

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**КОМОЛОВ ДМИТРО ІВАНОВИЧ**



УДК 621.327: 681.5

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАКРИТОГО  
ВІДЕОКАНАЛУ ДЛЯ ВІДОМЧИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів - 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
**Бараннік Володимир Вікторович**,  
Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,  
Міністерство оборони України,  
начальник кафедри «Бойового застосування та  
експлуатації АСУ».

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Толіупа Сергій Васильович**,  
Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка,  
професор кафедри кібербезпеки  
та захисту інформації;

доктор технічних наук  
**Стрихалюк Богдан Михайлович**,  
Національний університет «Львівська  
політехніка», доцент кафедри  
телекомунікацій.

Захист дисертації відбудеться “ 18 ” листопада 2016 р. о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 218 XI навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий “07” жовтня 2016 р.

*Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к.т.н., доц.*



І.В. Демидов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Інформаційні системи, що використовуються в органах внутрішніх справ України, дозволяють підвищити ефективність управління, розкриття злочинів і надання послуг населенню. Ключовою компонентою інформаційного забезпечення є відеоінформаційна складова. До неї входять системи відеоспостереження та відеоконференцзв'язку. Так у 2012 році в МВС була побудована відомча система відеоконференцзв'язку на базі єдиної цифрової відомчої телекомунікаційної мережі (ЄЦВТМ). В свою чергу в 2013 році – система відеоконференцзв'язку між підрозділами МВС, прокуратури та судами для трансляції проведення слідчих дій. На підтримку впровадження техніки відеоспостереження та відеоконференцзв'язку в органах внутрішніх справ України прийнято ряд нормативно-правових актів, які регламентують законність, порядок застосування та функціонування, а також вимоги, що пред'являються до цих систем. В силу того, що вся інформація, яка обробляється в МВС, в тому числі аудіо та відео, є службовою, вона вимагає забезпечення належного захисту. На основі нормативно-правових актів розроблені вимоги, що пред'являються до відомчих відеоінформаційних систем. Основними вимогами є: забезпечення якісного надання відеосервісу, оперативна доставка відеоінформаційних потоків, забезпечення необхідного рівня захисту інформації. У той же час існують певні проблемні фактори, які обмежують можливість щодо забезпечення відомчих вимог відносно відеоінформаційних сервісів. До них відносяться: використання низькошвидкісних каналів зв'язку, використання відеообладнання низької якості, відсутність систем технічного захисту інформації. Отже підвищення якості відеоінформаційного сервісу для відомчих інфокомунікаційних мереж в умовах забезпечення заданої конфіденційності є **актуальним науково-прикладним завданням**.

Значний вклад стосовно оброблення, підвищення якості передавання та захисту відеопотоку в інфокомунікаційних системах внесло багато вчених. Серед них Бараннік В.В., Дудикевич В.Б., Клиماش М.М., Корольов А.В., Корченко О.Г., Прудіус І.Н., Толюпа С.В., Юдін О.К. та ін. Із закордонних дослідників великий внесок зробили Зив Дж., Претт У., Річардсон Я., Шеннон К., Хартлі Р.Л. тощо.

Існуючі технології оброблення відеоданих дозволяють розглядати сформульоване завдання, розбиваючи його на два підзавдання: окремо щодо забезпечення якості та щодо забезпечення конфіденційності. Такий підхід дозволяє будувати системи забезпечення захисту відеопотоку не враховуючи процеси компресії. Однак, як показав аналіз, це не дозволяє забезпечувати необхідний рівень конфіденційності при заданій якості відеосервісу в умовах використання відомчих систем. Тому варіантом розв'язання завдання є поєднання процесів кодування та криптографічного захисту. Відповідно, узагальнюючим показником якості процесів надання відеосервісів та захисту інформації є поняття пропускної спроможності закритого відеоканалу. Отже, потрібно розробити метод підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу для відомчих інфокомунікаційних систем. Таким чином, **тематика дисертаційних досліджень є актуальною**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційні дослідження безпосередньо пов'язані з такими програмами і нормативними документами: Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 04.02.1998 № 75/98-ВР, Концепцією розвитку зв'язку України від 9.12.1999 р. N 2238, Національними космічними програмами України від 30.09.2008 N 608-VI, планами наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки, в рамках яких була виконана НДР «Технології створення інтегрованих інформаційних систем на основі мереж цифрового мобільного зв'язку» (№ 0113U000360), в якій автор дисертації був виконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розроблення методу підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу для відомчих телекомунікаційних систем в умовах забезпечення заданої конфіденційності.

Для досягнення вказаної мети були вирішені наступні завдання:

1. Обґрунтувати напрямок вдосконалення селективної технології закриття відеопотоку для підвищення якості відеосервісів у відомчих інфокомунікаційних системах;

2. Розробити метод підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу на основі шифрування енергетично значущих структурних одиниць базового відеокадру;

3. Розробити метод реконструкції закритого відеопотоку на основі врахування вимог щодо особливостей формування кодових конструкцій компресійного представлення та кодограм блочних симетричних шифрів;

4. Розробити програмну реалізацію створених методів та провести порівняльну оцінку її ефективності з урахуванням рівня інтенсивності кодованого відеопотоку.

**Об'єктом дослідження** є процес підвищення якості надання відеосервісів із урахуванням забезпечення необхідного рівня конфіденційності у відомчих інфокомунікаційних системах.

**Предметом дослідження** є методи підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу на основі технологій кодування та цифрової обробки відеопотоку для відомчих систем надання відеосервісів.

**Методи дослідження.** Обґрунтування напрямку підвищення якості надання відеоінформаційних послуг з використанням відомчих телекомунікаційних систем та закриття базового відеокадру здійснювалося на основі методів системного аналізу, теорії дослідження операцій. Розроблення методу підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу проводилося з використанням методів теорії кодування та цифрової обробки зображень. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів проводилася на основі методів математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів** дослідження полягає у тому, що:

1. Набув подальшого розвитку метод виявлення значущих фрагментів кадру на основі використання інформації в спектральному просторі. Відмінні характеристики методу полягають у визначенні енергетичної значущості для структурних одиниць базового кадру відеопотоку з урахуванням каскадних

порогових оцінок, інтегрованих по всьому трансформованому макроблоку. Це дозволяє створити умови для зниження інтенсивності відеопотоку і збереження семантичної інформації про об'єкти інтересу.

2. Вперше запропоновано метод оцінювання інформаційної інтенсивності закритого відеопотоку на основі виявлення семантично значущих фрагментів базового кадру. Відмінні характеристики методу полягають у тому, що інтенсивність бітового потоку оцінюється на основі того, що криптографічному захисту підлягають лише значущі структурні одиниці базового кадру з урахуванням ступеня їх впливу на характеристики інтенсивності і конфіденційності передбачених кадрів відеоінформаційного потоку. Це дозволяє провести оцінку пропускну́ї спроможності закритого відеоканалу з урахуванням забезпечення відомчих вимог щодо якості відеосервісу.

3. Вперше запропоновано метод підвищення пропускну́ї спроможності закритого відеоканалу на основі селективного оброблення відеоінформаційного потоку. Відмінні риси методу полягають в: автоматичній селекції значущих фрагментів відеопотоку тільки за базовим кадром з використанням каскадних вирішальних правил у спектральному просторі; диференційованій обробці базового кадру з урахуванням виявлення і закриття значущих структурних одиниць; узгодженні кодових конструкцій значущих структурних одиниць кадру з умовами блочного симетричного шифрування без внесення надмірності. Це забезпечує підвищення пропускну́ї спроможності відеоканалу з урахуванням відомчих вимог щодо конфіденційності та якості відеоінформаційного потоку.

4. Вперше запропоновано метод реконструкції закритого відеоінформаційного потоку на основі внутрішньокадрової селекції ключових компонент кадру. Відмінність даного методу від існуючих полягає в тому, що дешифрування проводиться у процесі відновлення з урахуванням ідентифікації закритих структурних одиниць базового кадру в загальному кодовому потоці на основі використання встановлених міток і взаємної узгодженості вимог щодо формування кодових конструкцій. Це дозволяє забезпечити необхідну якість відомчого відеоінформаційного сервісу для закритих інформаційних ресурсів.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблення запропонованих автором моделей та методів в існуючих положеннях теорії і практики кодування та шифрування відеоінформаційних потоків.

**Практичне значення отриманих результатів** досліджень полягає в тому, що впровадження отриманих результатів при організації відеоінформаційного забезпечення з використанням відомчих телекомунікаційних систем на основі програмно-апаратних реалізацій дозволило забезпечити наступні результати:

1. Для розробленого методу досягається виявлення і приховування до 90% семантично значущих областей відеодокументів, які представляють оперативний інтерес, що забезпечує виконання відомчих вимог по конфіденційності відеоінформаційного потоку.

2. Оцінка ступеня закриття відеоінформаційного потоку за базовими кадрами для створеного методу показала, що забезпечується необхідний рівень конфіденційності для відомчого інформаційного ресурсу. Відповідно середні

значення пікового відношення сигнал/шум для передбачених кадрів в групі при спробі несанкціонованого доступу в залежності від режимів обробки відеопотоку знаходяться в межах від 5 до 9 дБ;

3. Для розробленого методу забезпечується найбільша пропускна спроможність закритого відеоканалу щодо відомих методів в разі використання єдиної відомчої цифрової телекомунікаційної мережі (пропускна спроможність мережі 20 Мбіт/с) в відеоформаті Full HD (1920 × 1080) і досягає 407 Мбіт/с.

4. Розроблений метод забезпечує пропускну спроможність закритого відеоканалу на рівні 59 Мбіт/с (25 кадрів/с в перерахунку на вихідний відеопотік) в умовах використання польових вузлів (супутникових комплектів зв'язку з пропускною спроможністю мережі 5 Мбіт/с) для проведення сеансів відомчого відеоконференцзв'язку у відеоформаті SD (640 × 480) при виконанні відомчих вимог щодо оперативності, достовірності  $PSNR_c > 21$  дБ і конфіденційності  $PSNR_{нсд} < 10$  дБ.

5. У разі використання розробленого методу селекції значущих структурних одиниць базового відеокадру для відеоформату Full HD (1920 × 1080) забезпечується вигреш за пропускною спроможністю закритого відеоканалу від 23% до 51% у порівнянні з відомими методами послідовного шифрування (кодування відеоданих із подальшим їх шифруванням) і від 26 % до 42% у порівнянні з методами селекції всіх структурних одиниць базового відеокадру в залежності від якості переданих відеоданих. Це дозволяє підвищити якість надання відеоінформаційних послуг для інфокомунікаційних систем з високою роздільною здатністю при виконанні відомчих умов по конфіденційності, оперативній доставці і достовірності.

**Реалізація результатів роботи.** Результати дисертації використовувалися при виконанні держбюджетної НДР № 276-4 «Технології створення інтегрованих інформаційних систем на основі мереж цифрового мобільного зв'язку» (номер державної реєстрації № 0113U000360), яка виконувалася згідно тематичного плану НДР Харківського національного університету радіоелектроніки, а також в Головному управлінні Національної поліції в Харківській області (акт реалізації від 07.10.2015 р).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи були отримані автором самостійно і досить повно відображені в публікаціях: в праці [1] – проводиться аналіз структури відеоінформаційних систем в Міністерстві внутрішніх справ України; в праці [2] – досліджені системи відеоконференцзв'язку, що застосовуються в органах внутрішніх справ України, представлені основні результати досліджень показників ефективності застосування відомчих систем і вимоги, що висуваються до них; в працях [11; 12; 16] – проаналізовані основні характеристики відеопотоку при різних варіантах приховування для пошуку найкращого методу закриття відеоінформаційного ресурсу у відомчих телекомунікаційних системах; в працях [17; 18; 19] – проведені експериментальні дослідження по відновленню відеопотоку при зашифрованому базовому кадрі з урахуванням різних пікових відношень сигнал/шум і коефіцієнтів зниження інтенсивності; в працях [4; 9; 13; 14] –

розроблено селективний метод шифрування, заснований на приховуванні базового кадру, представлені алгоритми і схеми кодування і декодування відеопотоку; в працях [3; 5; 7; 8; 23] – створюється метод підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу, який заснований на закритті найбільш значущих складових базового відеокадру; в працях [6; 10; 20; 22] – побудовано технологію сумісності кодової конструкції енергетично значущої структурної одиниці з вимогами методів блочного симетричного шифрування для закриття поточкових відеоданих на основі технології внутрішньокадрової селекції базового відеокадру; в працях [15; 21] – розроблено методологічна база для розрахунку бітової швидкості зашифрованої структурної одиниці базового відеокадру.

**Апробація результатів дисертації.** Апробація результатів дисертації відображена у 13 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях. Зокрема п'ять апробацій на конференціях, які відбулися під егідою міжнародної організації IEEE: The 4th International Scientific Conference «ITSEC», Національний авіаційний університет, Київ, 2014; Четверта міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія», Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2014; V міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» (ІТКІ-2015), Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, 2015; The XIIIth International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2015, Polyana-Svalyava (Закарпатська обл.), 2015; науково-технічна конференція «Інформаційна безпека України», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2015 р.; VI міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії», Харківський національний економічний університет, Харків, 2014; міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2014», Національний університет «Львівська політехніка», 2014р.; XXII міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Національний технічний університет «ХПІ», Харків, 2014; XIV<sup>th</sup> International Conference «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2016», Lviv-Slavske, 2016; International Symposium «IEEE East-West Design & Test», Kiev, 2014; 1<sup>st</sup> International Conference «Advanced Information and Communication Technologies-2015, AICT'2015», Lviv, 2015.

**Публікації за темою дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано у 23 наукових працях: у 10 статтях (5 статей у наукових періодичних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз та 5 статей у наукових фахових виданнях України) та в 13 тезах у збірниках доповідей міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

**Структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 199 сторінок друкарського тексту, із них 9 сторінок вступу, 160 сторінок основного тексту, 69 рисунків (у тому числі 13 рисунків на 11 окремих сторінках),

8 таблиць (у тому числі 5 таблиць на 5 окремих сторінках), список використаних джерел зі 127 найменувань, 2 додатки на 3 сторінках. Дисертація написана російською мовою.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми; визначено: мету, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень; вказано: наукову новизну та практичну цінність дисертації; зв'язок з науковими програмами і темами; відомості, що стосуються достовірності й обґрунтованості результатів досліджень, реалізації й апробації результатів, публікацій за темою дисертації та особистого внеску здобувача.

В першому розділі дисертаційної роботи – «Обґрунтування необхідності підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу для забезпечення якості відеоінформаційного сервісу у відомчих інфокомунікаційних системах» – наведено основні завдання та напрямки розвитку відеоінформаційних систем в органах внутрішніх справ, обґрунтовано необхідність їх застосування, представлено розроблені відомчі вимоги до відеоінформаційних ресурсів, сформульовано постановку завдань дослідження, розглянуто особливості структури єдиної цифрової відомчої телекомунікаційної мережі.

Впровадження відеоінформаційних ресурсів в системі МВС України показало їх необхідність та велику значущість для якісного, об'єктивного і своєчасного прийняття управлінських рішень. Найважливішим компонентом відеоінформаційних систем є відеоконференцзв'язок. Під час впровадження відомчих систем відеоконференцзв'язку основними проблемними питаннями є: відсутність каналів передавання даних, неможливість прокладення нових провідних каналів зв'язку, складності з побудовою бездротових каналів зв'язку; використання низькошвидкісних каналів зв'язку і застарілого каналоутворюючого устаткування, що не дозволяє підвищувати якість переданого відеоконтенту; не забезпечується виконання відомчих вимог по конфіденційності для устаткування, яке застосовується в органах внутрішніх справ для проведення сеансів відеоконференцзв'язку. Тому для виконання вимог відносно оперативності, достовірності та конфіденційності в відомчих інфокомунікаційних системах необхідно забезпечити підвищення якості відеосервісу в умовах забезпечення конфіденційності з використанням стандартизованих MPEG технологій і алгоритмів ДСТУ щодо криптографічного захисту. Тут узагальнюючим показником, що враховує вимоги щодо оперативності, достовірності та конфіденційності відомчої мережі, виступає пропускна здатність закритого каналу. Отже, для виконання відомчих вимог щодо пропускної здатності  $N_{зк}$  закритого відеоканалу необхідно знизити інтенсивність  $V_{Квих}$  відеоданих в контексті зниження тривалості передавання, забезпечити їх приховування і доставку за необхідний час  $T_{р,д} \leq T_{н,д}$  при необхідних умовах щодо достовірності  $PSNR_c \geq PSNR_{н,с}$  та конфіденційності  $PSNR_{нсд} \leq PSNR_{н,нсд}$ . Тоді формула для оцінки пропускної спроможності закритого відеоканалу в перерахунку на вихідний потік запишеться наступним чином:



$$N_{зк} = N_K \cdot V_{K_{вих}} : T_{р,д} \leq T_{н,д}; PSNR_c \geq PSNR_{н,с}; PSNR_{нсд} \leq PSNR_{н,нсд}, \quad (1)$$

де  $N_K$  - кількість відеокадрів, які передаються при заданих умовах по оперативності, достовірності та конфіденційності;  $T_{н,д}$  - необхідний час доставки, що припадає на групу кадрів;  $T_{р,д}$  - реальна тривалість доставки, що включає в себе тривалості кодування, приховування та передавання відеоданих;  $PSNR_c$  - значення пікового відношення сигнал/шум для доставленого відеокадру при санкціонованому доступі;  $PSNR_{нсд}$  - значення пікового відношення сигнал/шум для доставленого відеокадру при несанкціонованому доступі;  $PSNR_{н,с}$  - необхідне значення пікового відношення сигнал/шум для доставленого відеокадру при санкціонованому доступі;  $PSNR_{н,нсд}$  - необхідне значення пікового відношення сигнал/шум для відеокадру при несанкціонованому доступі;  $L_{мер}$  - пропускна здатність мережі.

Таким чином, обґрунтовано, що для забезпечення якісного надання відеосервісів у відомчих телекомунікаційних системах необхідно розробити метод зниження інтенсивності закритих відеоданих в умовах обмежень по достовірності та конфіденційності.

В другому розділі дисертаційної роботи – «Обґрунтування напрямку створення технології закриття відеопотоку в інфокомунікаційних системах» – проведено аналіз різних варіантів шифрування відеоінформаційного потоку. Обґрунтовано, що найбільш ефективним для відомчих відеоінформаційних систем є селективний метод приховування, де оброблення і передавання відеоданих здійснюється в реальному часі. Проведено аналіз етапів оброблення відеоданих, на яких можлива інтеграція селективних методів шифрування. Розроблено рекомендації щодо селективного шифрування в процесі кодування відеопотоку. Вони засновані на приховуванні базового кадру. Це дозволяє забезпечити приховування групи кадрів в умовах мінімізації втрат за ступенем зниження інтенсивності відеопотоку.

Для оцінювання інтенсивності прихованого відеопотоку розробляється метод, який дозволяє обчислити інтенсивність прихованого і відкритого базового кадру щодо групи кадрів в процентному співвідношенні. В залежності від пікового відношення сигнал/шум інтенсивність прихованого І-кадру в порівнянні з відкритим щодо групи кадрів збільшується від 7% до 20%.

Аналіз інтенсивності кодованих відеоданих показує, що у разі приховування відеопотоку високої якості із застосуванням селективного методу під час оброблення, інтенсивність відеоданих збільшується незначно (10%). Зі зменшенням значень пікового відношення сигнал/шум на 5-15 дБ для всіх типів кадрів, інтенсивність закритих відеоданих (з прихованим І-кадром) збільшується на 10-44%, у порівнянні з відкритим відеопотоком. Отже, при зменшенні якості відеоконтенту з використанням селективного методу, його інтенсивність зростає. Таким чином, даний метод не забезпечує вимоги щодо оперативності для відомчих інфокомунікаційних систем.

Необхідно відмітити те, що ефективність даного методу, коли забезпечується безпека відеоданих шляхом закриття базового кадру, розглядається з боку зміни

інтенсивності прихованого І-кадру щодо інтенсивності групи кадрів. Тому при використанні селективного методу, заснованого на закритті базового кадру, з одного боку виконуються вимоги щодо забезпечення конфіденційності і цілісності відеоінформаційного ресурсу. Але, з іншого боку, реалізація такого підходу призводить до збільшення інтенсивності закритих відеоданих, що передаються. В результаті цього знижується пропускна здатність закритого відеоканалу. Це призводить до неможливості виконання вимог, встановлених для відомчих систем відеоконференцзв'язку щодо забезпечення необхідної пропускної спроможності прихованого каналу. В цьому випадку знижується якість надання відеосервісу у відомчих системах.

Отже, існує потреба у додатковому зниженні інтенсивності закритого відеопотоку в умовах забезпечення необхідної достовірності і конфіденційності.

Таким чином, обґрунтовано рекомендації щодо розроблення селективного методу, який забезпечує підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу для систем відомчого відеоконференцзв'язку.

У **третьому** розділі дисертаційної роботи – «Розроблення методу підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу в інфокомунікаційних системах» – розробляється система показників для виявлення найбільш значущих блоків складової яскравості колірної моделі базового відеокадру за ступенем семантичної і структурної насиченості на основі оцінювання інформації, що міститься в сумі значень низькочастотних компонент трансформанти дискретного косинусного перетворення (ДКП); створюється технологія формування кодових конструкцій для селективного методу їх оброблення; будується метод реконструкції закритого відеопотоку на основі технології диференційованого оброблення кадрів, розробляється метод підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу.

Виявлення енергетично значущих блоків складової яскравості колірної моделі відеокадру за ступенем семантичної і структурної насиченості пропонується проводити за допомогою показника  $Z(B_H)_\Phi^{(\xi, \gamma)}$  суми значень низькочастотних компонент, які знаходяться в перших 4-х діагоналях ( $1 \leq \lambda_H \leq 5$ ) трансформанти ДКП. Це описує наступний вираз:

$$Z(B_H)_\Phi^{(\xi, \gamma)} = (\log_2 \sum_{\alpha_H=1}^{\lambda_H} \sum_{\nu=1}^{\ell(\alpha_H)} y_{\alpha_H, \nu}^2) / \sum_{\alpha_H=1}^{\lambda_H} \ell(\alpha_H), \quad (2)$$

де  $y_{\alpha_H, \nu}$  - значення компоненти трансформанти;  $\lambda_H$  - кількість діагоналей з низькочастотними компонентами в трансформанті;  $\nu$  - індекс елемента всередині  $\alpha_H$ -ої діагоналі;  $\alpha_H$  - індекс низькочастотної  $\lambda_H$ -ої діагоналі;  $\ell(\alpha_H)$  - довжина низькочастотної  $\alpha_H$ -ої діагоналі.

Визначення енергетичної значущості структурної одиниці базового відеокадру, що базується на системі правил для оцінювання структурної та семантичної насиченості блоків складової яскравості колірної моделі здійснюється з урахуванням значення показника за сукупністю низькочастотних компонент трансформанти ДКП блоку. Це дозволяє здійснити оцінювання блоків і макроблоків складової яскравості відеокадру за низькочастотними компонентами трансформанти ДКП для виявлення ділянок зображення, які мають виражені

структурні переходи, текстурні перепади та перепади яскравості. В основі правил лежить система порівняння показника  $Z(B_H)_{\phi}^{(\xi, \gamma)}$  сукупності значень низькочастотних компонент з пороговими значеннями. Прийнято, що  $\delta_{\max_H}$  - верхня межа для оцінки показника сукупності значень низькочастотних компонент блоку,  $\delta_{\min_H}$  - нижня межа для оцінки показника сукупності значень низькочастотних компонент блоку. Якщо до складу макроблоку складової яскравості колірної моделі входить один і більше блоків з високим ступенем семантичної і структурної насиченості, то це можна описати таким виразом:

$$M(Y)^{(\xi, \gamma)} = M(Y)_{3H}^{(\xi, \gamma)} \text{ та } M=1, \text{ якщо } Z(B_H)_{\phi}^{(\xi, \gamma)} > \delta_{\max_H}. \quad (3)$$

Якщо до складу макроблоку входять два  $N_{sr} = 2$  і більше  $N_{sr} > 2$  блоків  $B(Y)_{\phi}^{(\xi, \gamma)}$  із середнім ступенем семантичної і структурної насиченості, тобто виконується нерівність:

$$(\delta_{\min_H} \leq Z(B_H)_{\phi}^{(\xi, \gamma)} \leq \delta_{\max_H}), \quad (4)$$

$$\text{тоді: } M(Y)^{(\xi, \gamma)} = M(Y)_{3H}^{(\xi, \gamma)} \text{ і } M=1 \text{ якщо } N_{sr} \geq 2$$

$$\text{та } N_{sr} = N_{sr} + 1, \text{ якщо } (\delta_{\min_H} \leq Z(B_H)_{\phi}^{(\xi, \gamma)} \leq \delta_{\max_H}),$$

де  $N_{sr}$  - кількість блоків із середньою структурною та семантичною насиченістю. Решта структурних одиниць обробляються за стандартним алгоритмом відеокompresії.

Процес вибору значущого  $S_{3H}^{(\xi, \gamma)}$  макроблоку складової яскравості колірної моделі представлений на рис. 1.

Під час формування кодової конструкції для селективного методу оброблення, що базується на оцінюванні кодового представлення структурних одиниць відеокадрів з урахуванням їх енергетичної значущості розроблено технологію, завдяки якій в службову інформацію про структурну одиницю інтегровано маркер її закриття.

Для розрахунків та оцінювання бітової швидкості закритого відеопотоку розроблено методологічну базу з урахуванням наявності виділених структурних одиниць для закриття відеоінформаційного ресурсу. При розрахунках інтенсивності групи відеокадрів враховується довжина двійкового коду енергетично значущих структурних одиниць базового відеокадру.

Інтенсивність  $V_{SI_{прих}}^{(\xi, \gamma)}$  зашифрованої структурної одиниці визначається за формулою:

$$V_{SI_{прих}}^{(\xi, \gamma)} = V_{I_{служ}}^{(\xi, \gamma)} + V_{SI_{прих}}^{(\xi, \gamma)}, \quad (5)$$

де  $V_{I_{служ}}^{(\xi, \gamma)}$  - довжина коду відкритої частини службової інформації  $(\xi, \gamma)$ -ої зашифрованої структурної одиниці базового відеокадру;  $V_{SI_{прих}}^{(\xi, \gamma)}$  - довжина бітового потоку зашифрованої інформаційної частини  $(\xi, \gamma)$ -ої структурної одиниці базового відеокадру.

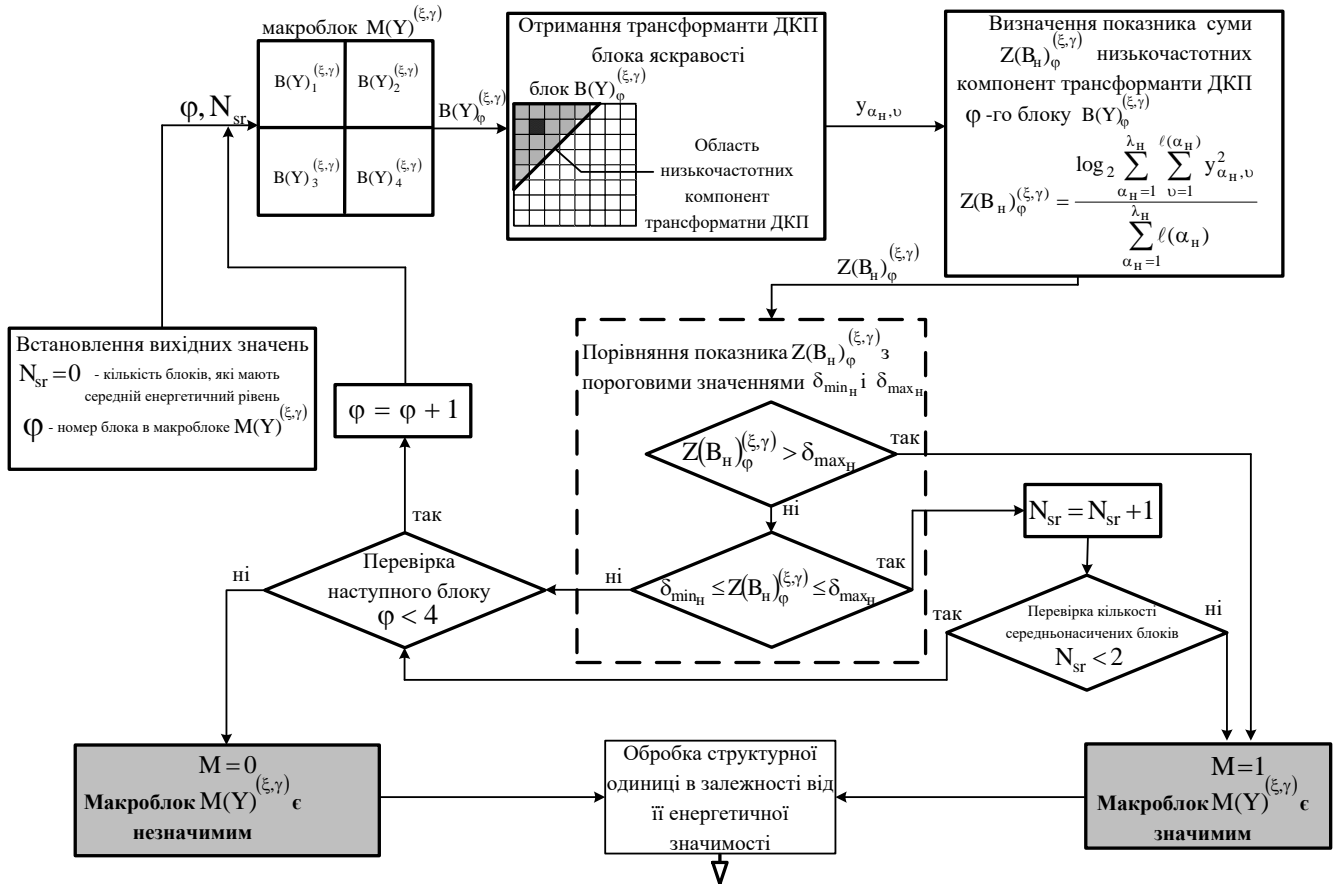


Рис. 1. Метод виявлення значимих фрагментів кадру на основі використання інформації у спектральному просторі.

Інтенсивність коду всіх зашифрованих структурних одиниць базового кадру буде розраховуватися таким чином:

$$V_{SI_{\text{прих}}} = \sum_{s=1}^{|\Psi_{\text{зн}}|} (V_{I_{\text{служ}}}^{(s)} + V_{SI_{\text{прих}}}^{(s)}), \quad (6)$$

де  $|\Psi_{\text{зн}}|$  - кількість значущих структурних одиниць. Таким чином, довжина кодового потоку закритого базового відеокадру буде визначатися за такою формулою:

$$V_{I_{\text{прих}}} = V_{I_{\text{служ}}} + \sum_{s=1}^{|\Psi_{\text{зн}}|} (V_{I_{\text{служ}}}^{(s)} + V_{SI_{\text{ст}}}^{(s)}) + \sum_{s=1}^{|\Psi_{\text{незн}}|} (V_{I_{\text{служ}}}^{(s)} + V_{SI_{\text{прих}}}^{(s)}) \quad (7)$$

Відповідно, інтенсивність прихованої групи відеокадрів визначається як сума бітових послідовностей всіх відеокадрів в групі і описується виразом:

$$V_{\text{GOP}} = V_{\text{служ}}^{\text{GOP}} + V_{I_{\text{прих}}} + \sum_{s=1}^{N_B} V_{B_{\text{ст}_s}} + \sum_{s=1}^{N_P} V_{P_{\text{ст}_s}}. \quad (8)$$

Для сумісності кодової конструкції енергетично значущої структурної одиниці і ключової послідовності алгоритму шифрування «Калина» розробляється метод, який базується на наступних технологічних складових:

1. Утворення 12-бітового кодового подання значення компоненти трансформанти ДКП з 11-бітового значення компоненти трансформанти ДКП і однобітового елемента, який визначає знак значення цієї компоненти. В результаті чого утворюється машинне слово парної довжини. Таким чином, досягається подальша сумісність бітового потоку енергетично значущої структурної одиниці зі 128-бітовим ключем шифрування.

2. Формування кодової конструкції значущої структурної одиниці базового відеокадру, що підлягає шифруванню. В результаті цього деяким чином записується 579-бітна послідовність службових даних і цифрових описів блоків яскравості і кольоровості структурної одиниці.

3. Генерація матриць двійкового коду значущої структурної одиниці такого ж розміру, що і ключ шифрування. В результаті чого відбувається скремблювання бітового потоку, що додатково підвищує ступінь захисту і завадостійкості переданих закритих відеоданих.

При шифруванні сформованих матриць кодового представлення структурної одиниці за допомогою алгоритму «Калина» досягається повна сумісність 128-бітного шифроключа зі 128-бітними фрагментами потоку структурної одиниці без утворення надлишкових бітів даних. Після чого з отриманих матриць двійкового коду зашифрованої структурної одиниці формується бітова послідовність закритих відеоданих.

В результаті застосування методу узгодження кодової конструкції значущої структурної одиниці кадру і блочного симетричного шифрування не вноситься додаткова надмірність та досягається зменшення інтенсивності зашифрованої структурної одиниці в порівнянні з початковою на 25% за рахунок використання формату колірного уявлення 4: 2: 0.

Розроблено метод підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу, який базується на поєднанні технології автоматичної селекції значущих фрагментів базових кадрів, узгодженні особливостей формування кодових конструкцій значущих структурних одиниць кадру і блочного симетричного шифрування. Це дозволяє проводити сеанси відомчого відеоконференцзв'язку в необхідній якості при виконанні вимог щодо забезпечення оперативності, достовірності і конфіденційності.

**Четвертий** розділ дисертації – «Оцінювання ефективності розробленого методу підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу на основі внутрішньокадрової селекції базових відеокадрів» – присвячено проведенню оцінювання ступеня приховування базового відеокадру та його впливу на закриття усього відеопотоку; проводиться порівняльна оцінка пропускної спроможності закритого відеоканалу для розробленого методу та здійснено його порівняння з існуючими методами приховування інформації.

Результати закриття відеокадру, які отримані для розробленого методу підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу на основі селекції значущих структурних одиниць базового кадру, представлені на рис. 2 і рис. 3.



Рис. 2. Результат автоматичного закриття відеокадру «Селекторна відеонарада».



Рис. 3. Результат автоматичного закриття відеокадру «відеодокументування затримання».

Результати експериментів, які представлені на рис. 2 і рис. 3 свідчать про те, що розроблений метод дозволяє автоматично визначати області відеодокументу, що володіють вираженими контрастними, структурними перепадами та перепадами яскравості. Залежно від встановлених граничних значень, що визначають рівень семантичної складності, відбувається більш точне виділення значущих областей відеозображення. Це дозволяє зменшити площу об'єктів, що закриваються та представляють оперативну важливість у відомчих відеоінформаційних системах. В результаті приховування базових відомчих відеокадрів були отримані наступні практичні результати: відбувається приховування важливих областей відеодокументу і дрібних деталей, що представляють відомчий оперативний інтерес; кількість значущих структурних одиниць становить від 40% до 80% від усієї кількості структурних одиниць базового відеокадру в залежності від семантичної насиченості відеозображення. Це підтверджує коректність функціонування розробленого методу селективного закриття відеоданих, заснованого на шифруванні найбільш значущих структурних одиниць базового відеокадру. При установці порогових значень  $\delta_{\min_H} = 14$ ,  $\delta_{\max_H} = 12$  по низькочастотній складовій при функціонуванні методу закриття базового відеокадру на основі селекції значущих структурних одиниць відбувається приховування до 90% семантично значущих характерних областей відеодокументу. При цьому забезпечується повне приховування дрібних деталей, наявність яких дозволяє отримати достовірну інформацію про об'єкти оперативної відеозйомки.

Оцінка інтенсивності  $\tilde{V}_{ГК}^{(сел)}$  прихованої групи на основі розробленого методу селекції значущих структурних одиниць без урахування обмеження на час  $T_{н,д}$  доставки відбувається наступним чином:

$$\tilde{V}_{ГК}^{(сел)} = \sum_{s=1}^{|\Psi_{ЗН}|} V_I(S_{ЗН}^{(s)}) + \sum_{s=1}^{|\Psi_{НеЗН}|} V_I(S_{НеЗН}^{(s)}) + \frac{N_P \cdot V_P}{\kappa_P} + \frac{N_B \cdot V_B}{\kappa_B}, \quad (9)$$

де  $V_I(S_{ЗН}^{(s)})$  - кількість біт на представлення значущої s-ої структурної одиниці відеокадру;  $|\Psi_{ЗН}|$  - кількість значущих структурних одиниць в базовому відеокадрі;  $V_I(S_{НеЗН}^{(s)})$  - кількість біт на представлення s-ої незначущої структурної одиниці відеокадру;  $|\Psi_{НеЗН}|$  - кількість незначущих структурних одиниць в базовому відеокадрі.

Формула для оцінювання пропускної здатності закритого відеоканалу у відомчій відеоінформаційній системі на основі розробленого методу селекції значущих структурних одиниць з урахуванням обмеження на час доставки має наступний вигляд:

$$V_{ГК}^{(сел)} = f(T_{н,д}, \tilde{V}_{ГК}^{(сел)}). \quad (10)$$

Тут  $f(T_{н,д}, \tilde{V}_{ГК}^{(сел)})$  - функціонал, що дозволяє визначити ту частину інтенсивності  $\tilde{V}_{ГК}^{(сел)}$  прихованих кодованих відеоданих для розробленого методу на основі селекції значущих структурних одиниць, які задовольняють відомчим вимогам щодо оброблення  $T_{р,обр}^{(сел)}$  і передавання  $T_{р,п}^{(сел)}$ .

Ці формули дозволяють зробити розрахунки пропускної спроможності закритого відеоканалу. На рис. 4 у вигляді діаграми відображені результати розрахунків залежності пропускної спроможності закритого відеоканалу від методів їх оброблення, а саме: технологія обробки 1 – метод закриття відеоданих на основі послідовної схеми; технологія обробки 2 – метод приховування всіх відеоданих після дискретного косинусного перетворення блоків базового відеокадру; технологія обробки 3 – розроблений метод на основі селекції значущих структурних одиниць базового відеокадру.

На діаграмі, яка представлена на рис. 5, відображені результати розрахунків пропускної спроможності закритого відеоканалу для різних методів їх оброблення в залежності від значень пікового відношення сигнал/шум, які вибираються відповідно до типу кадру. Отже, виділяються такі характерні режими: режим 1 – висока якість відеоданих, для якого значення пікового відношення сигнал/шум для кожного типу кадрів відповідають  $PSNR_I = 50$  дБ,  $PSNR_P = 40$  дБ,  $PSNR_B = 30$  дБ; режим 2 – середня якість відеоданих, для якого значення пікового відношення сигнал/шум для кожного типу кадрів відповідають  $PSNR_I = 45$  дБ,  $PSNR_P = 35$  дБ,  $PSNR_B = 25$  дБ; режим 3 – достатня якість відеоданих, для якого значення пікового відношення сигнал/шум для кожного типу кадрів відповідають  $PSNR_I = 40$  дБ,  $PSNR_P = 30$  дБ,  $PSNR_B = 23$  дБ.

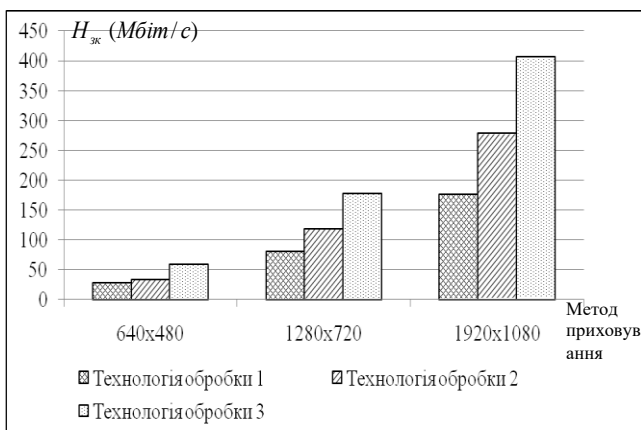


Рис. 4. Діаграма залежності пропускної здатності закритого відеоканалу від розміру відеокадрів для різних методів їх оброблення при санкціонованому доступі.

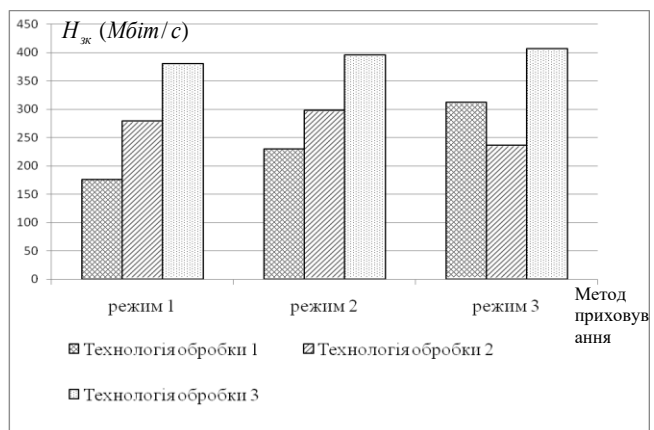


Рис. 5. Діаграма залежності пропускної здатності закритого відеоканалу від значень пікового відношення сигнал/шум для розміру відеокадрів 1920x1080 для різних методів їх оброблення.

Аналіз діаграм на рис. 4 та рис. 5 показав, що в результаті експериментів з приховування відеоданих на основі розробленого методу селекції значущих структурних одиниць для значень пікового відношення сигнал/шум в 31 дБ пропускна спроможність закритого відеоканалу досягає 397,5 Мбіт/с. Це забезпечує виконання відомчих вимог по оперативній доставці прихованих відеоданих для значень пікового відношення сигнал/шум 28-30 дБ при санкціонованому доступі. Пропускна спроможність закритого відеоканалу на основі розробленого методу для значень пікового відношення сигнал/шум в 28 дБ досягає 407 Мбіт/с. Для розробленого методу селекції значущих структурних одиниць базового відеокадру при виконанні відомчих вимог щодо оперативності, достовірності та конфіденційності забезпечується вигреш за пропускною спроможністю закритого відеоканалу на 56% у порівнянні з пропускною спроможністю закритого відеоканалу в разі застосування послідовного методу, і на 39% у порівнянні з пропускною спроможністю закритого відеоканалу в разі застосування методу на основі методу селекції всіх структурних одиниць базового відеокадру.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальне науково-прикладне завдання підвищення якості відеоінформаційного сервісу для відомчих інфокомунікаційних мереж в умовах забезпечення заданої конфіденційності. Розроблено метод підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу, який базується на приховуванні енергетично значущих структурних одиниць базового відеокадру. Відмінні риси методу полягають в автоматичній селекції значущих фрагментів відеопотоку тільки за базовим кадром, диференційованій обробці базового кадру з урахуванням виявлення і закриття значущих структурних одиниць, узгодженні кодових конструкцій значущих структурних одиниць кадру з умовами блочного симетричного шифрування без внесення надмірності. Створено метод реконструкції закритого відеоінформаційного потоку на основі селективної обробки, який базується на ідентифікації закритих структурних одиниць базового кадру та диференційованій обробці структурних одиниць в процесі відновлення базових кадрів.

Отримані наступні основні наукові результати:

1. Створено метод виявлення значущих фрагментів відеокадру на основі аналізу інформації в трансформанті двовимірного дискретного косинусного перетворення. Метод базується на: визначенні енергетичної значущості для структурних одиниць базового кадру, що складаються з макроблоків повноколірної моделі; вирішальному правилі щодо встановлення значущості макроблоків складової яскравості. Кількість автоматично виявлених значущих структурних одиниць досягає 90% від сумарної їх кількості в базових кадрах, залежно від семантичної насиченості.

2. Побудовано метод оцінювання інформаційної інтенсивності закритого відеопотоку. Даний метод базується на наступних механізмах в процесі оціни інтенсивності, а саме на тому, що: криптографічному захисту всього відеопотоку підлягають тільки значущі структурні одиниці базового кадру, звідси приріст за інтенсивністю не перевищує 7%; враховується ключовий вплив структурних одиниць базового кадру на процес формування передбачених кадрів відеопотоку.



Середні значення пікового відношення сигнал/шум для передбачених кадрів у групі в разі несанкціонованого доступу знаходяться в межах від 5 до 9 дБ, що відповідає повному семантичному руйнуванню їх змісту.

3. Розроблено метод підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу. Створений метод ґрунтується на таких базових складових: автоматичній селекції значущих фрагментів відеопотоку на основі каскадних вирішальних правил з використанням інтегрованих оцінок значущості макроблоків структурних одиниць базових кадрів в трансформованому поданні; узгодженні особливостей формування кодових конструкцій відповідно для значущих структурних одиниць кадру і блочного симетричного шифрування без внесення додаткової надмірності. Це забезпечує пропускну спроможність закритого відеоканалу на рівні 59 Мбіт/с (25 кадрів/с в перерахунку на вихідний відеопотік) в умовах використання польових вузлів для проведення сеансів відомчої відеоконференцзв'язку в відеоформаті SD при виконанні відомчих вимог щодо оперативності, достовірності і конфіденційності.

4. Створено метод реконструкції закритого відеоінформаційного потоку на основі селективного оброблення і закриття ключових фрагментів, що представляють відомчий інтерес. Даний метод базується на наступних особливостях: проводиться ідентифікація закритих структурних одиниць базового кадру в загальному кодовому потоці на основі використання встановлених міток і взаємної узгодженості вимог щодо формування кодових конструкцій; диференційованого оброблення структурних одиниць в процесі відновлення базових кадрів з урахуванням наявності механізму криптографічного шифрування значущих фрагментів.

Основні практичні результати:

1. Для розробленого методу досягається приховування до 90% семантично значущих областей відеодокументів, що представляють оперативний інтерес, а це забезпечує виконання відомчих вимог щодо конфіденційності відеоінформаційного потоку. При цьому приховуванню підлягає від 40% до 80% структурних одиниць базового відеокадру в залежності від його семантичної складності.

2. Для розробленого методу закриття відеопотоку формату Full HD в разі, коли забезпечується нижній рівень пікового відношення сигнал/шум, досягається значення пропускної здатності закритого відеоканалу 381 Мбіт/с. При цьому забезпечується виконання вимог щодо оперативності передавання відеоінформаційного ресурсу в єдиній відомчій цифровій телекомунікаційній мережі для низькошвидкісних каналів зв'язку.

3. Для розробленого методу закриття відеопотоку формату Full HD в разі, коли забезпечується верхній рівень пікового відношення сигнал/шум, пропускна спроможність закритого відеоканалу становить 407 Мбіт/с (25,6 кадрів/с в перерахунку на вихідний відеопотік) і 397, 5 Мбіт/с (24,9 кадрів/с в перерахунку на вихідний відеопотік) для відео допустимої якості. Це дозволяє виконати відомчі вимоги щодо оперативності передавання в умовах підвищеної частоти кадрів. При цьому якість відновлених відеоданих вище, ніж при використанні інших методів приховування.

4. Для розробленого методу на основі селекції значущих структурних одиниць базового відеокадру пропускна спроможність закритого відеоканалу

підвищується в середньому на 53% у порівнянні з пропускнуою спроможністю закритого відеоканалу в разі використання відомих методів кодування відеоданих з подальшим їх шифруванням, і підвищується на 40% в порівнянні з пропускнуою спроможністю закритого відеоканалу в разі застосування існуючих методів на основі селекції всіх структурних одиниць базового відеокадру.

Достовірність отриманих результатів підтверджується їх адекватністю відносно підвищення пропускнуої спроможності закритого відеоканалу і забезпечення необхідного рівня конфіденційності та достовірності відомчої відеоінформації, яка отримується в процесі експериментальної експлуатації відомих технологій щодо відеоінформаційного забезпечення в рамках співставлення з теоретичними даними на основі моделювання; експертними оцінками щодо аналізу відеодокументів на предмет наявності незакритої інформації, яка представляє відомчий інтерес і можливості її несанкціонованого вилучення.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Власов А.В. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. / А.В. Власов, В.В. Лукин, Д.И. Комолов // Радиоэлектроника и информатика. – 2013. – № 2. – С. 44 – 48.
2. Комолов Д.И. Анализ состояния видеoinформационного обеспечения органов и подразделений Министерства внутренних дел Украины / Д.И. Комолов, С.А. Сидченко // Сучасна спеціальна техніка. – 2014. – № 2. – С. 36 – 44.
3. Баранник В.В. Методология селективной защиты видеопотока по базовым кадрам / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, Д.И. Комолов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2014. - № 6. - С. 69-57.
4. Баранник В.В. Селективный метод шифрования видеопотоку в телекоммуникационных системах на основе приховування базового I-кадру / В.В. Баранник, Д.І. Комолов, Ю.М. Рябуха // Наукоємні технології. – 2015. – № 2. - С. 69-77.
5. Баранник В.В. Метод защиты видеoinформации в энергоэффективных телекоммуникационных системах / В.В. Баранник, Д.И. Комолов, Р.В. Тарнополов // Открытые компьютерные информационные интегрированные технологии. – 2015. - №70. – С. 131-141.
6. Баранник В.В. Метод суміщення кодової конструкції енергетично значимої структурної одиниці з вимогою методу блокового симетричного шифрування для закриття поточкових відеоданих на основі технології внутрікадрової селекції / В.В. Баранник, Д.І. Комолов // Наукоємні технології. – 2016. – № 1. - С. 39-47.
7. Комолов Д.І. Метод захисту низькочастотних складових в алгоритмі кодування JPEG / Д.І. Комолов, В.В. Ларін, Д.С. Гаврилов, К. Ялівець // Системи обробки інформації. – 2015. – №9. – С. 121 – 123.
8. Баранник В.В. Метод селективной обработки базового кадра для повышения пропускнуої способности закрытого видеоканала в ведомственных системах / В.В. Баранник, Д.И. Комолов // Системи обробки інформації. – 2016. - №5(142). – С. 105 – 114.
9. Баранник В.В. Технология селекции значимых объектов кадра для защиты видеопотока в системах управления критическими ситуациями / В.В. Баранник,

Д.И. Комолов, А.В. Тарасенко, А.П. Мусиенко // АСУ и приборы автоматики. – 2015. - №170.

10. Комолов Д.И. Технология формирования кодовой конструкции для селективного метода обработки видеоданных // Радиоэлектроника и информатика. – 2015. – №4.

11. Рябуха Ю.Н. Анализ эффективности технологий шифрования в процессе формирования видеопотока / Ю.Н. Рябуха, Д. И. Комолов, Р.В. Тарнополов // The 4th International Scientific Conference "ITSEC" (Київ, 20 – 23 травня 2014 р.) / Національний авіаційний університет, Київ, 2014. – С. 60.

12. Рябуха Ю.Н. Пути повышения информационной безопасности ресурсов в системах специального назначения / Ю.Н. Рябуха, В.В. Баранник, А.Е. Бекиров, Д.И. Комолов // Четверта міжнародна науково-практична конференція ["Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія"], (Вінниця, 28 – 30 травня 2014 р.) / Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2014. – С. 151.

13. Рябуха Ю.Н. Метод обработки потока кадров для повышения безопасности видеoinформации / Ю.Н. Рябуха, В.В. Баранник, Д.И. Комолов // V Міжнародна науково-практична конференція ["Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія " (ІТКІ-2015)] (Івано-Франківськ – Ворохта – Вінниця, 27 – 29 травня 2015 р.) / Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, 2015. – С. 47-48.

14. Barannik V. A methodology of video stream selective protection by reference frames / V. Barannik, Dmitry Komolov, Yu. Ryabukha, R. Tarnopolov // // The XIIIth International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2015 (24-27 February 2015 Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine). – P. 29-31.

15. Баранник В.В. Методология селективной защиты видеопотока по базовым кадрам для ведомственных систем / Баранник В.В., Комолов Д.И., Тарнополов Р.В., Отман Шади О.Ю. // Науково-технічна конференція ["Інформаційна безпека України"] / Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 12-13 березня 2015 р. - С. 25

16. Бекиров А.Е. Спосіб компресії зображень в інфокомунікаціях на основі кодування кортежів / А.Е. Бекиров, В.В. Бараннік, С.В. Туренко, Д.І. Комолов // VI Международной научно-практической конференции ["Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії "], (Харків, 17 - 18 квітня 2014 р.) / Харьковский национальный экономический университет, Харьков, 2014. – С. 233.

17. Бекиров А.Э. Способ обработки потока кадров с предсказанием для систем телекоммуникаций / А.Э. Бекиров, Н.А. Харченко, Д.И. Комолов // Науково-методична конференція ["Сучасні проблеми телекомунікації і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2014"] / Національний університет "Львівська політехніка", - 1-4 листопада 2014р. - С. - 117-118.

18. Туренко С.В. Спосіб компресії зображень в інфокомунікаціях на основі кодування кортежів / С.В. Туренко, В.В. Бараннік, А.Є. Бекиров, Д.І. Комолов // VI Международной научно-практической конференции ["Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії "], (Харьков, 17 - 18 апреля 2014 р.) / Харьковский национальный экономический университет, Харьков, 2014. – С. 233.

19. Баранник В.В. Модель представления усеченной трансформанты для обработки в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, С.В. Туренко, Д.И. Комолов // XXII Міжнародна науково-практична конференція [“Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я ”], (Харків, 21 - 23 травня 2014 р.) / Національний технічний університет «ХПІ», Харків, 2014. – С. 41-42.

20. Barannik V. A Methodology of video stream selective protection by reference frames / V. Barannik, Dmitry Komolov, Yu. Ryabukha, R. Tarnopolov // // The XIIIth International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2015 (24-27 February 2015 Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine). – P. 29-31.

21. Barannik V. V. Methodological basis for determining the energy significance of the structural unit of a video frame based on the estimation of low-frequency components of the matrices of the DCT blocks of the luminance component / V.V. Barannik, Dmitry Komolov, A.P. Musienko, R.V. Tarnopolov // XIVth International Conference [“Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2016 ”], (Lviv-Slavske, Ukraine, February 22 – 26, 2016) / Lviv-Slavske: 2016. – P. 572 – 574.

22. Komolov Dm. Assessment of Video Information Resource Security of Videoconferencing in Public Administration/ Dm. Komolov, T. Saprykina, A. Vlasov, S. Sidchenko // International Symposium «IEEE East-West Design & Test», (Kiev, Ukraine, September 26–29, 2014) / Kiev: 2014. – P. - 329 – 331.

23. Komolov D. Selective method for hiding of video information resource in telecommunication systems based on encryption of energy-significant blocks of reference I-frame / D. Komolov, D. Zhurbynskyy, O. Kulitsa // 1st International Conference «Advanced Information and Communication Technologies-2015, AICT'2015» (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1) / Lviv: 2015. – P. 80 – 83.

## АНОТАЦІЯ

**Комолов Д.І. «Метод підвищення пропускної здатності закритого відеоканалу для відомчих інфокомунікаційних систем».** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2016.

Дисертацію присвячено розв’язанню важливого завдання, пов’язаного з підвищенням пропускної спроможності закритого відеоканалу для відомчих інфокомунікаційних систем. Основні результати роботи полягають в розробленні методу підвищення пропускної спроможності закритого відеоканалу, який побудований за принципом автоматичної селекції значущих фрагментів відеопотоку на основі каскадних вирішальних правил з використанням інтегрованих оцінок значущості макроблоків структурних одиниць базових кадрів, а також узгодження особливостей формування кодових конструкцій відповідно для значущих структурних одиниць кадру і блочного симетричного шифрування без внесення додаткової надмірності. Для цього створено метод виявлення значущих фрагментів відеокадру на основі аналізу інформації в трансформанті двовимірного дискретного косинусного перетворення. Відмінні характеристики методу полягають у визначенні енергетичної значущості для структурних одиниць

базового кадру відеопотоку з урахуванням каскадних порогових оцінок інтегрованих по всьому трансформованому макроблоку. Це дозволяє створити умови для зниження інтенсивності відеопотоку і збереження семантичної інформації про об'єкти інтересу.

Створено метод реконструкції закритого відеоінформаційного потоку на основі селективної обробки. Відмінними рисами цього методу є те, що проводиться ідентифікація закритих структурних одиниць базового кадру в загальному кодовому потоці на основі використання встановлених міток та диференційованої обробки структурних одиниць в процесі відновлення базових кадрів.

Побудовано метод оцінки інформаційної інтенсивності закритого відеопотоку. Даний метод базується на тому, що: криптографічному захисту всього відеопотоку підлягають тільки значущі структурні одиниці базового кадру, звідси приріст за інтенсивністю не перевищує 7%; враховується ключовий вплив структурних одиниць базового кадру на процес формування передбачених кадрів відеопотоку.

**Ключові слова:** відомча інфокомунікаційна система, закритий відеоканал, відомчі вимоги, пропускна спроможність, значуща структурна одиниця, селективне шифрування.

## АННОТАЦИЯ

**Комолов Д.И. «Метод повышения пропускной способности закрытого видеоканала для ведомственных инфокоммуникационных систем».** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. - Национальный университет «Львівська політехніка», Львов, 2016.

Диссертация посвящена решению важной задачи, связанной с повышением пропускной способности закрытого видеоканала для ведомственных инфокоммуникационных систем. Основные результаты работы заключаются в разработке метода повышения пропускной способности закрытого видеоканала. Отличительные особенности метода заключаются в: автоматической селекции значимых фрагментов видеопотока только по базовому кадру с использованием каскадных решающих правил в спектральном пространстве; дифференцированной обработке базового кадра с учетом выявления и закрытия значимых структурных единиц; согласовании кодовых конструкций значимых структурных единиц кадра с условиями блочного симметричного шифрования без внесения избыточности. Это обеспечивает повышение пропускной способности видеоканала с учетом ведомственных требований относительно конфиденциальности и качества видеоинформационного потока.

Создан метод выявления значимых фрагментов кадра на основе анализа информации в трансформанте двумерного дискретного косинусного преобразования. Отличительные характеристики метода заключаются в определении энергетической значимости для структурных единиц базового кадра видеопотока с учетом каскадных пороговых оценок интегрированных по всему трансформированному макроблоку. Это позволяет создать условия для снижения

интенсивности видеопотока и сохранения семантической информации об объектах интереса.

Впервые создан метод реконструкции закрытого видеоинформационного потока на основе внутрикадровой селекции ключевых компонент кадра. Отличие данного метода от существующих заключается в том, что дешифрование проводится в процессе восстановления с учетом идентификации закрытых структурных единиц базового кадра в общем кодовом потоке на основе использования установленных меток и взаимной согласованности требований относительно формирования кодовых конструкций. Это позволяет обеспечить требуемое качество ведомственного видеоинформационного сервиса для закрытых информационных ресурсов.

Впервые разработан метод оценки информационной интенсивности закрытого видеопотока на основе выявления семантически значимых фрагментов базового кадра. Отличительные характеристики метода состоят в том, что интенсивность битового потока оценивается на основе того, что криптографической защите подлежат только значимые структурные единицы базового кадра с учетом степени их влияния на характеристики интенсивности и конфиденциальности предсказываемых кадров видеоинформационного потока. Это позволяет провести оценку пропускной способности закрытого видеоканала с учетом обеспечения ведомственных требований относительно качества видеосервиса.

**Ключевые слова:** ведомственная инфокоммуникационная система, закрытый видеоканал, ведомственные требования, пропускная способность, значимая структурная единица, селективное шифрование.

## ABSTRACT

**Komolov D.I. «A method for increasing the capacity of the private video channel for departmental communication systems».** – On the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the Ph.D. degree in technical sciences on specialty 05.12.02 – telecommunication networks and systems. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2016.

Dissertation is devoted to the challenging task of increasing the capacity of the private video channel for departmental communication systems. The main results of the work are to develop a method to improve the capacity of the private video channel. Distinctive features of the method are as: automatic selection of significant fragments of the video stream only for the basic frame using cascading decision rules in the spectral space; differentiated treatment of the base frame with a view of identifying and closing significant structural units; harmonization code constructions of significant structural frame units with the conditions of block symmetric encryption without making redundancies. This provides increased bandwidth of video channel based on departmental requirements regarding privacy and the quality of video information stream.

To reduce the intensity of the video data created by the method of closed-identified fragments of the relevant frame by analyzing the information in the two-dimensional transform of the discrete cosine transform. Distinguishing features of the method are to

determine the significance of the energy for the structural units of the base frame of the video stream based on cascade threshold assessment integrated throughout the transformed macro block. This makes it possible to create conditions for reducing the intensity of the video stream and preserving semantic information about objects of interest.

The first time was proposed the method of reconstruction of a closed video information flow based on intra-frame selection of key components. The difference of this method from the existing is that the decryption is performed during the recovery process based on the identification of closed base frame structural units in total, based on the code stream using the established label and mutual consistency requirements concerning the formation of code constructions. This ensures the required quality of departmental video information service for private information resources.

For the first time a method was developed for estimating the intensity of the closed video information by identifying semantically meaningful fragments of the base frame. Distinguishing features of the method consists in the fact that the intensity of the bit stream is estimated, based on the fact that the cryptographic protection shall be only relevant for structural units of the base frame to the extent of their influence on the characteristics of intensity and privacy of video information streams' predicted frames. This allows a capacity assessment of the private video channels with a view to ensuring departmental requirements on the quality of video service.

**Keywords:** departmental info communication system, indoor video channel, departmental requirements, bandwidth, significant structural unit, selective encryption.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.9. Тир. 100 прим. Зам. 445-16.  
Підписано до друку 03.10.16. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.  
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30  
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру  
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.