

УДК 621.397

**КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТВ
МОВЛЕННЯ НА РІВНІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ**

Бальяр В. Б., Узюма К. А.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
ДП “Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення”

**CONTROL OF OPERATIONAL QUALITY OF DIGITAL TV
BROADCASTING ON TRANSPORT STREAM LEVEL**

BALIAR V. B., UZUMA K. A.

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

***Анотація.** В статті надано результати досліджень у напрямку оцінки технічної якості роботи системи цифрового кабельного телевізійного мовлення у стандарті DVB-C. Основною метою цих досліджень є аналіз методів оцінки технічної якості системи DVB-C за допомогою статистичного підрахунку помилок в транспортному потоці та встановлення відповідних технічних норм. На базі математичного моделювання дано кількісні та якісні оцінки основних показників якості функціонування системи цифрового кабельного телебачення. Для реалізації цього у середовищі математичного моделювання Matlab/ Simulink розроблено імітаційну модель тракту системи DVB-C, що відповідає базовим стандартам. У результаті досліджень вперше надано кількісну оцінку параметрам, що характеризують якість роботи систем цифрового кабельного телебачення. Отримані результати можуть бути використані під час контролю якості роботи трактів кабельного телебачення.*

***Abstract.** In article results of studies in direction of technical quality estimation of digital cable television broadcasting in DVB-C standard. Main purposes of studies are analysis of technical quality estimation methods for DVB-C system based on statistical count of errors in transport stream and determination of corresponding technical norms. For such purposes, the simulation model of DVB-C system path corresponding to baseline system specifications is implemented in Matlab/ Simulink modelling environment. As result of studies, the quantitative estimation of parameters characterizing system operational quality of digital cable television systems is provided. Obtained results can be used during control of cable television path.*

ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЯКОСТІ

Телебачення є важливим джерелом інформації для населення України, що дозволяє отримати інформацію щодо важливих суспільних, культурних, політичних та спортивних подій. Також телебачення використовують для сповіщення про виникнення стихійних лих або надзвичайних ситуацій. На сьогодні в Україні, як і в усьому світі, продовжується впровадження систем цифрового телевізійного мовлення. Тому важливим є забезпечення доступу населення до програм телевізійного мовлення як під час такого переходу, так і після нього. Це є запорукою забезпечення вільного доступу населення до інформації, виконання міжнародних зобов'язань України у сфері впровадження цифрового ТВ мовлення і гарантує захист національних інтересів у збереженні інформаційного простору під час переходу на цифрові технології.

Проте все це можливо забезпечити лише за умов дотримання технічних норм на якість роботи системи цифрового ТВ мовлення. Тому проблема забезпечення якості функціонування наскрізного тракту є вкрай важливою та актуальною проблемою в Україні та світі. Враховуючи те, що контроль якості роботи трактів цифрового телебачення може здійснюватись на різних етапах обробляння телевізійних сигналів, важливою є задача встановлення технічних норм на припустимий рівень спотворень на кожному з рівнів (на рівні РЧ сигналу, на рівні мережі цифрового мовлення, на рівні відеопотоків тощо), та, зокрема, на рівні багатопрограмного транспортного потоку.

ОЦІНКА ВИМОГ ДО РЕСУРСУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Для оцінки технічної якості роботи системи цифрового ТВ мовлення на рівні транспортного потоку важливим є аналіз використання ресурсу транспортного потоку, що дозволить встановити зв'язок між характеристиками транспортного потоку (кількістю програм в потоці, швидкості цифрового потоку, складу службової інформації тощо) та ступенем його стійкості до різного роду помилок технічним вимогам.

Під час аналізу розподілу ресурсу транспортного потоку проаналізовано п'ять різних транспортних потоків (TS, Transport Stream), що їх розподіляли в мережах цифрового ТВ мовлення різних країн. Результат узагальнення наведено в табл. 1, 2. Структура аналізованих потоків відповідала [1].

Результат узагальнення також є корисним для отримання оцінок кількісного та якісного складу багатопрограмного потоку TS з точки зору визначення типових конфігурацій та характеристик, що їх зазвичайно застосовують в різних країнах світу – ця статистика на даний час практично відсутня.

Таблиця 1 - Результат узагальнення характеристик транспортних потоків систем цифрового ТВ мовлення

Параметр	Назва транспортного потоку				
	Mux-cr	TS-demo	Odessa	Winfast	Zero
Кількість програм	4	8	10	3	8
Роздільна здатність	720×576	720×576	720×576	720×576/ 544×576/ 1920×1080	704×576/ 544×576
Кількість кадрів за секунду	25	25	25	25	25
Формат кадру	0,56	0,75	0,733	0,56	0,56
Субтитри	+	-	-	-	+
Метод стиснення відео	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-4 AVC	MPEG-2	MPEG-2
Швидкість цифрового потоку відео, Мбіт/с	4,3–6,5	15	1,4–2,4	9–20	10–15
Режим аудіо	Стерео	Стерео/ 5,1	Стерео	Стерео/ 5,1	Стерео
Частота дискретизації, кГц	48	48	48	48	48
Метод стиснення аудіо	MPEG-1	MPEG-1/ AC-3	MPEG-1	MPEG-1/ AC-3	MPEG-1
Швидкість цифрового потоку аудіо, кбіт/с	64-256	192-448	128-192	112-448	32-192
Середня швидкість транспортно-го потоку, Мбіт/с	18,1	24,1	23,03	31,4	23,3
Країна походження	Англія	Германія	Україна	Австралія	Англія
Рік запису	2008	2006	2012	2007	2006

Така статистика є корисною для встановлення вимог до розподілу ресурсу потоку TS, за якого буде забезпечуватись необхідний рівень якості роботи системи цифрового телебачення. В тому разі, якщо ресурс потоку TS буде не оптимально розподілено, тоді це може привести до погіршення суб'єктивної якості відеозображення/ звукового супроводу, а це є неприпустимим.

**ОЦІНКА ЯКОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТВ
МОВЛЕННЯ НА РІВНІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ**

Контроль на рівні потоку TS забезпечує достатню ефективність під час оцінки якості роботи системи цифрового ТВ мовлення та дозволяє оперативно виявити її суттєве погіршення внаслідок виникнення будь-яких несправностей в наскрізному тракті. Такий контроль здійснюється шляхом аналізу потоку TS на наявність в ньому помилок різних типів, що мають різну критичність під час процесу відновлення потоків окремих ТВ програм з потоку TS (ім відповідно присвоюють різний пріоритет) [2].

На сьогодні будь-які технічні норми, що дозволили б прогнозувати можливе погіршення якості роботи системи цифрового ТВ мовлення на рівні потоку TS та оцінити наскільки поточний рівень якості відповідає необхідному рівню, практично відсутні.

Таблиця 2 - Результат узагальнення розподілу ресурсу потоків TS

Параметр	Назва транспортного потоку				
	Mux-cr	TS-demo	Odessa	Winfast	Zero
Кількість відеопрограм	4	8	10	3	8
Обсяг ресурсу потоку TS для відеопрограм	75,39	64,4	84,5	78,93	74,66
Кількість аудіопотоків	5	16	10	4	15
Обсяг ресурсу потоку TS для аудіопрограм	5,49	6,1	7,76	4,1	8,03
Кількість потоків даних	2	0	0	0	5
Обсяг ресурсу потоку TS для додаткових даних	0,04	0	0	0	0,1
Обсяг ресурсу потоку TS для службової інформації та нуль-пакетів	19,08	29,50	8,25	16,99	17,21
Кількість таблиць службової інформації	7	7	6	7	8

Для визначення вимог до якості роботи системи цифрового ТВ мовлення на рівні потоку TS проведено обчислювальний експеримент, за якого дано кількісні та якісні оцінки, надані нижче. Під час експерименту використано математичну модель системи цифрового кабельного телевізійного мовлення в стандарті DVB-C та інформацію щодо її характеристик, отриманих в [3]. Обчислювальний експеримент повторено для шістьох транспортних потоків, параметри та розподіл ресурсу для чотирьох з яких надано в табл. 1, 2. Під час дослідження здійснювалось передавання відповідного потоку TS через канал з адитивним білим гауссівським шумом (АБГШ) при різних відношеннях сигнал/шум (використано відношення, за яких коефіцієнт помилок бітів BER відповідав величині від $10^{-1} \dots 10^{-6}$). Після цього проводився аналіз транспортного потоку на предмет виявлення помилок відповідного пріоритету та візуальний контроль декодування певної ТВ програми з прийнятого потоку TS.

Достовірність результатів дослідження перевірено порівнянням отриманих результатів з наявними даними про роботу трактів систем цифрового ТВ мовлення, що їх надано для окремих конфігурацій систем. За результатами порівняння визначено, що результати не суперечать один одному.

Для визначення граничних значень помилок різного пріоритету для формулювання пропозицій щодо технічних норм на якість роботи системи цифрового ТВ мовлення можливо використати критерій, що базується на припустимій величині коефіцієнта BER, за якого система DVB-C працює в квазі-безпомилковому режимі (QEF). В цьому випадку, якщо на вході зовнішнього декодера буде забезпечуватись $BER \approx 2 \cdot 10^{-4}$, тоді на його виході $BER \approx 1 \cdot 10^{-12}$, що відповідає режиму QEF [4].

Як результат математичного моделювання та візуального контролю декодованих ТВ програм, що їх передають в транспортному потоці, проведено узагальнення помилок в транспортному потоці з різними пріоритетами та наслідків їх виникнення (див табл. 3).

Також за результатами дослідження побудовано залежності, які характеризують якість роботи системи на рівні транспортного потоку (рис. 1...4).

На рис. 1, 2 надано частину залежностей розподілу виникнення помилок різних пріоритетів у транспортному потоці TS1 в часі від різних значень коефіцієнта BER на вході демультіплектора MPEG, що їх отримано під час моделювання.

На рис. 1...2 приведено залежності для трьох типів помилок Continuity_count_error, PAT_error та Transport_error першого та другого пріоритетів відповідно (див. табл. 3). Кількість цих помилок зі збільшенням BER зростає, що викликано більшим пошкодженням транспортного потоку. Все це буде призводити до наслідків, що їх визначено в табл. 3. При цьому загальна кількість помилок кожного з пріоритетів буде також збільшуватись, що буде призводити до суттєвого пошкодження зображення.

Таблиця 3 – Аналіз наслідків виникнення помилок у потоці TS

Пріоритет помилки	Назва помилки	Наслідки виникнення
1	TS_sync_loss	Втрата синхронізації обробка в транспортному потоці
	sync_byte_error	Помилка в синхробайті, неможливість декодування пакета транспортного потоку
	PAT_error	Пошкодження або втрата таблиці об'єднання програм (PAT)
	Continuity_count_error	Невірне демультимплексування елементарних потоків
	PMT_error	Пошкодження або втрата таблиці структури програм (PMT)
	PID_error	Декодер не зможе отримати доступ до необхідного елементарного потоку
2	Transport_error	Пакет не буде оброблений в декодері і його буде видалено
	CRC_error	Декодер відхилить пошкоджену таблицю або її секцію і буде чекати її наступного повторення
	PCR_error	Втрата синхронізації обробки в кодері або декодері
	PCR_accuracy_error	Втрата синхронізації обробки в кодері або декодері
	PTS_error	Втрата синхронізації в потоках аудіо- та відеоінформації
	CAT_error	Пошкоджена або недоступна таблиця умовного доступу (CAT)
3	NIT_error	Пошкоджена або недоступна таблиця мережної інформації (NIT)
	SI_repetition_error	Збільшиться час декодування транспортного потоку
	Buffer_error	Переповнення буфера приймача, можлива втрата даних
	Unreferenced_PID	Декодер не зможе отримати доступ до необхідного елементарного потоку внаслідок того, що PID відсутній в переліку
	SDT_error	Пошкоджена або недоступна таблиця опису служби (SDT)
	EIT_error	Пошкоджена або недоступна таблиця інформації про події (EIT)
	RST_error	Пошкоджена або недоступна таблиця статусу програми (RST)
	TDT_error	Пошкоджена або недоступна таблиця дат і часу (TDT)
	Empty_buffer_error	Недостатнє заповнення буфера приймача
	Data_delay_error	Порушення синхронізації або втрата певної частини даних

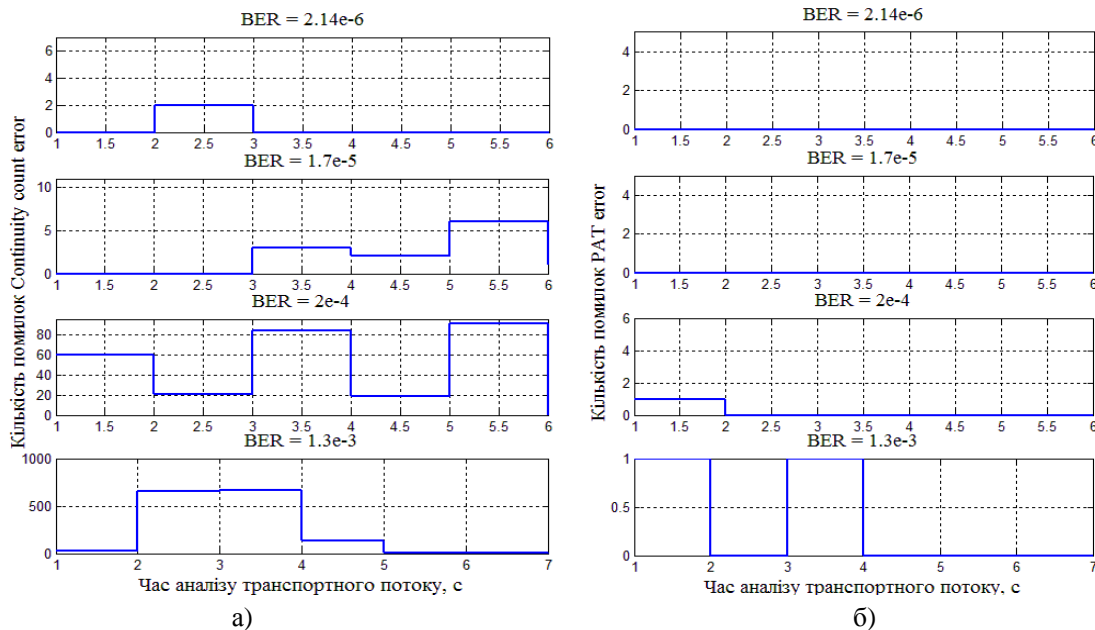


Рисунок 1 – Розподіл показника виникнення помилок в часі за різних BER в каналі мовлення для транспортного потоку TS1 для:
 а) помилка Continuity_count_error б) помилка PAT_error

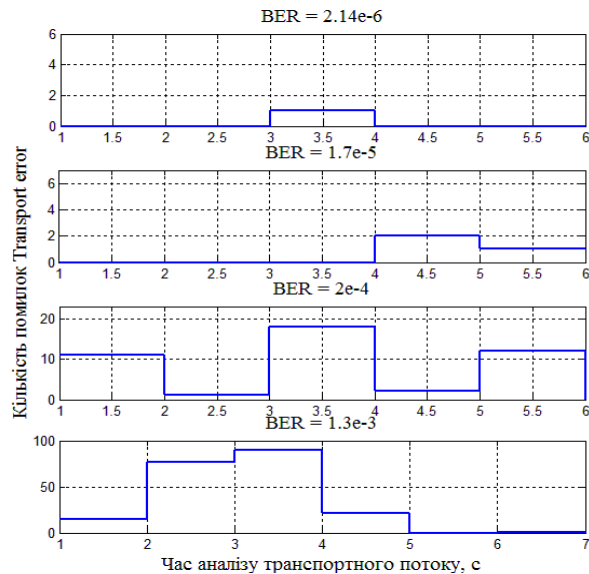


Рисунок 2 – Розподіл показника виникнення помилок Transport_error в часі за різних BER в каналі мовлення для транспортного потоку TS1

З рис. 1...2 видно, що максимальна кількість помилок кожного з типів є різною (від приблизно 600 помилок до 1–2 помилок). Це викликано періодичністю передавання відповідного елемента службової інформації. Так, наприклад, значення лічильника безперервності передають у кожному пакеті в транспортному потоці. Саме тому помилки цього типу виникають частіше, ніж інші з розглянутих типів. Рідше виникають помилки типу PAT_error, причому частота появи цих помилок викликана тим, що інформацію таблиці об'єднання програм (PAT) передають не постійно, а через певний період часу (не частіше ніж 0,5 с). Під час моделювання практично були відсутні помилки третього пріоритету, що відповідає визначеному в стандарті ETSI TR 101 290 – помилки цього пріоритету зустрічаються вкрай рідко [2].

Результати для інших шістьох транспортних потоків (TS4, TS5, TS6, TS7, TS9, TS10) наведено далі в табл. 4...5.

Під час проведення аналізу будемо визначати два типи порогових значень – кумулятивна та миттєва порогова кількість помилок кожного з пріоритетів. Миттєва порогова кількість помилок буде визначати кількість помилок, за якої виникають значні погіршення під час декодування/ відтворення зображення на екрані відеоконтрольного пристрою, що будуть призводити до зниження суб'єктивної оцінки якості [8, 9].

Кумулятивна порогова кількість помилок, яку будемо визначати шляхом додавання помилок різних типів одного пріоритету за певний інтервал часу спостереження, буде характеризувати загальну технічну якість функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення за проміжок часу спостереження. Її може бути використано для спостереження загальної динаміки змінення технічної якості функціонування з метою своєчасного попередження виникнення несправностей.

Для визначення миттєвої порогової кількості помилок будемо використовувати діаграми з часовим розподілом помилок, а для кумулятивної порогової кількості помилок – із залежністю кількості помилок відповідного пріоритету від коефіцієнта помилок бітів.

Таким чином, на базі використання критерію наявності суб'єктивного погіршення під час декодування зображення, що викликане спотвореннями в каналі мовлення, можливо стверджувати, що найбільш ефективним під час моніторингу є контроль кількості помилок першого та другого пріоритетів. При цьому, якщо кумулятивна кількість помилок другого пріоритету на інтервалі 8 с. у середньому дорівнює 249 помилок (наприклад, для пріоритету 2.1), тоді це вказує на суттєве погіршення технічної якості роботи служби цифрового телевізійного мовлення та $BER \geq 1 \cdot 10^{-3}$ - зображення буде практично не декодованим.

Таблиця 4 - Статистика виникнення помилок різних пріоритетів

Параметр	Значення										
Миттєва порогова кількість помилок відповідного пріоритету											
Назва TS	TS1				TS4			TS5			
BER	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$
Пріоритет 1.4	600	98	6	2	11000	202	2	750	200	10	2
Пріоритет 1.3	1	1	0	0	21	3	2	5	2	0	0
Пріоритет 1.1	110	20	2	1	0	0	0	65	13	1	0
Пріоритет 2.1	95	18	2	1	1800	22	1	53	9	1	0
Пріоритет 2.2	2	1	0	0	39	2	0	21	9	0	0
Пріоритет 2.6	0	0	0	0	2	0	0	18	4	0	0
Кумулятивна порогова кількість помилок відповідного пріоритету											
Пріоритет 1.4	1917	320	17	3	46635	84	4	1718	314	25	4
Пріоритет 1.3	2	1	0	0	97	3	3	7	4	0	0
Пріоритет 1.1	281	46	6	1	0	0	0	146	16	1	0
Пріоритет 2.1	229	44	4	1	5974	7	2	98	14	1	0
Пріоритет 2.2	5	2	0	0	156	1	0	52	12	0	0
Пріоритет 2.6	0	0	0	0	5	0	0	34	7	0	0
Миттєва порогова кількість помилок відповідного пріоритету											
Назва TS	TS7			TS9				TS10			
BER	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	
Пріоритет 1.4	4800	250	4	500	130	8	2	600	8	0	
Пріоритет 1.3	12	2	0	2	0	0	0	1	0	0	
Пріоритет 1.1	1600	25	3	95	17	1	0	25	1	0	
Пріоритет 2.1	850	20	2	60	14	2	0	55	1	0	
Пріоритет 2.2	17	2	0	4	2	1	0	2	0	0	
Пріоритет 2.6	29	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
Кумулятивна порогова кількість помилок відповідного пріоритету											
Пріоритет 1.4	17376	1044	12	4425	878	44	6	3791	21	0	
Пріоритет 1.3	34	6	0	4	0	0	0	2	0	0	
Пріоритет 1.1	5099	107	3	684	96	4	0	82	1	0	
Пріоритет 2.1	2912	67	2	479	62	5	0	192	1	0	
Пріоритет 2.2	49	5	0	20	7	1	0	4	0	0	
Пріоритет 2.6	85	1	0	2	2	74	0	1	0	0	

Якщо кількість протягом інтервалу спостереження є не більшою за 5 помилок другого пріоритету (див. табл. 3.2) – це свідчить про періодичне переривання в прийманні сигналу цифрового мовлення та, в принципі, є припустимим й така кількість помилок є пороговою. Однак за навіть незначного перевищення цього порогу має бути проведено детальний аналіз в напрямку виявлення можливих причин появи помилок цього типу.

Для помилок першого пріоритету порогові значення є дещо іншими – наявність приблизно $2,9 \cdot 10^3$ помилок пріоритету 1.4 свідчить про величину $BER \geq 1 \cdot 10^{-3}$, а припустимим є приблизно 38 помилок (див. табл. 3).

Середні значення виникнення помилок різних пріоритетів наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Середні значення виникнення помилок різних пріоритетів

Параметр	Значення				
	Миттєва порогова кількість помилок відповідного пріоритету				
BER	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$
Пріоритет 1.4	6366	612	169	46	2
Пріоритет 1.3	13	2	1	0	0
Пріоритет 1.1	950	73	18	1	0
Пріоритет 2.1	1136	65	15	5	0
Пріоритет 2.2	24	7	3	0	0
Пріоритет 2.6	13	5	1	0	0
	Кумулятивна порогова кількість помилок відповідного пріоритету				
Пріоритет 1.4	24169	2962	639	38	4
Пріоритет 1.3	49	3	2	0	0
Пріоритет 1.1	2646	298	66	2	0
Пріоритет 2.1	3535	249	46	3	0
Пріоритет 2.2	81	20	6	0	0
Пріоритет 2.6	37	9	2	14	0

Більша припустима (порогова) кількість помилок в останньому випадку не свідчить про меншу їх важливість під час оцінки якості функціонування служби цифрового телевізійного мовлення – наявність помилок першого та другого пріоритетів призводять до різних наслідків під час відновлення програмного та/або транспортного потоків. Більш того, необхідно зазначити, що незначне перевищення порогу щодо кількості помилок пріоритету 1 найбільш імовірно буде призводити до неможливості будь-якої успішної обробки багатопрограмного транспортного потоку взагалі (тобто усіх потоків одночасно) в той час як за аналогічної ситуації для помилок пріоритету 2 – лише до неможливості декодування певних програмних потоків або їх окремих елементарних потоків.

Оцінку наявності помилок пріоритету 3 не може бути використано для оперативного виявлення суттєвого погіршення якості приймання або функціонування мережі цифрового телевізійного мовлення. Це викликано тим, що протягом практично всього інтервалу спостереження для всіх транспортних потоків помилки цього пріоритету були відсутні.

Якщо ж говорити про миттєві порогові кількості помилок, то в середньому припустимим для помилок першого пріоритету є 2...46 помилок за одиничний інтервал спостереження, а для другого пріоритету – 3...15 помилок. За цих значень не буде спостерігатись суттєвого погіршення сприйманої якості зображення та прояв порогового ефекту буде відсутній досить тривалий час.

Однак в разі контролю якості роботи системи цифрового ТВ мовлення на рівні транспортного потоку розповсюдженою практикою є використання показників якості, що їх розраховують за допомогою кількісних оцінок виникнення подій помилок різних пріоритетів [2]:

відносного часу відсутності приймання сигналу служби (SAR)

$$SAR = \max \left(\sum_{i=1}^{N'} Q_{SAR_i}(T) - \sum_{i=1}^{N''} Q_{SAR_i}(T - \Delta T) \right); \quad (1)$$

відносного часу погіршення сигналу служби (SIR)

$$SIR = \max \left(\sum_{i=1}^{N'} Q_{SIR_i}(T) - \sum_{i=1}^{N''} Q_{SIR_i}(T - \Delta T) \right); \quad (2)$$

відносного часу порушення в роботі служби (SDR)

$$SDR = \max \left(\sum_{i=1}^{N'} Q_{SDR_i}(T) - \sum_{i=1}^{N''} Q_{SDR_i}(T - \Delta T) \right); \quad (3)$$

де $Q_{x_i}(T)$ - показник якості за одним з типів помилок, даних вище: N' - кількість помилок одного з типів протягом інтервалу T_n , N'' - кількість помилок одного з типів протягом інтервалу T_{n+1} , $\Delta T = 1$ с., n - номер поточного інтервалу для аналізу потоку, $1 \leq n \leq N_{\max}$, де N_{\max} - тривалість потоку, що його записано для аналізу.

Результат розрахунку показників SAR, SDR та SIR, що базується на результатах аналізу транспортних потоків, представлено у вигляді графічних залежностей (рис. 3...5). Ці залежності дозволяють визначити припустимі значення SAR, SDR та SIR, за яких не буде спостерігатись суттєвого погіршення якості роботи системи цифрового ТВ мовлення.

Під час аналізу часу доступності служби за критерієм, відносний час відсутності приймання сигналу служби телевізійного мовлення збільшується зі зменшенням коефіцієнта BER перед демультимплексором MPEG. При цьому при TS1 за $BER = 1,3 \cdot 10^{-3}$ значення параметра SAR, що характеризує відносний час відсутності приймання сигналу служби, відповідає 83,33 % [11].

За такого значення SAR відеопослідовність значним чином пошкоджена й практично є не декодованою. Однією з причин цього може бути неможливість відновлення окремого елементарного потоку відео з транспортного потоку внаслідок пошкодження таблиці PAT або втрати синхронізації під час приймання транспортного потоку.

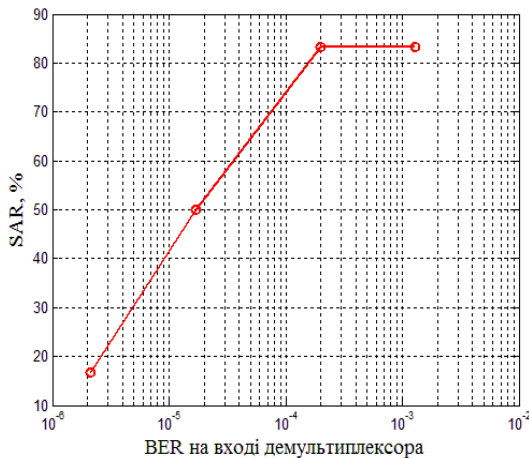


Рисунок 3 – Залежність відносного часу відсутності приймання сигналу служби від BER в каналі мовлення для транспортного потоку TS1

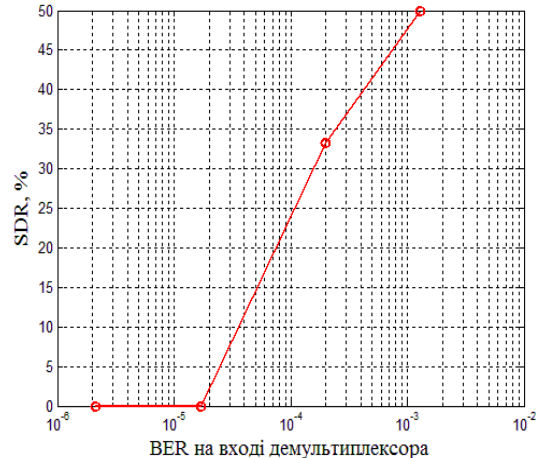


Рисунок 4 – Залежність відносного часу порушення в роботі служби від BER в каналі мовлення для транспортного потоку TS1

Ще однією причиною цього може бути пошкодження або втрата таблиці PMT, що фактично означає метод декодування окремих елементарних потоків. Зі зменшенням BER видимі спотворення на зображенні зменшуються та практично несуттєві. У цьому разі значення SAR відповідає 16,67 %.

Аналогічна ситуація спостерігається і для параметрів SDR (відносного часу порушення в роботі служби) і SIR (відносного часу погіршення сигналу служби). При збільшенні BER значення SDR й SIR змінюються від 0 до 50 % й від 16,67 до 83,33 % відповідно, що відображалось на зображенні періодичним перериванням в прийманні та декодуванні сигналу служби.

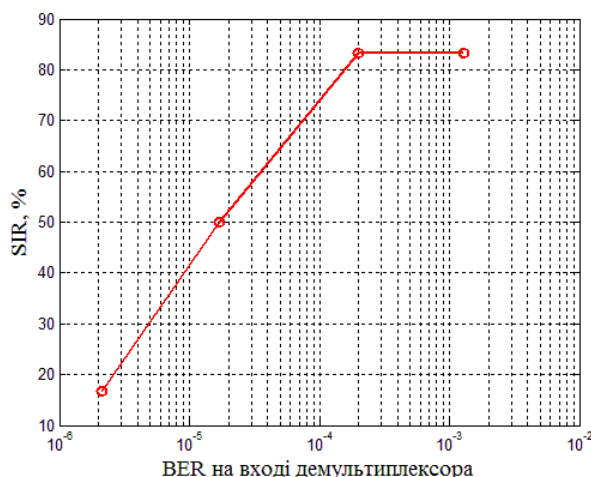


Рисунок 5 – Залежність відносного часу погіршення сигналу служби від BER в каналі мовлення для транспортного потоку TS1

Кожен з досліджуваних транспортних потоків має різні характеристики та структуру (див. табл. 1, 2). Внаслідок цього спостерігаються певні відмінності в отриманих оцінках для SAR, SDR та SIR. Результати аналізу для інших потоків наведено в табл. 6...9.

Таблиця 6 – Значення SAR для різних транспортних потоків

BER	SAR						
	TS1	TS4	TS5	TS6	TS7	TS9	TS10
$2.14 \cdot 10^{-6}$	16.67	22.22	0	20	16.67	0	0
$1.7 \cdot 10^{-5}$	50	44.44	20			36.36	14.29
$2 \cdot 10^{-4}$	83.33		60		83.33	81.82	
$1.3 \cdot 10^{-3}$	83.33		60			90.91	71.43
$1.4 \cdot 10^{-2}$		77.78		100	66.67		

Таблиця 7 – Значення SDR для різних транспортних потоків

BER	SDR						
	TS1	TS4	TS5	TS6	TS7	TS9	TS10
$2.14 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0	0	0	0
$1.7 \cdot 10^{-5}$	0	66,67	0			9,091	0
$2 \cdot 10^{-4}$	33,33		60		66,67	54,55	
$1.3 \cdot 10^{-3}$	50		60			81,82	42,86
$1.4 \cdot 10^{-2}$		77,78		100	66,67		

Таблиця 8 – Значення SIR для різних транспортних потоків

BER	SIR						
	TS1	TS4	TS5	TS6	TS7	TS9	TS10
$2.14 \cdot 10^{-6}$	16,67	44,44	40	40	50	36,36	0
$1.7 \cdot 10^{-5}$	50	100	100			81,82	57,14
$2 \cdot 10^{-4}$	83,33		60		83,33	81,82	
$1.3 \cdot 10^{-3}$	83,33		60			90,91	71,43
$1.4 \cdot 10^{-2}$		77,78		100	66,67		

Таблиця 9 – Середні значення SAR, SDR й SIR

Параметр	Значення				
	$2.14 \cdot 10^{-6}$	$1.7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$
BER					
SAR	10	33	70	75	81
SDR	0	15	53	58	81
SIR	32	70	77	77	81

Середні значення є орієнтовними, що викликано обмеженою кількістю проаналізованих транспортних потоків, але вони дозволяють встановити межі змінення показників якості на рівні транспортного потоку, вище яких не буде виникати порогового ефекту на зображенні. Ці значення є такими:

- припустиме значення SAR та SDR: не більш ніж 10 %;
- припустиме значення SIR: не більш ніж 32 %;

Аналіз табл. 6...9 показав, що існує певна залежність параметрів SAR, SDR та SIR від характеристик транспортного потоку. Існує ціла низка характеристик транспортних потоків, що можуть впливати на результуючі величини SAR, SDR та SIR, серед яких мабуть найбільш важливою є швидкість цифрового потоку.

Таким чином, значення SAR, SDR та SIR залежать від коефіцієнта помилок бітів (BER) та від швидкості транспортного потоку (V). Для отримання аналітичної залежності для всіх параметрів скористуємось інструментами регресійного аналізу з застосуванням полінома 2 другого порядку.

В загальному випадку параметри SAR, SDR, SIR будуть описуватись наступним чином:

$$SAR = (a_{00v} + a_{01v} \cdot V + a_{02v} \cdot V^2) + (a_{10v} + a_{11v} \cdot V + a_{12v} \cdot V^2) \cdot BER + \dots \quad (4)$$

$$\dots + (a_{20v} + a_{21v} \cdot V + a_{22v} \cdot V^2) \cdot BER^2$$

$$SDR = (a_{00v} + a_{01v} \cdot V + a_{02v} \cdot V^2) + (a_{10v} + a_{11v} \cdot V + a_{12v} \cdot V^2) \cdot BER + \dots \quad (5)$$

$$\dots + (a_{20v} + a_{21v} \cdot V + a_{22v} \cdot V^2) \cdot BER^2$$

$$SIR = (a_{00v} + a_{01v} \cdot V + a_{02v} \cdot V^2) + (a_{10v} + a_{11v} \cdot V + a_{12v} \cdot V^2) \cdot BER + \dots \quad (6)$$

$$\dots + (a_{20v} + a_{21v} \cdot V + a_{22v} \cdot V^2) \cdot BER^2$$

У результаті регресійного аналізу отримаємо значення коефіцієнтів полінома другого порядку, що їх наведено в табл. 10.

Таблиця 10 – Результат регресійного залежностей параметрів SAR, SDR та SIR від швидкості цифрового потоку та BER

Параметр		SAR	SDR	SIR
a ₀	a _{00v}	-92.96	-0,4777	63,0645
	a _{01v}	2.5522e-006	-0,0698	0,2446
	a _{02v}	-1.4026e-014	5,7029e-04	-0,0060
a ₁	a _{10v}	2.4282e+006	3,6016e+06	9,5613e+06
	a _{11v}	-0.0432	-4,3459e+04	-2,1985e+05
	a _{12v}	2.3970e-010	115,2808	1,3272e+03
a ₂	a _{20v}	-1.9385e+009	-8,6560e+08	-5,6396e+09
	a _{21v}	44.2058	1,3389e+07	1,4858e+08
	a _{22v}	-2.6385e-007	-5,0667e+04	-9,6601e+05

Отримані залежності є справедливими для транспортних потоків зі швидкостями від 59 Мбіт/с до 132 Мбіт/с.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень проведено аналіз впливу спотворень у тракці розподілу програм мовлення на характеристики системи цифрового ТВ мовлення у стандарті DVB-C, що її розглядають як основну систему для реалізації цифрового кабельного телебачення. Крім того дано кількісні оцінки спотворень в транспортному потоці для помилок трьох пріоритетів за різних параметрів транспортних потоків з аналізом прояву спотворень на відеозображенні окремих служб, що їх передають в багатoprogramному потоці. Дано кількісну оцінку порушень в роботі служби цифрового ТВ з використанням критеріїв, визначених в міжнародних документах. За результатами визначено граничні рівні спотворень в транспортному потоці, за яких не буде спостерігатися значних порушень в роботі служби цифрового телевізійного мовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інформаційні технології. Метод кодування аудіовізуальної інформації MPEG-2. Частина 1. Системи. Побудова цифрового потоку. Загальні технічні вимоги (ISO/IEC 13818-1, MOD): ДСТУ 4192-2003. – [Чинний від 2006-04-01] - К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 214 с. - (Національний стандарт України).
2. Цифрове телевізійне мовлення. Характеристики системи передавання. Настанови щодо виконання вимірювань (ETSI TR 101 290: 2001, IDT): ДСТУ ETSI TR 101 290: 2006. - [Чинний від 2006-04-01]. - К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 166 с. - (Національний стандарт України).
3. Баляр В.Б. Аналіз впливу характеристик РЧ тракту на якість функціонування трактів систем кабельного телебачення/ В.Б. Баляр, В.О. Сіманько, С.А. Грінченко // Цифрові технології. – 2012. - № 11. – С.71-84.
4. Цифрове телевізійне мовлення (DVB). Структура кадрів, кодування каналу та методи модуляції в кабельних розподільчих системах. Загальні технічні вимоги (EN 300 429: 1998, MOD): ДСТУ 4214-2003. – [Чинний від 2005-07-01] - К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 22 с. - (Національний стандарт України).