

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЦИФРОВОГО
КАБЕЛЬНОГО МОВЛЕННЯ У СТАНДАРТІ DVB-C2**

Баляр В. Б., Сливка А.О.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
вул. Кузнечна, 1, м. Одеса, 65029, Україна, ,
ДП «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»
вул. Буніна, 31, Одеса, 65025, Україна
balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО
КАБЕЛЬНОГО ВЕЩАНИЯ В СТАНДАРТЕ DVB-C2**

Баляр В. Б., Сливка А.О.

*Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, 65029, Украина,
ГП «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения»
ул. Бунина, 31, Одесса, 65025, Украина
balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua*

**EFFICIENCY ESTIMATION FOR DIGITAL CABLE BROADCASTING
ORGANIZATION IN DVB-C2 STANDARD**

Baliar V. B., Slivka A.O.

*A.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications
Kovalska st., 1, Odessa, 65029, Ukraine
SE "Ukrainian Research Institute of Radio and TV"
Bunin st., 31, Odessa, 65026, Ukraine*

balyar_vb@mail.ru; balyar.vb@onat.edu.ua

Анотація. У статті наведено результати досліджень у напрямку порівняльного аналізу ефективності організації мережі кабельного телебачення у стандартах DVB-C та DVB-C2 в термінах гнучкості вибору системних параметрів, енергетичної та інформаційної ефективності.

Ключові слова. DVB-C, DVB-C2, BCH, LDPC, UHDTV, кабельне телебачення.

Аннотация. В статье приведены результаты исследований в направлении сравнительного анализа эффективности организации сети кабельного телевидения в стандартах DVB-C и DVB-C2 по показателям гибкости выбора системных параметров, энергетической и информационной эффективности.

Ключевые слова. DVB-C, DVB-C2, BCH, LDPC, UHDTV, кабельное телевидение.

Abstract. In article results of studies in direction of comparative efficiency analysis for organization of cable TV network in DVB-C and DVB-C2 standards in terms of flexibility of system parameters selection, energetic and informational efficiency are provided in article.

Key words. DVB-C2, BCH, LDPC, cable television.

У мережах кабельного телебачення на сьогодні склалась така ситуація, з одного боку ресурс кабельної мережі є достатнім для надання цілої низки послуг, найбільш поширеними з яких є телебачення (аналогове та цифрове) і доступ до мережі Інтернет. З іншого боку телевізійні системи постійно розвиваються і з часом виникне необхідність у впровадженні нових для мовлення технологій – стереоскопічного телебачення (3DTV) і телебачення надвисокої чіткості (UHDTV), а ці системи вимагають досить значного ресурсу. Безумовно, ця потреба може бути дещо зменшена при використанні більш ефективних методів стиснення аудіовізуальної інформації, ніж використовуються зараз (наприклад, при застосуванні сучасного методу HEVC), але це є частковим виходом з ситуації й дуже вірогідно, що провайдери кабельного телебачення його не виберуть внаслідок застосування

підходу поступової модернізації існуючих мереж з максимальним зниженням витрат на нове обладнання кодування. До того ж, технологія DVB-C використовується на максимумі своїх можливостей в термінах співвідношення між кількістю програм на один радіочастотний канал. При передаванні однієї програми UHDTV необхідно забезпечити швидкість передавання від 30 до 40 Мбіт/с, що приблизно відповідає швидкості цифрового потоку, яку забезпечують в одному РЧ каналі за використання стандарту DVB-C. Враховуючи, що в одному частотному каналі можливо передати, наприклад, від 8 до 10 ТВ програм стандартної чіткості, зрозуміло, що передавання UHDTV-програми не є досить привабливим з точки зору ефективності використання радіочастотного ресурсу. Саме тому виникла необхідність у підвищенні ефективності як методів стиснення відеоінформації (розробленням стандарту HEVC), так і самої системи цифрового кабельного мовлення (розробленням стандарту DVB-C2). Саме цій системі кабельного телебачення й присвячено цю статтю.

Стандарт DVB-C2 є стандартом цифрового кабельного телевізійного мовлення другого покоління. Його ефективність і порівняно з першим поколінням систем кабельного телевізійного мовлення є безсумнівною, адже основною метою розробки цього стандарту було створення стандарту передавання сигналів телебачення надвисокої чіткості (UHDTV), а також для більш ефективного передавання сигналів інтерактивних служб (таких як інтерактивне телебачення, дані мережі Інтернет та ін.). Досягти це можливо застосуванням нових для систем кабельного телебачення стандартів і технологій. Для досягнення максимального ефекту від нових технологій необхідно дотримуватись всіх технічних норм і вимог, як до обладнання, так і до самої гібридної волоконно-коаксіальної мережі (HFC) кабельного телебачення. Таким чином, вимірювання були і залишаються найважливішою складовою технічної експлуатації обладнання систем цифрового кабельного телевізійного мовлення. При цьому представляється важливим визначити мінімально необхідний набір вимірювального обладнання та параметрів, можуть використовуватися для контролю якості роботи системи і мережі кабельного телебачення, що й є основною задачею, яку вирішено в цій статті. Особливо це важливо у випадку системи DVB-C2, що є новою для українського телерадіопростору та є де-факто стандартом, що буде використовуватись у кабельних мережах в майбутньому, коли провайдери мережі будуть готові його впроваджувати й обладнання стане більш доступним з точки зору модельного ряду та вартості.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ DVB-C2. Під час оцінки ефективності системи DVB-C2 проведемо порівняльну оцінку також у системі DVB-C. Оцінку будемо проводити за двома параметрами:

- гнучкість у виборі параметрів системи передавання;
- мінімально необхідне відношення носійна/шум (скорочено, відношення C/N).

Гнучкість у виборі параметрів системи передавання. У табл. 1 наведена порівняльна характеристика системи DVB-C та системи DVB-C2, стандарти на які опубліковано Сектором стандартизації Міжнародного союзу електров'язку [1, 2].

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз характеристик систем DVB-C та DVB-C2

Параметр	Характеристика системи	
	DVB-C	DVB-C2
Технічні вимоги до системи	ITU-T J.83/A, ETS 300 429	ITU-T J.382, ETSI EN 302 769
Ширина смуги частот каналу, МГц	1, 2, 4, 8	6, від 8 до 450
Режим модуляції	CCM (незмінні кодування та модуляція)	VCM (змінні кодування та модуляція)
Метод модуляції	КАМ-16, КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256	КАМ-16, КАМ-64, КАМ-256, КАМ-1024, КАМ-4096
Формат системного потоку	Транспортний потік (MPEG-2 TS)	Потік MPEG-2 TS, універсальний потік (GSE)

Параметр	Характеристика системи	
	DVB-C	DVB-C2
Довжина кадру, біт	12032 біти (8 пакетів потоку MPEG-TS)	64 800 або 16 200
Довжина заголовка кадру, бітів	Загальна довжина 256 (8 заголовків пакетів транспортного потоку, що входять до кадру)	80
Співвідношення для кадру між обсягом корисного навантаження та обсягом службової інформації	$\approx 2,1 \%$	Від 0,13 до 0,18 %
Швидкість цифрового потоку в одному каналі 8 МГц, Мбіт/с	51,2	До 82,93 (але може бути ще збільшено за рахунок можливості об'єднання декількох РЧ каналів)
Зовнішній код захисту від помилок	Код Ріда-Соломона RS (204, 188, 8)	Код Боуза-Чаудхурі- Хоквінгейма (BCH)
Кількість поліномів БЧХ ($N_{\text{пол}}$)	1	16
Внутрішній код захисту від помилки	-	Код з малою щільністю перевірки на парність (LDPC) зі швидкістю коду 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
Коригувальна здатність	8	8 (при коді 9/10); 10 (при коді 2/3 або 5/6); 12 (при коді 3/4 або 4/5)
Рандомізація	Псевдовипадкова двійкова послідовність (PRBS), породжуваний поліном генератора $1+x^{14}+x^{15}$	
Перемеження	Згорткове за алгоритмом Форні	Бітове зигзагоподібне, часове та частотне
Розподіл ресурсу каналу	Мультиплексування з часовим поділом (TDM)	Мультиплексування з часовим поділом TDM/ мультиплексування з частотним поділом (O)FDM
Режим OFDM/ захисний інтервал	-	4к/ 1/64 або 1/128
Синхронізація/ компенсація впливу каналу	Еквалайзер	Пілот-сигнали
Необхідна величина BER перед зовнішнім декодером	10^{-4}	10^{-7}

Як видно з проведеного аналізу, система DVB-C2 безумовно має значну перевагу над системою DVB-C внаслідок того, що вона дозволяє вибирати більш гнучко параметри системи передавання (завадозахищеність, ширина смуги частот, метод модуляції та ін.), а це у свою чергу, надає можливість досягти необхідного компромісу якості кабельної мережі/ швидкість цифрового потоку (цей параметр наведено як приклад, замість нього може використовуватись будь-який інший показник ефективності).

Мінімально необхідне відношення носійна/шум. За впливу спотворень технічну якість функціонування системи DVB-C2 можливо оцінювати за допомогою таких

параметрів, як коефіцієнт помилок бітів (BER), коефіцієнт помилки модуляції (MER) та величина вектору помилки (EVM) [3, 4].

При передаванні цифрової інформації, кількість помилкових бітів - це кількість прийнятих з каналу зв'язку бітів цифрового потоку, які були змінені за рахунок шуму, завади, спотворень або помилок синхронізації. Коефіцієнт помилкових бітів (BER) – це кількість помилкових бітів поділена на повну кількість переданих бітів впродовж певного інтервалу часу спостереження. Коефіцієнт BER визначається відношенням між числом помилкових бітів і числом переданих бітів:

$$\text{BER} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |b_i - b'_i| \quad (1)$$

де b_i - послідовність бітів цифрового потоку, що її передають; b'_i - послідовність бітів цифрового потоку, що її прийняли.

Коефіцієнт BER розглядають як приблизну оцінку ймовірності появи помилкових бітів. Це наближення є точним при тривалому часі спостереження і достатньо значній кількості бітових помилок [12].

У системі DVB-C2 також використовують каскадне включення двох каналних кодерів – кодера блокового коду Боуза-Чаудхурі-Хоквінгейма BCH (зовнішній код) та коду з низькою щільністю перевірок на парність LDPC (внутрішній код) з можливими значеннями швидкості коду 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6. Тому у системі DVB-C2 оцінюється три варіанти коефіцієнта BER:

- коефіцієнт BER перед декодером LDPC;
- коефіцієнт BER після декодера LDPC (перед декодером BCH);
- коефіцієнт BER після декодера BCH.

Для мінімізації впливу порогового ефекту необхідно забезпечити функціонування системи цифрового кабельного телевізійного мовлення в квазібезпомилковому (QEF) режимі. За цього режиму система буде працювати при ймовірності помилки біта, що буде відповідати величині $\text{BER} \approx 10^{-11} \dots 10^{-12}$.

Однак для оцінки такої ймовірності помилки необхідно аналізувати транспортний потік з виходу зовнішнього декодера досить тривалий час. Тому звичайно аналізують ймовірність помилки біта на вході зовнішнього декодера. При цьому інтервал часу, протягом якого необхідно аналізувати потік на наявність помилок є меншим, і вимірювання може бути зроблено за розумну тривалість часу з достатньою точністю [12].

Для системи DVB-C2 режим QEF буде забезпечено, якщо величина BER після декодера LDPC буде відповідати $\text{BER} \approx 1 \cdot 10^{-7}$, при цьому BER після декодера BCH буде дорівнювати приблизно $\text{BER} \approx 10^{-11} \dots 10^{-12}$. Враховуючи вищенаведене можна дійти висновку, що достатнім буде аналізувати лише величину BER після внутрішнього декодера.

Опис обчислювального експерименту. Модель системи цифрового кабельного телевізійного мовлення в стандарті DVB-C2 побудовано за допомогою математичного середовища Matlab, що й буде основним інструментом в проведеному дослідженні.

При побудові моделі зроблено такі припущення:

- на вхід транспортного мультиплектора подають псевдовипадкові дані, що в подальшому безпосередньо вводять до корисного навантаження пакету транспортного потоку. Заголовок пакету транспортного потоку також утворено випадковими даними;
- наскрізний тракт представлено лише низькочастотною частиною, тобто відсутні аналого-цифрове перетворення, перетворення частоти, підсилення тощо;

- синхронізація між передавачем і приймачем є ідеальною. Також відсутні інші спотворення, що можуть виникнути в радіочастотному тракті, за винятком шуму АБГШ;
- оцінка та компенсація каналу вважаються ідеальними, тобто відсутнє певне погіршення характеристик внаслідок помилки інтерполяції, що є притаманним при впливі тільки АБГШ;
- компенсація нерівномірності обвідної сигналу OFDM (алгоритми PAPR) в часі не застосовувалась.

Конфігурація системи DVB-C2 така:

- ширина смуги частот: 8 МГц;
- режим OFDM: 4к (4096 носійних коливань);
- тривалість захисного інтервалу: 1/64 від тривалості активного символу OFDM;
- довжина кадру основної смуги: 64 800 біт;
- кількість каналів PLP: 1 PLP;
- швидкість коду LDPC: 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 9/10;
- кількість ітерацій за декодування LDPC: 50 ітерацій;
- метод модуляції: КАМ-16, КАМ-64, КАМ-256, КАМ-1024, КАМ-4096.

У процесі експерименту визначалась порогова величина відношення сигнал/шум в каналі з адитивним білим гаусівським шумом (АБГШ), за якого система цифрового мовлення працювала в режимі QEF.

Потім для отримання всієї залежності BER після внутрішнього декодера відношення носійна/шум зменшувалось в діапазоні від порогового значення до величини приблизно $BER = 0,5$. Після запуску моделі на виконання генерувалась псевдовипадкова послідовність, що підлягала оброблянню за алгоритмами, визначеними для системи DVB-C2, подавали до каналу з АБГШ.

Кількість бітів з виходу зовнішнього декодера, яку вибрано відповідно до рекомендованих значень [4], для обох системи відповідала величині приблизно $1 \cdot 10^6$ біт, що забезпечує статистично достовірні результати вимірювання. Отримані значення фіксувались у протоколі лабораторного дослідження.

Оцінку будемо проводити для конфігурації системи DVB-C2, за якої вибрано модуляції КАМ-16, КАМ-64, КАМ-256, КАМ-1024 та КАМ-4096 та всіх швидкостей внутрішнього коду LDPC.

Для оцінки використано схему випробувань (рис. 1), що її рекомендовано у стандарті ETSI TR 101 290 «Настанови до проведення вимірювань у системі DVB» [4] з внесенням певної модифікації для врахування специфіки реалізації моделі.

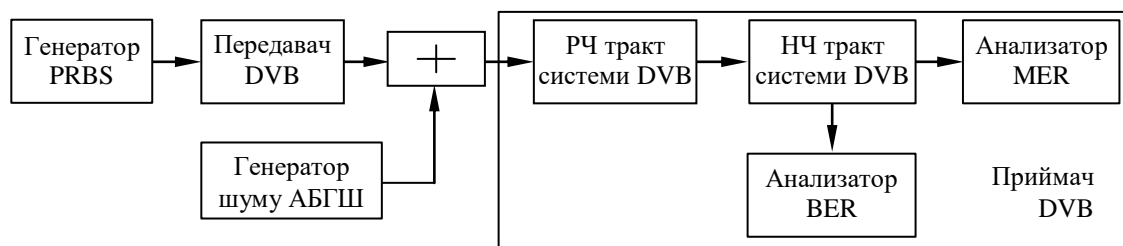


Рисунок 1 - Схема випробувань для оцінки впливу АБГШ на характеристики системи DVB-C2

Схема випробувань відповідає випадку, коли вимірювання проводилось для режиму «коли служба не працює». На цій схемі під передавачем та приймачем DVB розуміють передавач та приймач системи DVB-C2.

За результатами дослідження було побудовано графічні залежності, які показано на рис. 2...9.

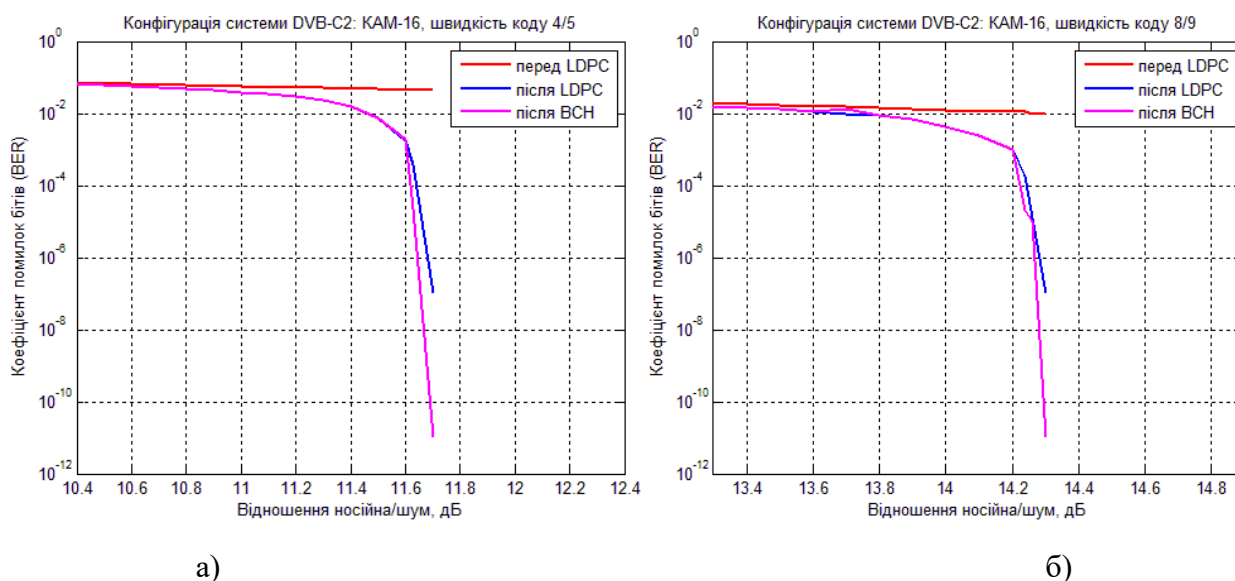


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту BER від відношення C/N при KAM-16 у системі DVB-C2 та швидкостях коду: а) 4/5; б) 8/9

На рис. 2 показана залежність коефіцієнта помилок бітів перед декодером LDPC, після декодера LDPC та після декодера BCH від відношення носійна/ шум при конфігурації DVB-C2, що відповідає KAM-16 та швидкості коду 4/5.

З рисунка бачимо, що на виході декодера BCH забезпечується найменше значення коефіцієнта помилок бітів, у той час як перед внутрішнім декодером LDPC його величина зменшується досить повільно.

Така закономірність може бути пояснена тим, що при послідовному включенні двох каналних декодерів забезпечується більша завадостійкість, ніж у випадку використання одного каналного декодера. Окрім того, враховуючи те, що комбінація алгоритмів завадостійкого кодування LDPC та BCH дозволяє виправляти до 12 помилкових послідовних символів.

При сумісному використанні цих алгоритмів разом з KAM-16 припустимим є відношення носійна/шум (C/N), що відповідає значенню 11,7 дБ.

Зі збільшенням швидкості коригувального коду припустимим є більше відношення C/N, що викликано зменшенням коригувальної здатності коду та підвищенням інформаційної швидкості. Так при зміні швидкості від 4/5 до 8/9 порогове відношення C/N має бути збільшено з 11,7 до 14,3 дБ.

Виграш за відношенням C/N відносно системи без кодування, що характеризує фактично виграш від використання каналного кодування BCH/ LDPC, змінюється від приблизно 9 до 14,5 дБ (залежно від швидкості коду).

На рис. 3...4 наведено аналогічні залежності, але для іншого методу цифрової модуляції – KAM-64. На відміну від KAM-16 при KAM-64 величина порогового відношення носійна/шум змінюється приблизно від 15,8 дБ до 20,2 дБ при зміні швидкості від 2/3 до 8/9.

Тобто при KAM-64 буде забезпечено таку саму ймовірність помилок бітів (чи коефіцієнт помилок бітів), що й при KAM-16, але за більшої потужності сигналу на вході приймача DVB-C2. При цьому рівень сигналу має бути більшим на приблизно 5,9 дБ при швидкості коду 8/9 порівняно з величиною, при KAM-16.

Залежності для KAM-256 в системі DVB-C2 наведено на рис. 5-6, а для KAM-1024 – на рис. 7-9.

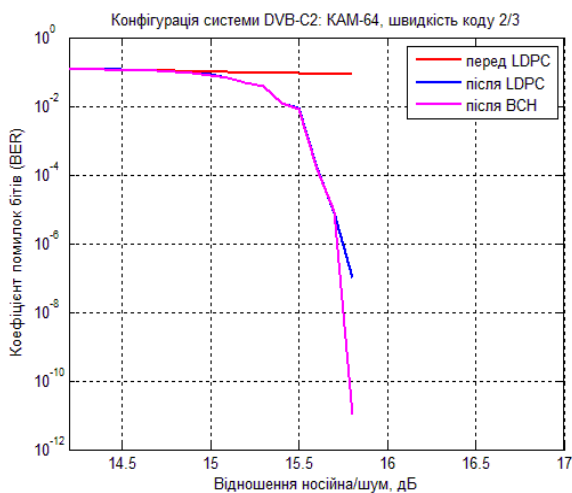
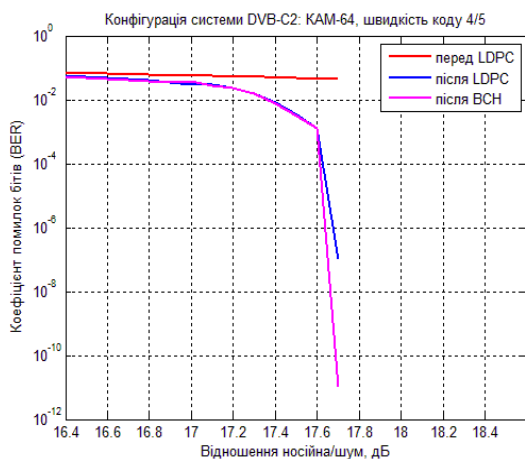


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта BER від відношення C/N в системі DVБ-C2 при КАМ-64 та швидкостях коду 2/3

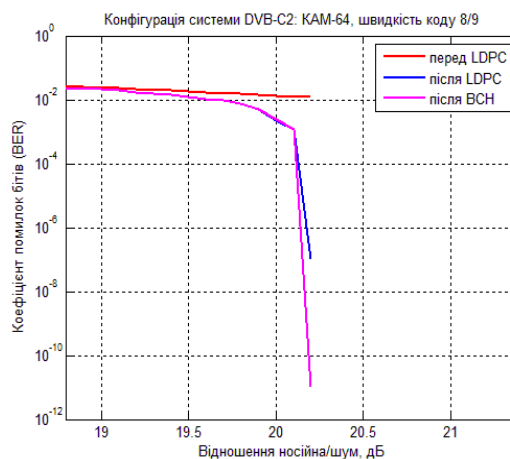
Аналогічна ситуація спостерігається і при конфігурації DVБ-C2 з методом модуляції КАМ-256.

При методі модуляції КАМ-256 величина порогового відношення C/N відповідає 22,5 дБ (швидкість коду 3/4), 24,1 дБ (швидкість коду 5/6), 25,9 дБ (швидкість коду 8/9), що приблизно більше на величину від 2 до 7 дБ більше, ніж у випадку конфігурації системи DVБ-C2 з КАМ-64.

Такий енергетичний вигравш надає можливість або зменшити необхідний рівень потужності на вході приймача системи DVБ-C2 або за тієї ж потужності сигналу на вході забезпечити більшу швидкість цифрового потоку (тобто більше програм).

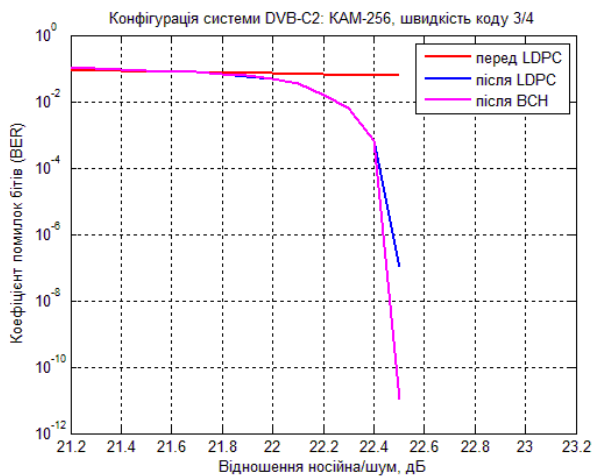


а)

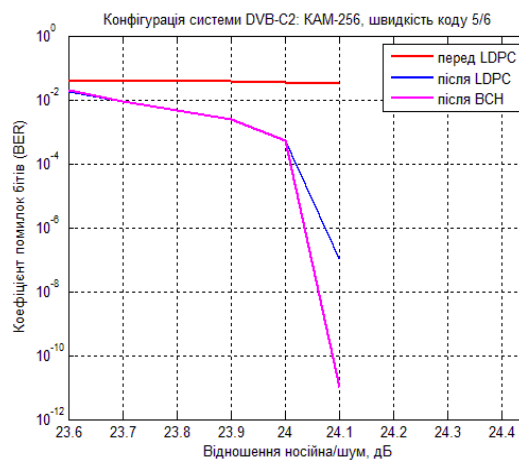


б)

Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта BER від відношення C/N у системі DVБ-C2 при КАМ-64 та швидкостях коду: а) 4/5; б) 8/9



а)



б)

Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта BER від відношення C/N у системі DVБ-C2 при КАМ-256 та швидкостях коду а) 3/4 б) 5/6

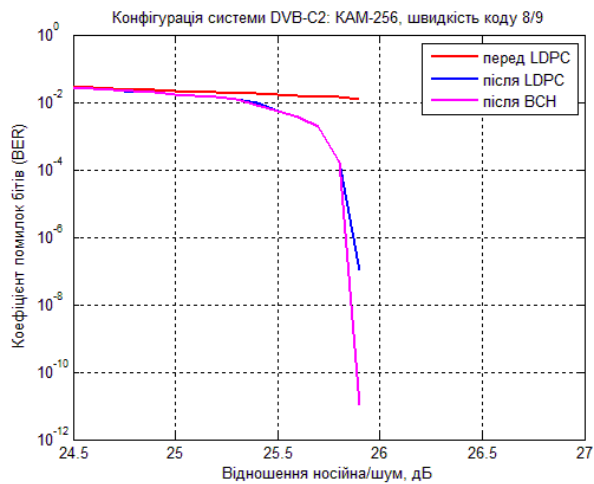


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта BER від відношення C/N при КАМ-256 та швидкості коду 8/9 у системі DVB-C2

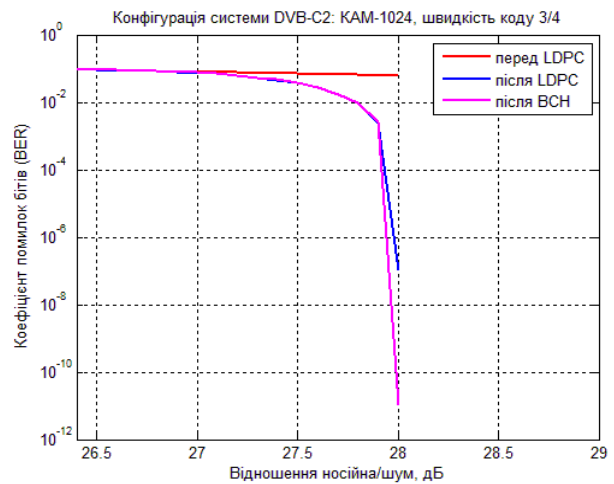
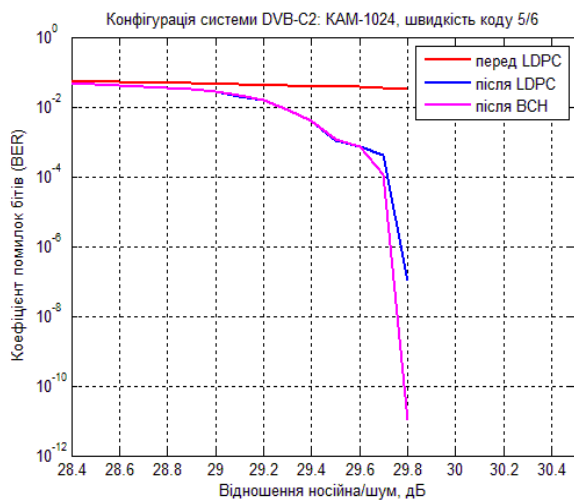
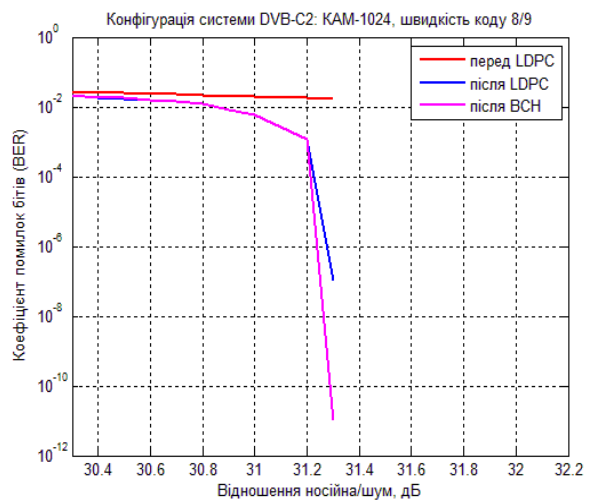


Рисунок 7 – Залежність коефіцієнта BER від відношення C/N у системі DVB-C2 при КАМ-1024 та швидкості коду 3/4

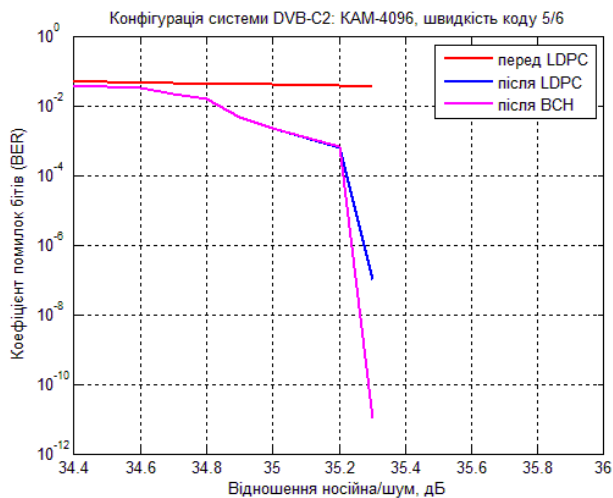


а)

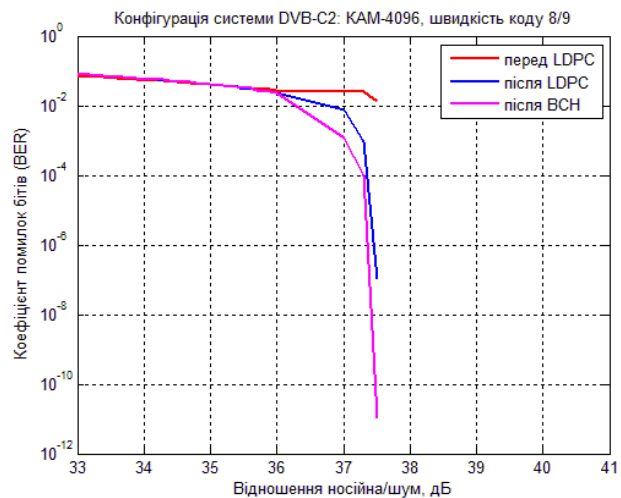


б)

Рисунок 8 – Залежність коефіцієнту BER від відношення C/N у системі DVB-C2 при КАМ-1024 та швидкостях коду а) 5/6; б) 8/9



а)



б)

Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта BER від відношення C/N у системі DVB-C2 при КАМ-4096 та швидкостях коду а) 5/6; б) 8/9

На базі аналізу результатів побудовано табл. 2, що містить порогові величини відношення C/N , за якого буде відсутній пороговий ефект, а також коефіцієнта MER.

Таблиця 2 - Порогові величини відношення C/N , за якого буде відсутній пороговий ефект у системі DVB-C2

Швидкість коду	Параметр		
	$C/N_{\text{порог}}$, дБ	MER, дБ	Швидкість цифрового потоку, Мбіт/с
КАМ-16			
4/5	11,7	11,65	25,1
8/9	14,3	14,32	28,3
КАМ-64			
2/3	15,8	15,78	31,4
4/5	17,7	17,71	37,7
8/9	20,2	20,23	41,4
КАМ-256			
3/4	22,5	22,5	47,1
5/6	24,1	24,12	52,4
8/9	25,9	25,93	56,6
КАМ-1024			
3/4	28	27,99	58,9
5/6	29,8	29,8	65,4
8/9	31,3	31,34	70,7
КАМ-4096			
5/6	35,3	35,28	78,6
8/9	37,5	37,44	84,8

Крім того, з аналізу таблиці видно, що у системі DVB-C2 за відсутності будь-яких інших спотворень, ніж АБГШ, параметр порогового MER приблизно відповідає пороговому відношенню C/N . Таким чином, в приймачі можливо оцінювати приблизне відношення носійна/шум шляхом розрахунку коефіцієнта MER.

Для порівняння у табл. 3 показані порогові відношення носійна/шум для системи DVB-C в каналі 8 МГц [5].

Таблиця 3 - Порогові величини відношення C/N , за якого буде відсутній пороговий ефект у системі DVB-C

Швидкість коду	Параметр		
	$C/N_{\text{порог}}$, дБ	MER, дБ	Швидкість цифрового потоку, Мбіт/с
КАМ-16	17,6	20,64	25
КАМ-32	20,1	24,04	
КАМ-64	22,6	28,76	38,4
КАМ-128	24,1	29,1	
КАМ-256	26,4	35,16	51,2

З табл. 2, 3 бачимо, що система DVB-C2 і за цим параметрам надає енергетичний вигравш за такої самої швидкості цифрового потоку, що й у системі DVB-C. Прикладом цього, може бути конфігурація системи DVB-C зі КАМ-16 та DVB-C2 з швидкістю коду 4/5 та такою самою цифровою модуляцією. Вигравш за відношенням носійна/шум в цьому випадку становить приблизно 6 дБ. Якщо ж зафіксувати відношення C/N, тоді отримаємо вигравш за швидкістю цифрового потоку (наприклад, за C/N = 17 дБ вигравш становить приблизно 12,7 Мбіт/с) при переході до системи DVB-C2 від DVB-C.

Таким чином, порівняльний аналіз показав, що система DVB-C2 є достатньо ефективною та гнучкою за енергетичними й інформаційними показниками, що дозволить (у разі її впровадження) модернізувати існуючі мережі кабельного телебачення та підготувати їх до впровадження критичних до ресурсу каналу мовлення нових служб, таких як UHD TV, 3DTV та інтерактивне телебачення, без необхідності зміни архітектури мережі. Вигравш за деякими показниками може становити до 50 %, а за певних умов навіть є більшим. Результати, отримані в процесі дослідження, можуть бути використані під час експлуатації гібридних волоконно-оптичних мереж розподілу цифрового кабельного телебачення під час переходу до технології цифрового кабельного телевізійного мовлення другого покоління у стандарті DVB-C2, а також для підготовки та перепідготовки спеціалістів, які обслуговуватимуть відповідні мережі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Recommendation ITU-T J.83 Digital multi-programme systems for television, sound and data services for cable distribution, 2004.
2. Recommendation ITU-T J.382 Advanced digital downstream transmission systems for television, sound and data services for cable distribution, 2014.
3. Baliar V.B. Complex study of influence of different factors on quality of service (QoS) on different levels of OSI model for digital television broadcasting/ V.B. Baliar // Цифрові технології. – 2015. – № 16. – С. 147-161.
4. Цифрове телевізійне мовлення (DVB). Характеристики системи передавання. Настанови до вимірювання (ETSI TR 101 290): ДСТУ ETSI TR 101 290 – [Чинний від 2006-04-01] - К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 166 с. - (Національний стандарт України).
5. Баляр В.Б. Аналіз впливу характеристик РЧ тракту на якість функціонування трактів систем кабельного телебачення/ В.Б. Баляр, В.О. Сіманько, С.А. Гріненко // Цифрові технології. – 2012. – № 11. – С.71-84.

REFERENCES

1. Digital Multi-programme Systems for Television, Sound and Data Services for Cable Distribution. Tech. Recommendation ITU-T J.83. Geneva: ITU-R, 2004. Print.
2. Advanced digital downstream transmission systems for television, sound and data services for cable distribution. Tech. Recommendation ITU-T J.382. Geneva: ITU-R, 2014. Print.
3. Baliar, V.B. "Complex Study of Influence of Different Factors on Quality of Service (QoS) on Different Levels of OSI Model for Digital Television Broadcasting." Digital Technologies 1.16 (2015): 147-161. Print.
4. Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement Guidelines for DVB Systems. Rep. no. ETSI TR 101 290. Sophia Antipolis: ETSI, 2014. Print.
5. Baliar, V.B. "Analysis of impact of radio frequency path performance on operational quality of cable television systems." Digital Technologies 1.11 (2012): 71-84. Print.