

УДК 621.397

СПОТВОРЕННЯ В ЦИФРОВИХ ПОТОКАХ MPEG ПРИ ЗНИЖЕННІ
ТЕХНІЧНОЇ ЯКОСТІ РОБОТИ АУДІОВІЗУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

БАЛЯР В. Б.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
ДП “Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення”IMPAIRMENTS IN MPEG DIGITAL STREAMS DURING TECHNICAL
QUALITY DEGRADATION IN AUDIOVISUAL SYSTEM

BALIAR V. B.

Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S. Popov
SE “Ukrainian scientific-research institute of radio and television”

Анотація. В статті наведено результати досліджень в напрямку аналізу спотворень на рівні цифрового відеопотоку MPEG, що можуть виникати під час передавання через тракти аудіовізуальних систем, та побудови класифікації з визначенням наслідків проявів спотворень. Також запропоновано систему параметрів, що характеризують ступінь спотворень відеопотоку MPEG в просторовій та часовій областях за передавання через тракт аудіовізуальної системи.

Abstract. In article characterization of impairments at MPEG video stream level that can arise up during transmission through path of audiovisual system is first given, and classification with determination of consequences of impairments is built. Also system of parameters that characterize the degree of impairments of MPEG video stream in spatial and time domains during transmission through the path of digital TV broadcasting system is proposed.

ВСТУП

Поточний стан розвитку систем цифрового телевізійного мовлення призвів до того, що на сьогоднішній час оброблення сигналу в тракті адаптації до каналу мовлення представляє значну складність, яка безперервно зростає. Це дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів системи (радіочастотного ресурсу, ресурсу мультиплексу, енергетичного ресурсу тощо). При цьому окрім переваг ускладнення процесу оброблення є притаманною і низка потенціальних недоліків, серед яких можливо виділити такі:

- неоптимальний підбір конфігурації системи може привести до зниження ефективності використання ресурсу та, відповідно, до ефективності системи в цілому;
- складність системи призводить до того, що ускладнюється виявлення, контроль та виправлення помилок (й не тільки бітових, але й будь-яких інших).

Перший недолік особливо проявляється в системі цифрового наземного телевізійного мовлення другого покоління (DVB-T2), в якій неоптимальний підбір складу кадру системи призводить до цілого ряду наслідків – частину ресурсу мультиплексу використовують для доповнення нульовими даними, а це приводить до зниження ефективності використання ресурсу мультиплексу, знижується ефективність підсистеми перемежування внаслідок того, що процедура перестановки здійснюється для меншого блоку даних.

Внаслідок того, що в сучасних системах цифрового мовлення оброблення здійснюється на різних шарах моделі взаємодії відкритих систем (OSI, Open System Interconnection), контролювати рівень помилок необхідно на всіх рівнях. Недостатній контроль рівня цих помилок може привести до того, що не виправлені помилки на одному рівні будуть переходити на інший рівень системи та викликати виникнення певних спотворень.

У разі накопичення значної кількості таких помилок ускладнюється аналіз причин їх виникнення та процес виявлення джерела помилок. Саме тому звичайно в системах цифрового телевізійного мовлення для моніторингу якості функціонування системи використовують підхід, за якого контроль рівня спотворень здійснюють на різних рівнях системи – фізичному рівні, рівні мультиплексування/демультиплексування MPEG, рівні кодування/декодування аудіо- та відеосигналів MPEG тощо. Враховуючи те, що на кожному з цих рівнів спотворення проявляються по-різному, існує задача визна-

чення видів спотворень, що можуть виникати на кожному з рівнів, і параметрів, що можуть бути використані для оцінки рівня цих спотворень в найбільш ефективний спосіб.

У цифрових системах передавання аудіовізуальної інформації, до яких відносять і системи цифрового телевізійного та мультимедійного мовлення, виникає пороговий ефект. Для аналізу впливу порогового ефекту на якість функціонування систем цифрового телевізійного мовлення та побудови класифікації спотворень, що можуть виникати під час передавання сигналів цифрового мовлення, проведено обчислювальний експеримент.

Опис експерименту. Узагальнена структурна схема лабораторної установки, використаної для проведення дослідження з метою виявлення спотворень, що виникають при розподілі сигналів мовлення через канал мовлення, наведена на рис. 1. Експеримент полягав в наступному: при проведенні моделювання здійснювалось зчитування відеопослідовності у форматі MPEG в Matlab, звідки вона безпосередньо передавалася на вхід математичної моделі системи цифрового телевізійного мовлення DVB-T2, оброблення в якій відповідає [1, 2]. В процесі подальшого оброблення проводилась фрагментація відеопотоку MPEG з введенням в корисне навантаження пакета транспортного потоку MPEG-2 довжиною 184 байти.

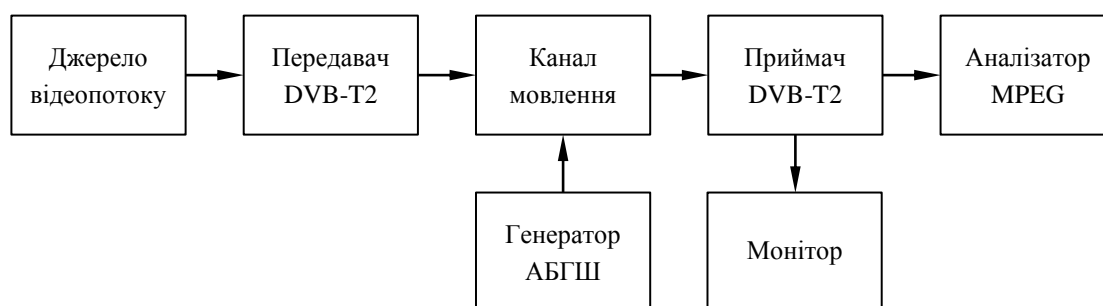


Рисунок 1 – Схема випробувань для оцінки спотворень цифрового потоку MPEG в каналі

Для моделювання вибрано канал з АБГШ, тому як характер помилок, що виникають при передаванні відеозображення, практично не залежить від типу каналу та може бути охарактеризовано за допомогою параметра коефіцієнта помилок бітів (BER) після зовнішнього каналного декодера.

Для проведення аналізу спотворень застосовувались спеціалізоване програмне забезпечення, що входить до складу набору програмних кодеків MPEG. Це програмне забезпечення, що встановлено на персональному комп'ютері, використовувалось на сервері відеоархіву для формування відеопослідовностей з різними GOP та в аналізаторі MPEG. Додатково для проведення аналізу відеозображень на виході демультиплексору та візуалізації результатів використано програмний код, що його розроблено в середовищі Matlab.

Передавання відеопослідовності повторювалося 7 разів при різних відношеннях C/N в каналі мовлення, за яких величина BER після зовнішнього декодера відповідає таким: $BER \approx 0.5 \cdot 10^{-1}$, $BER \approx 1 \cdot 10^{-2}$, $BER \approx 1 \cdot 10^{-3}$, $BER \approx 1 \cdot 10^{-4}$, $BER \approx 1 \cdot 10^{-5}$, $BER \approx 1 \cdot 10^{-6}$ та $BER \approx 1 \cdot 10^{-7}$. Залежності BER після зовнішнього каналного декодера від відношення C/N для системи DVB-T2, використані під час цього дослідження, подано в [3].

Опис відеопослідовностей. Під час моделювання розподілу аудіовізуальної інформації через безпроводовий канал використано набір відеопослідовностей, узагальнені параметри яких наведено у табл. 1.

Враховуючи те, що додатково проводилось дослідження спотворень, якщо притаманні відеопослідовностям з різною структурою групою кадрів (GOP) стандарту MPEG, для моделювання використовувались відеопослідовності з однаковим сюжетом та різними структурами GOP.

Параметри GOP відеопослідовностей визначено в табл. 2. Кожній з відеопослідовностей надано унікальне позначення, що й було використовувано надалі в цьому дослідженні. Для проведення дослідження вихідну відеопослідовність закодовано методом MPEG з використанням тільки внутрішньокадрового стиснення (без передбачення) та додатково з різними режимами передбачення (однонаправленим та двонаправленим передбаченням).

Відеопослідовності з застосуванням однонаправленого передбачення (відеопослідовності 2–6 таблиці 2) обрано з різною довжиною GOP (інтервалом між опорними кадрами – I-кадрами), що уможливило визначити залежність рівня спотворень від довжини GOP за умов впливу спотворень в каналі мовлення та виявити спотворення, що є притаманними режимам з однонаправленим передбаченням. Для відеопослідовностей 2–4 довжина GOP відповідає двом (I1P), десяти (I9P) та сорока шести (I45P) кадрам відповідно. Загальна кількість кадрів у відеопослідовності відповідає 527 кадрам.

Таблиця 1 - Параметри відеопослідовностей при моделюванні

Назва	Параметр	Значення
BBC-concert	Кількість рядків	576
	Кількість елементів зображення в рядку	720
	Вид розгортки	прогресивна
	Кількість кадрів в секунду	25
	Тривалість відеосцени, с	≈ 21
	Метод стиснення відео	MPEG
	Швидкість цифрового потоку на виході кодера відео, Мбіт/с	4
	Метод стиснення аудіо	MPEG-1
	Швидкість цифрового потоку на виході кодера аудіо, кбіт/с	128
	Загальна швидкість цифрового потоку, Мбіт/с	4,5

Відеопослідовності з застосуванням двонаправленого передбачення (відеопослідовності 5–8 таблиці 2) обрано з різною довжиною GOP (інтервалом між опорними кадрами – I-кадрами), що дозволить визначити залежність рівня спотворень від довжини GOP за умов впливу спотворень в каналі мовлення та виявити спотворення, що є притаманними режимам з двонаправленим передбаченням. Для відеопослідовностей 5–8 довжина GOP відповідає чотирьом (I2BP), семи (I5BP), сімнадцяти (I15BP) та сімдесяти семи (I75BP) кадрам відповідно. Загальна кількість кадрів в відеопослідовності є змінною та відповідає 631 (відеопослідовності 5–6) та 527 (відеопослідовності 7–8) кадрам при приблизно однаковій тривалості.

Результати експерименту. Як результат проведеного експерименту проаналізовано спотворення сигналів аудіовізуальних служб, базованих на використанні стандартів MPEG, та основі цього аналізу побудовано класифікацію, що її надано на рисунку 2.

Таблиця 2 - Параметри відеопослідовностей, використовуваних під час моделювання

№	Позначення	Фрагмент структури GOP	Співвідношення кількості кадрів різних типів в GOP, %			Загальна кількість кадрів в GOP
			I-кадри	P-кадри	B-кадри	
1	I	III...	100	-	-	527
2	I1P	I P I P I P I P...	51	49	-	
3	I9P	I P P P P P P P P...	63	463	-	
4	I45P	I P P P P P P P P...	5	95	-	
5	I2BP	I B B P B B P...	7	30	63	631
6	I5BP	I B B B B B P...	16	15	69	
7	I15BP	I B B B B B B B B...	8	7	85	527
8	I75BP	I B B B B B B B B...	4	4	92	

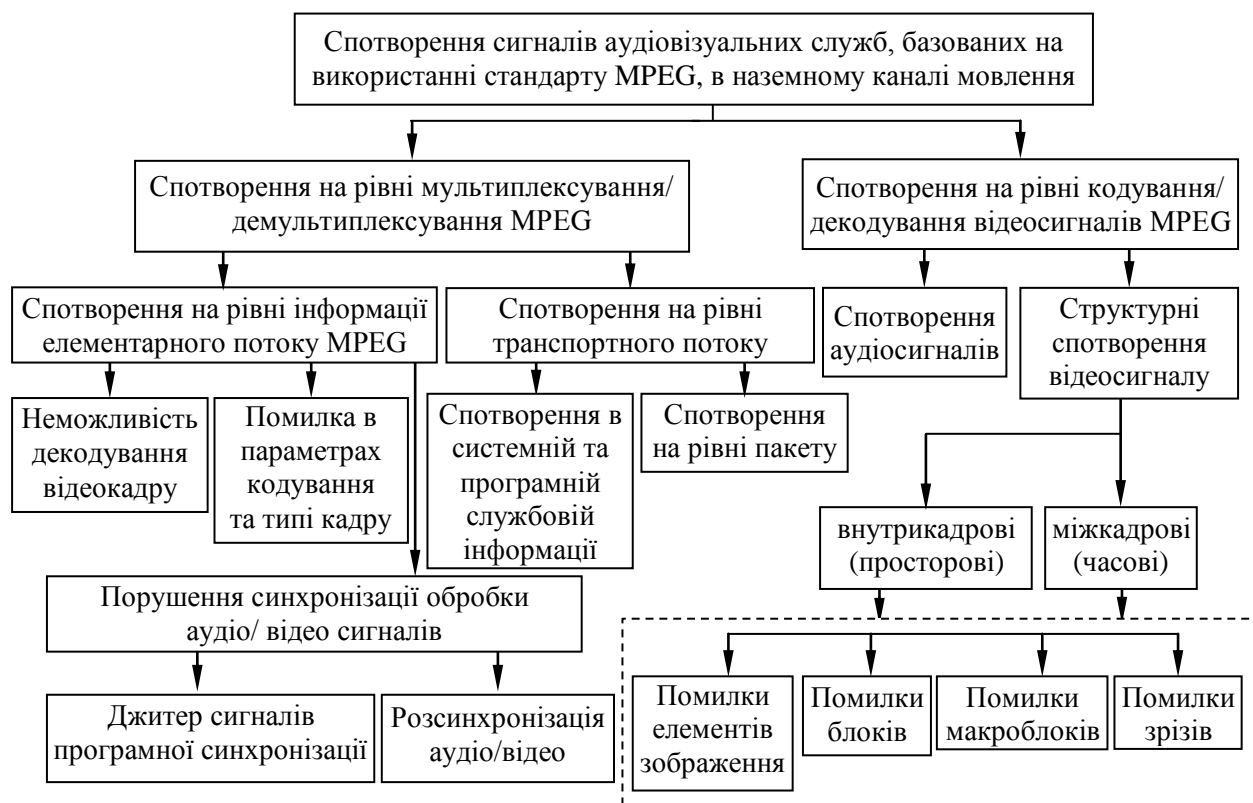


Рисунок 2 – Класифікація спотворень під час розподілу потоків MPEG

СПОТВОРЕННЯ НА РІВНІ КОДУВАННЯ/ДЕКОДУВАННЯ ПОТОКІВ MPEG ПРИ ЗНИЖЕННІ ТЕХНІЧНОЇ ЯКОСТІ

У ході проведення експерименту виявлено, що спотворення на рівні кодування/декодування відеосигналів MPEG виникають у тому разі, якщо під час кодування/декодування відеосигналів чи аудіосигналів MPEG пошкоджено безпосередньо кодований чи декодований контент відеозображення або відповідну інформацію звукового супроводу, та це заважає відновленню оригінальних сигналів.

Спотворення сигналів звукового супроводу. Спотворення сигналів звукового супроводу проявляються в перериванні відтворення сигналів звукового супроводу та виникненні різких звуків, подібних до металевого скреготіння. Це призводить до різкого випадкового зміння рівня гучності звукового сигналу.

Також спотворення можуть проявлятися у виникненні додаткової затримки між сигналом зображення та звукового супроводу, однак враховуючи те, що ці спотворення викликані в значною мірою помилками в системі синхронізації, їх буде розглянуто в відповідному розділі.

Структурні спотворення відеосигналу. На відеозображенні спотворення цього типу проявляються в ефекті “розсипання” зображення на окремі структурні елементи. При цьому внаслідок невірної декодування одного чи декількох значень сигналів яскравості та/чи кольорорізницевого сигналу на окремих кадрах або групі кадрів буде виникати спотворення кольору або зміння яскравості в окремих елементах ієрархічної структури відеопослідовності (рисунок 2): в елементах зображення, в блоці розміром 8×8 елементів зображення, макроблоці розміром 16×16 елементів зображення або в зрізі розміром 16×576 елементів зображення (у випадку сигналів телебачення стандартної чіткості). Приклад проявлення такого спотворення, яке можна називати внутрішньо-кадровим структурним спотворенням, наведено на рис. 3.

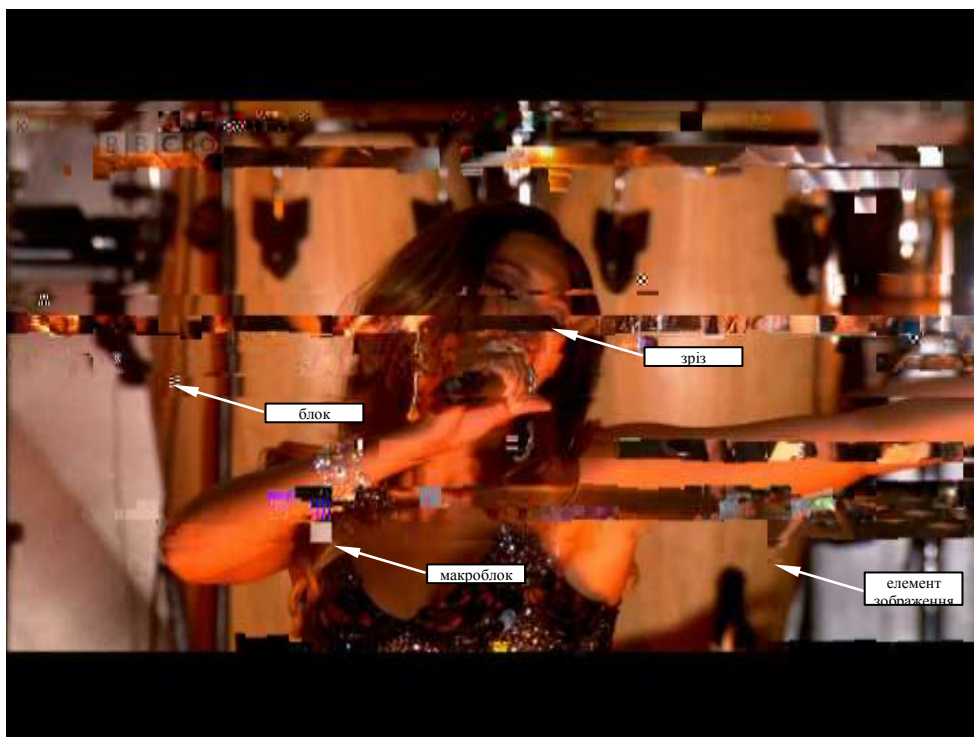


Рисунок 3 – Прояв порогового ефекту в порушенні структурності зображення на різних рівнях ієрархії MPEG

При цьому характер і причини виникнення структурних спотворень також залежить від застосовного режиму передбачення - однонаправленого чи двонаправленого передбачення. У випадку використання однонаправленого передбачення виникнення помилок може бути викликано спотвореннями в I-кадрі, за яким здійснюється відновлення поточного P-кадру. Під час двонаправленого передбачення помилка в елементі зображення, блоці, макроблоці чи зрізі може виникнути внаслідок наявності помилок в I- чи P-кадрах, по яких відновлюють B-кадри.

Це проілюстровано на рис. 4, на якому наведено опорний I-кадр (рис. 4, а) та два P-кадри (рисунки 4, б та 4, в), що відновлено за опорним кадром з помилками у відеопослідовності ІЗР. В цьому разі спотворення, що виникають, можливо позиціонувати як міжкадрові структурні спотворення.



Рисунок 4 – Розподілення спотворень у часі в режимах з передбаченням:
а) опорний кадр з помилками, б, в) P-кадри, відновлювані з опорного кадру

Крім того, структурні спотворення проявляються в просторовому зсуві окремих ділянок зображення, представлених зрізами або групами зрізів (див. рис. 5).



Рисунок 5 – Прояв структурних спотворень у виді просторового зсуву окремих ділянок зображення у відеопослідовності I

У режимі кодування, що базується тільки на застосуванні внутрішньокадрового кодування, це спотворення буде впливати тільки на один кадр та незалежно проявлятися випадковим чином в інших кадрах. При застосуванні режиму кодування з однонаправленим чи двонаправленим передбаченням це спотворення може розповсюджуватися й на інші сусідні кадри, що використовують в процесі передбачення в межах однієї GOP.

Внутрішньокадрові та міжкадрові структурні спотворення може бути охарактеризовано ймовірністю помилки окремих структурних елементів ієрархії кодування MPEG [79]:

- ймовірність помилки елементів зображення PxER;
- ймовірність помилки блоків розміром 8×8 елементів зображення BLER;
- ймовірність помилки макроблоків MBLER;
- ймовірність помилки зрізів SLER.

Ці характеристики дозволяють оцінити ступінь проявлення спотворень, викликаних пороговим ефектом, та їх може бути використано для визначення рівня спотворень за поточних умов приймання сигналу цифрового телевізійного мовлення та нормування рівня спотворень. Окрім того, вищезгадані параметри дозволяють оцінити завадостійкість режимів кодування MPEG за різних параметрів GOP та в подальшому запропонувати методи підвищення завадозахищеності на рівні кодування MPEG та/чи визначити оптимальні методи з точки зору ефективності кодування та ступеню завадозахищеності від помилок, викликаних пороговим ефектом в цифровому телевізійному мовленні.

Кількісні оцінки PxER, BLER, MBLER та SLER для різних структур групи кадрів GOP при різних BER на вході декодера MPEG надано в [4].

СПОТВОРЕННЯ НА РІВНІ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ/ ДЕМУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ MPEG

Крім структурних спотворень, що можуть виникати під час прояву порогового ефекту, можливо виділити ще один тип спотворень, що виникають на рівні мультиплексування/ демультіплексування. Ці спотворення призводять до різних наслідків – неможливості декодування окремого чи групи відеокадрів, до невірної визначення типу відеокадру під час процесу передбачення тощо.

Відповідно до рівнів мультиплексування/демультиплексування спотворення можуть виникати:

- на рівні програмного елементарного потоку;
- на рівні транспортного потоку MPEG-2.

Спотворення на рівні транспортного потоку MPEG-2. На рівні транспортного потоку визначають службову інформацію, необхідну для відновлення окремих програмних елементарних потоків з

багатопрограмного потоку. Неможливість правильного відновлення цієї інформації може призвести до неправильного відновлення необхідного програмного потоку або до неможливості відновлення взагалі. Оцінку цього типу спотворень надано в [5].

Спотворення на рівні службової інформації елементарного потоку. На рівні програмного потоку визначають параметри кодування для кожного з елементарних потоків, всю відповідну службову інформацію, що її передають до приймача для вірного декодування. Також елементарний потік містить еталонні мітки програмного часу та інші мітки, що використовують для визначення часу відтворення кожного з відеокадрів та для синхронізації всіх етапів оброблення в декодері MPEG. У випадку, коли вищезгадану інформацію буде спотворено, це призведе до цілого ряду помилок та відповідно до часткової декодування чи не декодування елементарного і відповідно програмного потоку.

Для оцінки різних наслідків спотворень цього типу та впливу параметрів кодування на рівень спотворень доцільно використовувати такі параметри:

- ймовірність втрати відеокадру VFLR;
- ймовірність вірного декодування відеокадру VFDR;
- ймовірність втрати опорного кадру (I-FLR, Intra Frame Loss Ratio), P-кадру (P-FLR, Predicted Frame Loss Ratio), B-кадру (B-FLR, Bi-directional Frame Loss Ratio);
- ймовірність невірного визначення типу кадру TER;
- кількість помилок синхронізації (SE, Synchronization Error).

Для характеристики можливості декодування відеопотоку будемо використовувати параметр, що відповідає імовірності вірного декодування відеокадру VFDR:

$$VFDR = \left(\frac{VF_{дек}}{VF_{заг}} \right) \cdot 100 \% , \quad (1)$$

де $VF_{дек}$ - кількість декодованих відеокадрів будь-якого типу;

$VF_{заг}$ - загальна кількість відеокадрів в GOP.

Імовірність втрати відеокадру VFLR дозволить оцінити, яким чином спотворення на рівні службової інформації елементарного потоку будуть впливати на можливість декодування відеопотоку MPEG за наявності порогового ефекту незалежно від типу кадрів. Імовірність втрати відеокадру безпосередньо пов'язана з імовірністю вірного декодування відеокадру та також буде залежати від обраних параметрів кодування.

Для визначення величини VFLR будемо використовувати вираз:

$$VFLR = \left(1 - \frac{VFDR}{100} \right) \cdot 100 \% . \quad (2)$$

Параметри VFLR та VFDR будуть залежати, окрім коефіцієнта помилки бітів, також від обраних параметрів групи GOP, та, зокрема, від інтервалу між опорними кадрами, кількості декодованих опорних кадрів та кадрів, що формують під час передбачення. Для аналізу цієї залежності використувано параметр, що характеризує максимальний інтервал між опорними кадрами $I_{int\ max}$, а також I-FLR, P-FLR й B-FLR.

Внаслідок пошкодження службової інформації, що відповідає за ідентифікацію кадрів в групі GOP, може виникнути ситуація, коли за умови прояву порогового ефекту під час декодування MPEG тип кадру (I-, P- чи B-кадр) буде визначено невірно. Такий прояв спотворень може призвести до пошкодження в межах групи кадрів та появи структурних спотворень або навіть до неможливості декодування певної частини кадрів в GOP. Для визначення проценту кадрів в загальній декодованій послідовності кадрів, для яких невірно визначено тип (головним чином в цьому разі появляється тип кадру, що його не застосовували під час кодування) будемо використовувати параметр, що відповідає ймовірності невірного визначення типу кадру (TER):

$$TER = \left(\frac{T_{ном}}{VFDR} \right) \cdot 100 \% , \quad (3)$$

де $T_{ном}$ - кількість декодованих кадрів, для яких невірно визначено тип.

У транспортному та елементарному потоках різні сигнали синхронізації, призначені для забезпечення синхронності проведення різних операцій в приймачі цифрового телебачення – демультіплексування та декодування аудіо- та відеоінформації або інших даних. Ці сигнали передають через певний інтервал для визначення, наприклад, часу декодування того чи іншого кадру. В разі пошкодження цих сигналів оброблення прийнятих сигналів буде неможливим або обмеженим. Для ідентифікації виникнення таких подій будемо використовувати параметр, що відповідає кількості помилок синхронізації.

Кількісну оцінку параметрам VFLLR/ VFDR, імовірності втрати кадрів MPEG різних типів, TER та SE за різних структур групи кадрів GOP при змінній коефіцієнта BER надано в [4, 6].

ВИСНОВОК

Як результат досліджень проведено поглиблений аналіз прояву порогового ефекту, що виникає в каналі цифрового наземного телевізійного мовлення, на різних рівнях ієрархії кодування MPEG за різних умов приймання. На основі результатів аналізу побудовано класифікацію спотворень сигналів аудіовізуальних служб, що виникають при розподілі програм мовлення.

Запропоновано критерії оцінки спотворень на рівні відеопотоку MPEG з урахуванням прояву порогового ефекту на характеристики підсистеми програмного мультіплексування/демультіплексування та кодування/ декодування з усуненням надлишковості телевізійних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI EN 302 755. – Sophia, France: ETSI, 2009. – 164 p.
2. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2): ETSI TR 102 831. – Sophia, France: ETSI, 2010. – 217 p.
3. Баляр В.Б. Порівняльна характеристика систем цифрового наземного телевізійного мовлення в стандартах DVB-T/T2/ В.Б. Баляр, О.В. Гофайзен // Цифрові технології. – 2012. - № 11. – С.31–46.
4. Баляр В.Б. Оцінка погіршення характеристик системи цифрового телевізійного мовлення на рівні відеопотоку MPEG/ В.Б. Баляр // Цифрові технології. – 2011. - № 10. – С.70–78.
5. Баляр В.Б. Оцінка технічної якості функціонування системи DVB-T2 на рівні потоку MPEG-2 TS/ В.Б. Баляр // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. - № 1. – С. 85–90.
6. Баляр В.Б. Аналіз впливу спотворень в мобільному каналі на якість функціонування систем зі стисненням MPEG/ В.Б. Баляр, М.В. Мазур // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. - № 1. – С. 122–131.