон Л., Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений // Мир ПК. 1992. №4. С. 23–27.
4. 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.
5. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов/пер. с англ. под ред. И. Б. Фоменко. Москва: Связь, 1980. 248 с.
6. Баранник В. В., Поляков В. П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. Харьков: ХУПС, 2010. 234 с.
7. Баранник В. В., Поляков В. П., Слободянюк А. В. Кодирование трехмерных моделей видеокладов в инфотелекоммуникационных системах: монография / под ред. В. В. Баранника. Каменец-Подольский, 2011. 210 с.
8. Баранник В.В. Концептуальный базис эффективного синтаксического представления слотов Р-кадров в градиентном пространстве локально-структурных ограничений / В.В. Баранник, С.С. Шульгин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. - № 3(35). – С. 57. – 62.

9. Баранник В.В. Эффективное кодирование слотов Р-кадров в пространстве структурно-локальных ограничений для повышения безопасности динамических видеоресурсов / В.В. Баранник, С.С. Шульгин // АСУ и приборы автоматики. – 2015. - №173. - 58 - 63.

10. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Бараннік Д.В. та інші. Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку, Н03М 7/30, Н03М 13/00. Патент на корисну модель UA 144599 U України, № u 2020 0296, заявл. 18.05.2020, опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19/2020.

11. Бараннік Н.В., Бабенко Ю.М., Пархоменко М.В. Жуйков Д.Б., Ерошенко В.П., Піскун Я.А. Метод підвищення ефективності розмежування доступу до автоматизованих систем управління спеціального призначення // *Радиоэлектроника и информатика*. 2019. №4. С. 34–37.

12. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Хаханова А.В., Бараннік Н.В. Технологія кодування послідовності фрейм-сплайнових тензорів для підвищення ефективності обробки динамічного відеоресурсу // *Радиоэлектроника и информатика*. 2020. №2. С. 34–42.

13. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Гаврилов Д.С., Ерошенко В. Можливість застосування методів арифметичного кодування в системах криптографічного захисту інформації / *Безпека інформації*. – 2020. №3. С. 156 – 167.

14. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Бараннік Н.В., Хаханова Г.В. Метод кодування послідовності кадрів для забезпечення доступності та цілісності динамічного відеоресурсу // *Захист інформації*. – 2020. №4. С. 35 – 44.

15. 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.

16. Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Хаханова Г.В., Шульгін С.С. Метод кодування передбачених кадрів для інформаційної технології обробки

та передачі динамічних відеоресурсів // Сучасна спеціальна техніка. - 2021. – №1. С. 15 – 24.

17. Бараннік В. В., Пархоменко М. В., Фустій В. С. Оцінка ефективності методів маскування аерофотографій. *Наукоємні технології в інфокомунікаціях (НІСТ'2019)*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кам'янець – Подільський, 23-25 трав. 2019 р.). Кам'янець – Подільський: ХНУПС, КПНУ, ХНУРЕ, 2019. С. 24-25.

18. Баранник В. В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В. В. Баранник, Ю. Н. Рябуха, О. С. Куліца // Монография. – Черкассы, 2015. – 143 с.

19. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории: учебн. пособ. Москва, 2004. 280 с.

20. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов: книга / Пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 448 с.

21. Бондарев В. Н., Трестер Г., Чернега В. С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. Харьков: Конус, 2001. 398с.

22. Буров Є., Пасічник В. Комп'ютерні мережі: підручник / ред. Пасічник В. 2-ге вид., оновл. і доп. Львів: Бак, 2003. 584 с.

23. Быков Р. Е. Цифровое преобразование изображений: учеб. пособие для вузов. Москва, 2003. 228 с.

24. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: підручник / Т. С. Хуанг, Дж. О. Эклунд, Г. Дж. Нуссбаумер и др.; под ред. Т. С. Хуанга; пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1984. 224 с.

25. Васильев В. Н., Гуров И. П. Компьютерная обработка сигналов. Санкт-Петербург: БХВ, 1998. 240 с.

26. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов: учебник / Я. А. Фурман и др.; под ред. Я. А. Фурмана. 2-е изд. испр. Москва: Физматлит, 2003. 592 с.

27. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебн. пособ. Москва, 1988. 480 с.

28. Власов А. В., Лукин В. В., Комолов Д. И. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. *Радиоэлектроника и информатика*. 2013. № 2. С. 44–48.
29. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. Санкт-Петербург: ВУС, 1999. 203 с.
30. Голубов Б. И., Ефимов А. В., Скворцов В. А. Ряды и преобразования Уолша: теория и применения. Москва: Наука, 1987. 344 с.
31. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: монография. Москва, 2005. 1073 с.
32. 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.
33. Гургенидзе А. Т. Корше В. И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа: учебник. Санкт-Петербург, 2003. 434 с.
34. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации: учебник. для вузов. Москва: Высш. шк., 1989. 320 с.
35. Жураковський Б.Ю. Аналіз кількості алгоритмів стиснення у каскаді при використанні каскадних методів. Сучасний захист інформації. 2015. № 1. С. 56-61.
36. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. Москва: Наука, 1989. 496 с.
37. Засядько А. А. К анализу эффективности алгоритмов и программ быстрых ортогональных дискретных преобразований. *Электронное моделирование*. 1998. №6. С. 109-111.
38. Иванов В. Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара. *Проблемы управления и информатики*. 2003. №5. С. 68–75.
39. Кашкин В. Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: консп. лекц. Красноярск, 2008. 121 с.
40. Климов А. С. Форматы графических файлов: книга. Санкт-Петербург: ДиаСофт, 1995. 385 с.

41. Коган Б. М., Сташин В. Б. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. Москва: Энергия, 1989. 376 с.
42. Комолов Д. И., Сидченко С. А. Анализ состояния видеоинформационного обеспечения органов и подразделений Министерства внутренних дел Украины. *Сучасна спеціальна техніка*. 2014. № 2. С. 36–44.
43. Корнеев В. В., Киселев А. В. Современные микропроцессоры. Санкт-Петербург: БХВ, 2003. 448 с.
44. Королев А.В. Метод комплексной обработки изображений / А.В. Королев, В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 5. – С. 10 – 17.
45. Кравченко В. Ф., Рвачев В. А. "Wavelet"-системы и их применение в обработке сигналов. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1996. №4. С. 3–20.
46. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения. Москва: Радио и связь, 1986. 248 с.
47. Красильников Н. Н. Цифровая обработка изображений: учебник. Москва, 2011. 320 с.
48. Красноруцкий А.А. Обоснование проблемных сторон видеоинформационного обеспечения в системе поддержки и принятия решений [Текст] / А.А. Красноруцкий, И.Е. Рогоза // Сучасна спеціальна техніка, К.: ДНДІ МВС України, 2012. – №2(29), – С. 46-51.
49. Красноруцкий А.А. Анализ влияния процесса сжатия видеоинформации на основе характеристики телекоммуникационной сети [Текст] / А.А. Красноруцкий, А.В. Ширяев // Сучасна спеціальна техніка, К. ДНДІ МВС України, 2012. – №1(28), – С. 42-48.
50. 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.
51. Крук Б. И., Попантонопул В. Н., Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1: учебник. Москва, 2003. 647 с.

52. Кулица О. С., Думанский М. В. Обоснование требований относительно целостности видеоинформации воздушного мониторинга чрезвычайных ситуаций. *Сучасна спеціальна техніка*. 2012. №4. С. 88 – 91.
53. Лидовский В. В. Теория информации. Москва: Компания Спутник+, 2004. 111 с.
54. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов; пер. с англ. Москва: Мир, 2005. 671 с.
55. Мاستрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 4. Алгоритм LZW. *Монитор*. 1994. №2. С. 8–11.
56. Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 2. Арифметическое кодирование. *Монитор*. 1994. №1. С. 20–23.
57. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео: учебн.-справ. изд / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. Москва: "Диалог – МИФИ", 2003. 384 с.
58. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. Москва 2003. 336 с.
59. Нетравали А. М., Лимб Дж. О. Кодирование зображень. *ТІИЭР*. 1980. №3. С. 76–124.
60. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 3-е изд. Санкт-Петербург: Питер, 2006. 958 с.
61. Осипов Л. А. Обработка сигналов на цифровых процессорах. Москва: Горячая линия – Телеком, 2001. 112 с.
62. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработка изображений: книга. Москва: Радио и связь, 1986. 400 с.
63. Пархоменко М.В., Мусієнко О.П., Тупиця І.М., Коломієць В.Д., Бойко Б.І. Розробка імітаційної моделі оцінки методу захисту каналів командно-телеметричної інформації від інформаційної протидії противника. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 4(64). С. 101-106.
64. Пархоменко М.В. Метод кодування позиційних координат фрейм-сплайнового тензору в змішаному мультиадичному просторі // Наукоємні технології. – 2020. - №4. – С. 22 – 30.

65. Пархоменко М. В. Особливості застосування засобів автоматизації під час використання літаків винищувальної авіації. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: збірник тез доповідей XV Міжнар. наук. конф. (Харків, 10-11 квіт. 2019 р.). Харків: ХНУПС, 2019. С. 73-74.

66. Пархоменко М. В., Пауль Р. І. Удосконалення методу виявлення кібератак на інформаційно-телекомунікаційну мережу Повітряних Сил з врахуванням дестабілізуючих факторів в умовах ведення бойових дій. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: збірник тез доповідей XVI між нар. наук. конф. (Харків, 15-16 квіт. 2020 р.). Харків: ХНУПС, 2020. С. 388-389.

67. Пархоменко М. В., Хаханова Г. В. Метод ефективного кодування відеоінформаційного ресурсу в інформаційно-телекомунікаційній мережі 6-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрями захисту інформації». Одеса вересня до 6 вересня 2020 року, Одеська національна академія зв'язку і О. С. Попова. – С. 32 – 34.

68. Поляков П. Ф., Баранник В. В., Яковенко А. В. Метод восстановления изображений с контролируемой погрешностью. *Системы управления, навигации та зв'язку*. 2008. № 4. С. 44–47.

69. Рябуха Ю. Н. Метод обработки видеоресурсов с сохранением целостности в информационных системах. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. 2014. № 167. С. 59 - 64.

70. Прокис Дж. Цифровая связь: книга. / Пер. с англ.; под ред. Д. Д. Кловского. Москва: Радио и связь, 2000. 800 с.

70. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: книга в 2 т. / Пер. с англ.; Москва: Мир, 1985. 736 с.

71. Свириденко В. А. Анализ систем со сжатием данных. Москва: Связь, 1978. 183с.

72. Семко В. В., Бурячок В. Л., Толюпа С. В., Складанний П. М. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі. *Радіоелектроніка та телекомунікації*: 2015. С. 151–155.

73. Синепол В. С., Цикин И. А. Системы компьютерной видеоконференцсвязи. Москва: Мобильные коммуникации, 1999. 166 с.

74. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука: учебное пособие. Москва: Техносфера, 2004. 368 с.
75. Стрихалюк Б. М., Демидов І. В., Романчук В. І., Бешлей М. І. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах. *Наукові записки УНДІЗ*. 2014. №6(34). С. 82–92.
76. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Методы сжатия изображений, аудтосигналов и видео: учеб. пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.
77. Хаханов В.И. Модели и архитектура вейвлет преобразований для стандарта JPEG 2000 / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, И.А. Побеженко // АСУ и приборы автоматики. – 2007. - №2(139). – С. 4 – 12.
78. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
79. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И. С. Грузман и др. Новосибирск, 2002. 352 с.
80. Чернега В. С. Сжатие информации в компьютерных сетях. Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. 214 с.
81. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике: ученик. Москва: изд. иностр. лит., 1963. 793 с.
82. Шлихт Г. Ю. Цифровая обработка цветных изображений. Москва: ЭКОМ, 1997. 336 с.
83. Шостак І. В., Сілін С. О. Підхід до створення віртуальної мережі між IoT-пристроями, що поєднані трансляцією мережевих адресів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 3(43). С. 114-116.
84. Яковенко А.В. Технология кодирования трансформант преобразования Уолша / А.В. Яковенко, А.А. Красноручский, С.Л. Никитченко // Сучасна спеціальна техніка. – 2009. – Вип. 3(14). – С. 128-135.

85. Яковенко А. В. Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрішністю. *Системи озброєння і військова техніка*. 2008. Вип. 2(14). С. 128–131.

86. Akimov D., Shestov A., Voronov A., Vatolin D. Occlusion Refinement for Stereo Video Using Optical Flo. *International Conference on 3D Imaging*. 2012. P. 115-138.

87. Andrews H. C., Hunt B. R. Digital image restoration. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1977. XVIII. 238 p.

88. Auer, S. and Bliem, A. and Engel, D. and Uhl, A. and Unterweger, A.: Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time. In.: *International Journal of Digital Crime and Forensics* (2013) DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.

89. Bai X., Wang J., Simons D. Towards temporally-coherent video matting. *Proceedings of the 5th international conference on computer vision/computer graphics collaboration techniques*. MIRAGE'11, Springer-Verlag. 2011. P. 63-74.

90. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.

91. Barannik V., Babenko Y., Kulitsa O., Barannik V., Khimenko A. and Matviichuk-Yudina O. Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 52-56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.

92. Barannik V., Barannik V., Havrylov D., Sorokun A. Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT): proceedings of 3rd Intern. Conf.* (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019), Lviv, 2019. P. 54-57. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847897.

93. Barannik V., Shulgin S. The method of increasing accessibility of the dynamic video information resource. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of 13th Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, February 23-26, 2016), Lviv, 2016. P. 621-623. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452133.

94. Barannik V., Tarasenko D. Method coding efficiency segments for information technology processing video. *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*: proceedings of 4th International Scientific-Practical Conference. (Kharkov, Ukraine, October 10-13, 2017), Kharkov, 2017. P. 551-555. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246460.

95. Barannik V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of Intern. Conf. (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19-23, 2008), Lviv-Slavsko, 2008. P. 378-380.

96. Barannik V., Hahanova A., Krivonos V. Coding tangible component of transforms to provide accessibility and integrity of video data. *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*: proceedings of Intern. Conf. (Rostov-on-Don, Russia, September 27-30, 2013), Rostov-on-Don, 2013. DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673179.

97. Barannik V. Fast Coding of Irregular Binary Binomial Numbers with a Set Number of Units Series. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 72-76. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349356.

98. Barannik V., Belikova T., Gurzhii P. The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv, 2019. P. 656-661. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030432.

99. Barannik V., Karpinski M., Tverdokhle V., Barannik D., Himenko V., Marek Aleksander. The technology of the video stream intensity controlling based on the bit-planes recombination. *IEEE Wireless Systems within the International*

Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS): proceedings of 4th International Symposium. (Lviv, Ukraine, September 20-21, 2018), Lviv, 2018. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525560.

100. Barannik V., Shulgin S., Krasnorutsky A., Slobodyanyuk O., Gurzhii P. and Korolyova N. Methodological Fundamentals of Deciphering Coding of Aerial Photography Segments on Special Equipment of Unmanned Complex. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 38-43. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349257.

101. Barannik V., Sidchenko S. and Barannik D. Technology for Protecting Video Information Resources in the Info-Communication Space. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 29-33. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349324.

102. Barannik V., Tupitsya I., Stepanko O., Kovalenko O., Yroshenko V. and Sidchenko Y. The Analysis of the Internal Restructuring Method Efficiency Used For a More Compact Representation of the Encoded Data. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 48-51. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349307.

103. Barannik V., Yudin O., Boiko Y., Ziubina R., and N. Vyshnevskaya Video Data Compression Methods in the Decision Support Systems. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*: proceedings of Intern. Conf. (Ukraine, May, 2018), 2018. P. 301–308.

104. Barannik, V., Krasnoruckiy, A. and Hahanova, A. The positional structural-weight coding of the binary view of transformants. East-West Design & Test Symposium (EWDTS), pp. 1-4. Rostov-on-Don (2013) DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673178.

105. Barannik, V.V., Ryabukha, Yu.N. and Kulitsa, O.S. The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems. Telecommunications

and Radio Engineering. Vol. 76. No 9. pp. 785-797. (2017). DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40

106. Barannik. D. Stegano-Compression Coding in a Non-Equalible Positional Base. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 83-86. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349328.

107. Barannik, V. and Barannik, N. and Ryabukha, Yu. and Barannik, D. Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 699-702 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.

108. Barannik, V. and Barannik, V. Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 775-780 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.

109. Barannik V., O. Yudin, M. Parkhomenko, A. Sorokun, V. Himenko: Development of a Method of Encoding a Significant Coordinate Brightness Component of a Video Image. Proc. of the International Workshop on Cyber Hygiene (CybHyg-2019), Kyiv, Ukraine, November 30, 2019, CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), Aachen, Germany, ISSN 1613-0073, August 19, 2020, Vol-2654, pp. 194-203, online CEUR-WS.org/Vol-2654/paper15.pdf.

110. Barannik V., Parkhomenko M., Azatov A., Tupytsya I., Pershin A., Gurzhii P., Shaikhanova A., Karpiński M. The concept of a quantitative sign formation for the internal restructuring of information resource data. *Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji' 2020, Monograpia*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, 11 grudnia 2020, pp.41-52.

111. Barannik N.V., Parkhomenko M.V., Slobodyanyuk A.V., Hahanova G.V., Himenko V.V. A method of code of sequence of shots is for providing of availability and integrity of dynamic videoresource // *Радиоэлектроника и информатика*. 2020. №2. С. 34–42.

112. Barannik V., Parkhomenko M., Tupitsya I., Dodukh O., Barannik V. The Clustering Method to the Information Resource Data According to the Sign of the Number of Series of Units as a Tool to Improve the Statistical Coding Efficiency. *Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM'2019)*: 15th IEEE Intern. Conf. (Polyana, Ukraine, 26 February - 2 March). Polyana, 2019. P. 32-35.

113. Barannik V., Parkhomenko M., Barannik D., Fustii V. Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT'2019)*: 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019). Lviv, 2019. P. 415-418.

114. Barannik V., Parkhomenko M., Barannik D., Gurzhii P., Karpinski M., Shaikhanova A., Piotrkowska-Kasolik K. The method of encoding video information systems based on the identification of structural dependencies in the key frames *Inżynier XXI wieku. Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji: X Międzynarodowej Konferencji*. (Bielsko-Biała, Polska, 11 grudnia, 2019). Bielsko-Biała: Springer, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, P. 78-89.

115. Barannik V., Parkhomenko M., Ryabukha Y., Sorokun A., Hahanova A., Dodukh O. Developing a Method of Composing Key Components of a Video Image Based on the Integration of their Code Structures. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019)*: proceedings of the IEEE Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv. 2019. P. 31-35.

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

117. Barinova O., Lempitsky V., Kholi P. On detection of multiple object instances using hough transforms. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*. 2012. P. 177-184.

118. Barlaud M. Pyramidal lattice vector quantization for multiscale image coding. *IEEE Trans. Image Proc.* 1994. Vol. 3. No. 4. P. 367-381.

119. Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8; ITU-T Recommendation T.807, 108 p. (2007).
120. Chigorin A., Krivovoyaz 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.
121. Ding Z., Chen H., Gua Y., Peng Q. GPU accelerated interactive space-time video matting. *In Computer Graphics International*. 2010. P. 163-168.
122. Dufaux, F. and Ebrahimi, T.: Toward a Secure JPEG. Applications of Digital Image Processing XXIX, Vol. 6312 (2006) DOI: 10.1117/12.686963.
123. Gonzales R. C., Woods R. E. Digital image processing. Prentice Inc. Upper Saddle River. New Jersey, 2002. 779 p.
124. Gopinath R. A., Burrus C. S. On cosine-modulated wavelet orthogonal bases. *IEEE Trans. Image Proc.* 1995. Vol. 4. No. 2. P. 162-177.
125. Grundmann M., Kwatra V., Han M., Essa I. Efficient hierarchical graph based video segmentation. *IEEE CVPR*. 2010. P. 85-91.
126. JPEG Privacy & Security Abstract and Executive Summary (2015) Available via [JPEG.ORG. https://jpeg.org/items/20150910_privacy_security_summary.html](https://jpeg.org/items/20150910_privacy_security_summary.html).
127. Habibi A., Wintz P. F. Image coding by linear transformation and block quantization. *IEEE Trans. Commun. Tech.* 1971. Vol. COM – 19. No. 1. P. 5-63.
128. Kaarna A., Parkkinen J. Blockwise Distortion Measure for Lossy Compression of Multispectral Image. *Proceeding of the 10-th European Signal Processing Conference*, (Finland, 5-8 sept. 2000). Tampere, Finland, 2000. P. 2197-2200.
129. Kang H. R. Color Technology for Electronic Imaging Devices. *The International Society for Optical Engineering*. Vol. PM28. Bellingham:WA, 1997.
130. Kossentini F., Chung W. C., Smith M. Subband image coding using entropy-constrained residual vector quantization. *Information Processing and Management*. 1994. Vol. 30. No. 6. P. 887-896.

131. Lee S. Y., Yoon J. C. Temporally coherent video matting. *Graphical Models* 72. 2010. P. 25-33.
132. Lezama J., Alahari K., Sivic J., Laptev I. Track to the future: Spatio-temporal video segmentation with long-range motion cues. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2011. P. 256-289.
133. Miano J. Compressed image file formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 264 p. (1999).
134. Milyaev S., Barinova O., Novikova T., Lempitsky V. Binarization for end-to-end text understanding in natural images. *ICDAR*. 2013. P. 35-42.
135. Parkhomenko M., Yudin O., Hahanova A., Pchelnykov S., Shmakov V., Shaigas O. Method of encoding binary structures of stationary component of video stream. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020): 2nd IEEE Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv. 2020.
136. Ponomarenko N., Lukin V., Egiazarian K., Astola J. Partition Schemes in DCT Based Image Compression. *Technical Report 3-2002*. Tampere University of Technology: Finland, 2002. 100 p.
137. Pratt K. Digital image processing: PIKS inside: *third edition*. Inc., 2001. 738 p.
138. Sindeev M., Konushin A., Rother C. Alpha-flow for video matting. *Technical Report*. 2012. P. 41-46.
139. 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.
140. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. Methodology of stereoscopic motion picture quality assessment. Stereoscopic Displays and Applications XXIV. *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging* (SPIE). 2013. P. 67-69.
141. Wong, K.-W.: Image encryption using chaotic maps. *Intelligent Computing Based on Chaos*, Vol. 184, pp. 333–354 (2009) DOI: 10.1007/978-3-540-95972-4_16.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості
про апробацію результатів дисертації

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Barannik V., Parkhomenko M., Azatov A., Tupytsya I., Pershin A., Gurzhii P., Shaikhanova A., Karpiński M. The concept of a quantitative sign formation for the internal restructuring of information resource data. *Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji* 2020, *Monograph*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, 11 grudnia 2020, pp.41-52. **(Scopus)**

Бараннік Н.В., Пархоменко М.В. Бабенко Ю.М., Жуйков Д.Б., Ерошенко В.П., Піскун Я.А. Метод підвищення ефективності розмежування доступу до автоматизованих систем управління спеціального призначення // *Радиоэлектроника и информатика*. 2019. №4. С. 34–37.

V. Barannik, M. Parkhomenko, O. Yudin, A. Sorokun, V. Himenko: Development of a Method of Encoding a Significant Coordinate Brightness Component of a Video Image. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, Aachen, Germany, ISSN 1613-0073, August 19, 2020, Vol-2654, pp. 194-203, online [CEUR-WS.org/Vol-2654/paper15.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-2654/paper15.pdf). **(Scopus)**.

Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Хаханова А.В., Бараннік Н.В. Технологія кодування послідовності фрейм-сплайнових тензорів для підвищення ефективності обробки динамічного відеоресурсу // *Радиоэлектроника и информатика*. 2020. №2. С. 34–42.

Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Гаврилов Д.С., Шульгін С.С., Ерошенко В. Можливість застосування методів арифметичного кодування в

системах криптографічного захисту інформації / Безпека інформації. – 2020. - №3. – С. 156 – 167.

Пархоменко М.В. Метод кодування позиційних координат фреймсплайнового тензору в змішаному мультиадичному просторі // Наукоємні технології. – 2020. - №4. – С. 22 – 30.

Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Бараннік Н.В., Хаханова Г.В. Метод кодування послідовності кадрів для забезпечення доступності та цілісності динамічного відеоресурсу // Захист інформації. – 2020. - №4. – С. 35 – 44.

Пархоменко М.В., Мусієнко О.П., Тупиця І.М., Коломієць В.Д., Бойко Б.І. Розробка імітаційної моделі оцінки методу захисту каналів командно-телеметричної інформації від інформаційної протидії противника. *Системи озброєння і військова техніка*. - 2020. - № 4(64). - С. 101-106.

Barannik N.V., Parkhomenko M.V., Slobodyanyuk A.V., Nahanova G.V., Himenko V.V. A method of code of sequence of shots is for providing of availability and integrity of dynamic videoresource // *Радиоэлектроника и информатика*. 2020. №3. С. 19–25.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

Бараннік В.В., Пархоменко М.В., Бараннік Д.В. та інш. Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку, Н03М 7/30, Н03М 13/00. Патент на корисну модель UA 144599 U України, № u 2020 0296, заявл. 18.05.2020, опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19/2020.

Barannik V., Parkhomenko M., Tupitsya I., Dodukh O., Barannik V. The Clustering Method to the Information Resource Data According to the Sign of the Number of Series of Units as a Tool to Improve the Statistical Coding Efficiency. *Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM'2019)*: 15th

IEEE Intern. Conf. (Polyana, Ukraine, 26 February - 2 March). Polyana, 2019. P. 32-35. **(Scopus)**

Пархоменко М. В. Особливості застосування засобів автоматизації під час використання літаків винищувальної авіації. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: збірник тез доповідей XV Міжнар. наук. конф. (Харків, 10-11 квіт. 2019 р.). Харків: ХНУПС, 2019. С. 73-74.

Бараннік В. В., Пархоменко М.В., Фустій В. С. Оцінка ефективності методів маскування аерофотографій. *Наукоємні технології в інфокомунікаціях (НІСТ'2019)*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кам'янець – Подільський, 23-25 трав. 2019 р.). Кам'янець – Подільський: ХНУПС, КПНУ, ХНУРЕ, 2019. С. 24-25.

Barannik V., Parkhomenko M., Barannik D., Fustii V. Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT'2019)*: 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019). Lviv, 2019. P. 415-418. **(Scopus)**

Barannik V., Parkhomenko M., Barannik D., Gurzhii P., Karpinski M., Shaikhanova A., Piotrkowska-Kasolik K. The method of encoding video information systems based on the identification of structural dependencies in the key frames *Inżynier XXI wieku. Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji*: X Międzynarodowej Konferencji. (Bielsko-Biała, Polska, 11 grudnia, 2019). Bielsko-Biała: Springer, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, P. 78-89. **(Scopus)**

Barannik V., Parkhomenko M., Ryabukha Y., Sorokun A., Nahanova A., Dodukh O. Developing a Method of Composing Key Components of a Video Image Based on the Integration of their Code Structures. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019)*: proceedings of the IEEE Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv. 2019. P. 31-35. **(Scopus)**

Пархоменко М. В., Пауль Р.І. Удосконалення методу виявлення кібератак на інформаційно-телекомунікаційну мережу Повітряних Сил з

врахуванням дестабілізуючих факторів в умовах ведення бойових дій. *Новітні технології – для захисту повітряного простору: збірник тез доповідей XVI між нар. наук. конф.* (Харків, 15-16 квіт. 2020 р.). Харків: ХНУПС, 2020. С. 388-389.

Пархоменко М.В., Хаханова Г.В. Метод ефективного кодування відеоінформаційного ресурсу в інформаційно-телекомунікаційній мережі 6-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрями захисту інформації». Одеса вересня до 6 вересня 2020 року, Одеська національна академія зв'язку і О.С.Попова. – С. 32 – 34.

Parkhomenko M., Yudin O., Hahanova A., Pchelnicov S., Shmakov V., Shaigas O. Method of encoding binary structures of stationary component of video stream. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020): 2nd IEEE Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv. 2020. **(Scopus)**

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

Апробація результатів дисертації була проведена на:

Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM'2019): 15th IEEE Intern. Conf. (Polyana, Ukraine, 26 February - 2 March). Polyana;

Новітні технології – для захисту повітряного простору: збірник тез доповідей XV Міжнар. наук. конф. (Харків, 10-11 квіт. 2019 р.). Харків: ХНУПС;

Наукоємні технології в інфокомунікаціях (НІСТ'2019): матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (Кам'янець – Подільський, 23-25 трав. 2019 р.). Кам'янець – Подільський: ХНУПС, КПНУ, ХНУРЕ;

Advanced Information and Communications Technologies (AICT'2019): 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019);

Inżynier XXI wieku. Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji: X Międzynarodowej Konferencji. (Bielsko-Biała, Polska, 11 grudnia, 2019). Bielsko-Biała: Springer, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej;

Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019): proceedings of the IEEE Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv;

Новітні технології – для захисту повітряного простору: збірник тез доповідей XVI між нар. наук. конф. (Харків, 15-16 квіт. 2020 р.). Харків: ХНУПС;

6-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрями захисту інформації». Одеса вересня до 6 вересня 2020 року, Одеська національна академія зв'язку і О.С.Попова;

Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2020): 2nd IEEE Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv;

VII International Conference. «Information Technology and Interactions», KYIV, 04 December, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Додаток Б

Приклад кадр-тензора для початкового динамічного відеоресурсу



Додаток В
Акти реалізації результатів досліджень

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного науково-дослідного інституту МВС України, доктор юридичних наук, професор, заслужений юрист України



Михайло **Михайло ВЕРБЕНСЬКИЙ**

«02» 08 2020 р.

А К Т

впровадження результатів науково-прикладних досліджень
Пархоменка Максима Вікторовича

Комісія у складі: голови - заступника начальника ДНДІ МВС України, кандидата юридичних наук, старшого дослідника Смерницького Д.В.; членів комісії: завідувача НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Гуляєва А.В., завідувача НДЛ СТЗ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Яковенка О.В., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук доцента Фесенка М.А., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук Мельника В.Є. склала цей акт, який полягає в тому, що при виконанні дослідно-конструкторських робіт використані наступні результати науково-прикладних досліджень Пархоменка Максима Вікторовича:

1. Метод кодування динамічного відеоресурсу на основі змішаного мультиадичного кодування диференційно-представлених В-Р кадрів в спектральному просторі. Побудований метод містить наступні основні етапи:

1.1. Метод декомпозиції параметрів фрейм сплайнової структури трансформованих блоків В-Р кадрів.

1.2. Метод кодування спектральних координат для фрейм-сплайнової тензорної структури в змішаному мультиадичному просторі.

1.3. Технологію виявлення не значимих компонент трансформованих блоків В-Р кадрів з послідуочим їх ефективним кодуванням в різницево-мультиадичному просторі.

2. Удосконалену інформаційну технологію обробки та передачі відеоінформації на основі інтегрування кодеку кадрів В-Р типів з

використанням змішаного мультиадичного кодування параметрів фрейм сплайнової тензорної структури.

Для розробленого методу обробки динамічних відеоресурсів з керованими рівнями закруглення та квантування забезпечується обробка відеоданих в реальному часі та в автоматичному режимі (без втручання оператора) на обчислювальних засобах з збереженням інформації про контури об'єктів для режимів кодування - без втрати якості або з контрольованими втратами.

Впровадження результатів досліджень Пархоменка М.В. в інформаційно-комунікаційних системах на основі програмно-апаратних реалізацій дозволило забезпечити наступні результати:

- підвищити доступність відеоінформації, яка зберігається, в середньому на 10 – 20%;
- забезпечити підвищення цілісності та доступності надходження інформації під час оперативного відео спостереження в середньому на 20%;
- забезпечити можливість побудови відеоінформаційних сховищ з врахуванням семантичної специфіки зображень. Це дозволяє забезпечити скорочення часу пошуку та передачі відеоданих, підвищити її достовірність для забезпечення заданого рівня безпеки відеоінформації.

Науково-прикладні дослідження дали можливість покращити результати виконання дослідно-конструкторських робіт.

Голова комісії
кандидат юридичних наук,
старший дослідник



Д.В. Смерницький

Члени комісії:
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



А.В. Гуляєв

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



О.В. Яковенко

кандидат технічних наук, доцент



М.А. Фесенко

кандидат технічних наук



В.Є. Мельник

Затверджую

Перший проректор
Харківського національного
університету радіоелектроніки
доктор технічних наук, професор

І.В. Рубан

« 16 »

2020 р.



АКТ

науково-технічної комісії щодо впровадження наукових положень і результатів
кандидатської дисертації
Пархоменко Максима Вікторовича

Науково-технічна комісія у складі: голова комісії завідувач кафедри інформаційно-мережної інженерії доктор технічних наук, професор Безрук Валерій Михайлович, члени комісії: доцент кафедри інформаційно-мережної інженерії, кандидат технічних наук Ширяєв Андрій Володимирович, доцент кафедри інформаційно-мережної інженерії, кандидат технічних наук Харченко Наталія Андріївна, доцент кафедри інформаційно-мережної інженерії, кандидат технічних наук Скорик Юлія Валеріївна склали даний акт про те, що в результаті виконання науково-дослідних робіт були використані та впроваджені наступні наукові положення та результати, що отримані здобувачем Пархоменко М.В., а саме:

1) модель оцінки інформативності структурно-комбінаторного представлення сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнових тензорів послідовності передбачених кадрів в мультіадичному базисі з врахуванням неоднорідності структурних властивостей за напрямком стовбців сукупностей позиційних координат фрейм-сплайнового тензору;

2) метод структурного нормування одноелементних фрейм-сплайнових тензорів, який базується на вирівнюванні лінійних розмірів його фреймів шляхом декомпозиції параметрів структурних сплайнів, які мають максимальні значення позиційних координат;

3) метод динамічного кодування декомпонованих позиційних координат фрейм-сплайнового тензору послідовності В-Р кадрів на основі двополюсного змішаного мультіадичного кодування в напрямку їх фреймів з врахуванням: виявлення структурних обмежень одночасного за двома напрямками відносно границь динамічних діапазонів; адаптивним врахуванням структурних особливостей позиційних координат сплайнів в залежності від спектрально-частотної області їх формування.

Розроблені в дисертації методи дозволили:

1) усунути вразливі факторів відносно втрати достовірності та інформаційної ущільненості для удосконаленої ІТОДВ, а саме: випадків переповнення заданої довжини кодової комбінації; потреби у додатковому

формуванні кількості біт на використання маркерів: розташування послідовностей позиційних координат, для яких формуються кодові значення; розмежувачів між кодовими конструкціями сусідніх сукупностей позиційних координат;

2) підвищити рівня бітової швидкості відеоресурсу в середньому від 17 до 37 %. Це забезпечується за рахунок додаткового скорочення міжкадрової надмірності з врахуванням: закономірностей в структурі позиційних координат сплайнів в залежності від частотно-спектральної області їх формування; пульсації позиційних координат відносно двох границь їх динамічних діапазонів в змішаному мультіадичному базисному просторі на рівні, який відповідає підвищенню величини коефіцієнта ущільнення в середньому на 22 – 30 %.

Отримані результати було реалізовані при проведенні курсу (лекційних, групових та лабораторних занять) з наступних навчальних дисциплін «Глобальна інформаційна інфраструктура», «Інформаційно-комунікаційні технології», «Методи обробки мультимедійної інформації».

Голова комісії

Безрук В.М.

Члени комісії:

Ширяєв А.В.

Харченко Н.А.

Скорик Ю.В.