

УДК 621.397

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК РЧ ТРАКТУ НА ЯКІСТЬ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАКТІВ СИСТЕМ КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

БАЛІЯР В.Б., СІМАНЬКО В.О., ГРІНЕНКО С.А.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

**ANALYSIS OF IMPACT OF RADIO FREQUENCY PATH PERFORMANCE
ON OPERATIONAL QUALITY OF CABLE TELEVISION SYSTEMS**

BALYAR V.B., SIMANKO V.O., GRINENKO S.A.

Odessa national academy of telecommunications named after O.S. Popov

***Анотація.** В статті представлено результати досліджень в напрямку аналізу впливу характеристик радіочастотного тракту на якість функціонування трактів систем кабельного телебачення у стандарті DVB-C, визначення методів вимірювань та припустимого рівню спотворень, що виникають у тракті.*

***Abstract.** In article the results of studies on impact analysis of RF performance on operation quality of cable television paths in DVB-C standard, definition of measurement methods and allowed level of path impairments are presented.*

ВСТУП

Перехід на цифровий формат мовлення відбувається у системах кабельного телебачення. Темпи такого переходу є досить повільними та його можливо більш охарактеризувати як еволюційний перехід, ніж революційний. Перш за все це викликано тим, що за своєю суттю системи кабельного телебачення є **замкненими** системами та причиною переходу на цифровий формат є бажання провайдера покращити якість надаваних послуг з метою приваблення додаткових абонентів та намагання більш ефективно використовувати частотний ресурс мережі кабельного телебачення для розширення переліку надаваних послуг.

Технологіями, що дозволяють все вищезазначене, з збереженням концепції використання систем, що перш за все було розроблено для передавання телевізійного зображення, є технології у **стандарті DVB-C**. Завдяки ефективному стисненню аудіовізуальної інформації в одному частотному каналі вдається передати до 8-10 телевізійних програм, і після переведення на цифровий формат навіть дуже завантажена мережа з 25-35 трансльованими програмами переходить в категорію мереж з 5-7 зайнятими фізичними каналами, в яких проблеми взаємних **завад** не такі актуальні.

У 2010 році Проектом DVB розроблений стандарт на систему цифрового кабельного телевізійного мовлення другого покоління (DVB-C2). За оцінкою розробників цей стандарт забезпечуватиме підвищення ефективності приблизно на 50 % в порівнянні з першим поколінням стандартів на кабельне мовлення. Якщо говорити про стан впровадження в світі, то в цьому напрямі вже є деякі кроки. Німецький кабельний оператор KDG планує перевести свої кабельні мультиплекси із стандарту DVB-C в новий DVB-C2. Аналогічний крок також готує ще вісім європейських кабельних операторів. Kabel Deutschland (KDG) має намір перетворити свою мережу до стандарту DVB-C2. Це дасть розширені можливості за поданням відео за запитом (VOD) і HDTV. Christoph Schaaf, технічний директор KDG, заявив в Лісабоні, що нова технологія дозволить заощадити до 30 % ємності в порівнянні з існуючою технологією DVB-C. Крім KDG, також Unity Media готується до використання нового стандарту. Обидві компанії входять до числа дев'яти європейських кабельних операторів, які підтримують впровадження DVB-C2 [1].

Проте, незважаючи на таку ефективність нової системи, оператори кабельних мереж в Україні не поспішають його впроваджувати. Цьому є низка причин, серед яких можливо виділити такі, як поки що висока вартість обладнання головної станції та практично повна відсутність достатньо дешевого парку приймального обладнання в цьому стандарті. Більш того, перехід на DVB-C2 поки що є недоцільним – частотний ресурс кабельної мережі є таким, що навіть при застосуванні комбінації досить давно розроблених методів стиснення відеоінформації MPEG-2 та системи кабельного мовлення

першого покоління DVB-C, головною перевагою яких є досить низька вартість, ємність цифрової мережі в кількості програм високої якості є цілком достатньою та, крім того, дозволяє передавати у відведеній частині спектру дані мережі Інтернет. Саме тому, стандарт DVB-C вірогідно буде використовуватись у кабельних мережах досить тривалий час.

Важливою складовою технічної експлуатації систем цифрового кабельного телебачення (КТБ), як і систем в інших середовищах розподілу програм мовлення, є моніторинг якості функціонування. В основу моніторингу цифрових мереж кабельного мовлення покладено застосування обладнання діагностики та вимірювання. Враховуючи складність наскрізного тракту системи цифрового кабельного мовлення та важливість вимірювань представляється важливим проаналізувати методи вимірювань, що застосовують для систем DVB-C та DVB-C2, і дати кількісні оцінки основним параметрам, що їх оцінюють під час розгортання мереж та їх технічної експлуатації.

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФІЗИЧНОГО РІВНЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КТБ

Перед визначенням методів вимірювання, що їх застосовують у системах цифрового кабельного телевізійного мовлення в стандартах DVB-C та DVB-C2, розглянемо основні характеристики цих систем.

Стек протоколів системи DVB-C базується на стандарті, що визначає багат шарову модель взаємодії відкритих систем (модель OSI). Враховуючи те, що протокол фактично визначає порядок оброблення вхідних даних та формат даних на виході, тоді можливо розглядати стек протоколів як порядок оброблення на різних рівнях моделі OSI.

Враховуючи трохи різну природу цифрового мовлення і традиційних телекомунікаційних систем, в стеку протоколів систем цифрового мовлення визначають рівні еталонної моделі OSI до 4 рівня. Решта рівнів відноситься до рівнів, які не визначаються в більшості специфікацій та визначаються безпосередньо застосуваннями, які передаються у системі.

Базові протоколи. Системи кабельного мовлення призначені для передавання не тільки сигналів зображення і їх звукового супроводу, але і для доставки як традиційних для систем аналогового мовлення додаткових даних, таких як субтитри, телетекст, так і абсолютно інших мультимедійних даних, що не відносяться до програм.

Базовим протоколом передавання аудіовізуальної інформації є транспортний потік MPEG-2 TS, процес об'єднання елементарних потоків якого, а також уведення службової інформації, необхідної для виділення окремих елементарних потоків у приймачі, проводиться відповідно до Рекомендації ІТУТ Н.222.0 | стандартом ISO/IEC 13818-1 (MPEG-2 Система).

Як методи стиснення аудіовізуальної інформації можуть бути використані методи стиснення відеоінформації MPEG-2 Відео, MPEG-4 AVC та методи стиснення аудіоінформації MPEG Аудіо, AC-3, DTS, тощо. Крім того, як допоміжні елементарні потоки, що їх передають як елементарні потоки даних, можуть виступати дані субтитрів, телетексту, тощо. Ці типи даних звичайно передають за допомогою приватних секцій MPEG-2. Враховуючи вищезазначене можливо визначити стек протоколів, який відповідає наведеному на рисунку 1.

Застосування (відтворення, запис, тощо)					
MPEG-4 AVC	MPEG-2 Відео	MPEG Аудіо	AC-3, DTS	Субтитри, телетекст	EPG, ESG
				PSI	SI
PES MPEG-2				Секція MPEG-2	
Транспортний потік MPEG-2 TS					
Фізичний рівень системи DVB-C (RS, КАМ-М, тощо)					

Рисунок 1 – Стек протоколів системи DVB-C при передаванні сигналів цифрового телевізійного мовлення

Додаткові протоколи. Крім передавання відео, аудіо та супутніх телепередач даних, що не відносяться до службової інформації (субтитри, телетекст і т.п.), системи ЦТМ дозволяють забезпе-

чити передавання даних інших типів немовленнєвих служб. Забезпечення цього можливе завдяки, перш за все, застосуванню нових методів стиснення аудіовізуальної інформації та інших технологій, що дозволяють зменшити смугу частот, необхідну для передавання високоякісних аудіо і відеосигналів, і що забезпечують наявність вільної ємності каналу для доставляння додаткових потоків даних. Крім того, за рахунок гнучкості системного потоку, що дозволяє використовувати його як „контейнер”, можливо забезпечити доставку користувачу практично будь-яких даних, тим самим реалізуючи принцип універсального середовища.

Другою за важливістю послугою, що її надають через мережі кабельного телебачення є доступ до мережі Інтернет. У системах цифрового телевізійного мовлення передбачено можливість передавання таких даних за допомогою стандартів на прямий та зворотний інтерактивний канал. Причому прямий інтерактивний канал визначено в двох варіантах – в межах основної смуги частот в груповому потоці разом з мовленнєвими програмами (звичайно у стандарті DVB-C) та поза основною смугою частот. Перший варіант надає можливість максимізувати ефективність використання ресурсу транспортного потоку за рахунок того, що немає необхідності виділяти з загального ресурсу мережі певний частотний діапазон. Але ефективність може знижуватись при виділенні недостатнього ресурсу в транспортному потоці для передавання такого типу даних.

Реалізувати вищезгадане передавання можливе за допомогою багатопротокольної інкапсуляції, що розроблено саме для цього. Багатопротокольна інкапсуляція забезпечує механізм доставляння даних через мережу передавання даних по протоколах, розміщення вище за транспортні потоки MPEG-2. Цей механізм оптимізовано під передавання даних під Інтернет-протоколом (IP), але може бути використано для передавання даних під будь-яким іншим мережним протоколом. Він дозволяє використовувати механізм одноадресного (датаграми направляють до окремого приймача), багатоадресного (датаграми направляють до декількох приймачів) і ширококомовного (датаграми направляють до всіх приймачів) передавання.

Інкапсуляція застосовується у системах цифрового мовлення для забезпечення можливості взаємодії з телекомунікаційними системами, які використовують в якості базового інші мережні протоколи, зокрема IP-протокол. Інкапсуляція дозволяє реалізувати безпечно передавання даних, що реалізується завдяки шифруванню пакетів і динамічній зміні MAC-адрес.

З урахуванням вищезазначеного можливо визначити стек протоколів системи DVB-C при доставленні даних мережі Інтернет для прямого каналу, що представлено на рисунку 2.

Застосування (Інтернет-браузер, тощо)		
UDP	EPG, ESG	
IP		
MPE	PSI	SI
Секція MPEG-2		
Транспортний потік MPEG-2 TS		
Фізичний рівень системи DVB-C (RS, КАМ-М, тощо)		

Рисунок 2 - Стек протоколів системи DVB-C при доставленні даних мережі Інтернет для прямого каналу

У таблиці 1 наведено результат порівняльної характеристики системи цифрового кабельного телевізійного мовлення DVB-C, визначеної в Рекомендації ITU-T J.83 та стандарті ETSI EN 300 429, та системи DVB-C2, стандарт на яку опубліковано інститутом ETSI [2].

Таблиця 1– Порівняльна характеристика системи DVB-C та DVB-C2

Параметр	Система	
	DVB-C	DVB-C2
Технічні вимоги на систему передавання	ITU-T J.83/A, ETSI EN 300 429	ETSI EN 302 769
Технічні вимоги на приймач	ETSI EN 300 429	ETSI EN 302 769
Ширина смуги частот каналів, МГц	8	6, від 8 до 450
Метод модуляції	КАМ-16, КАМ-32, КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256	КАМ-16, КАМ-64, КАМ-256, КАМ-1024, КАМ-4096
Коефіцієнт скруглення АЧХ формуючого фільтру	0,15	-
Формат системного потоку	модифікований MPEG-2 TS	потік BB
Швидкість цифрового потоку MPEG TS, Мбіт/с	від 25,64 до 51,29	до 82,93 Мбіт/с (канал 8 МГц)
Зовнішній код захисту від помилок	RS (204, 188)	код BCH, корегувальна здатність від 8 до 12 символів
Внутрішній код захисту від помилок	-	код LDPC зі швидкістю коду 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
Рандомізація	PRBS, $1+x^{14}+x^{15}$	
Перемеження	байтове часове, $I = 12$	Бітове зигзагоподібне, часове та частотне
Розподіл ресурсу каналу	TDM	FDM
Режим OFDM/ захисний інтервал	-	4k/ 1/64 або 1/128
Синхронізація/ компенсація впливу каналу	Адаптивний еквалайзер	пілот-сигнали, PP1-PP7
Величина відношення С/Ш у каналі, дБ	від 12 до 35	від 10 до 35
Величина BER	$\approx 10^{-11}$	$\approx 10^{-14}$

БАЗОВІ ПАРАМЕТРИ, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ КОНТРОЛЮ У ТРАКТІ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ

У таблиці 2 наведені базові параметри, що підлягають контролю в наскрізному тракті системи цифрового кабельного телевізійного мовлення, з визначенням частини загального тракту, де проводиться вимірювання [3]. Більшість параметрів, що підлягають контролю у системі DVB-C, і методика їх оцінки є схожими із застосовними в інших системах цифрового мовлення. Це пов'язане з тим, що застосовують схожі методи модуляції й кодування, а, відповідно, для оцінки впливу спотворень і завад можуть бути використані й схожі критерії якості функціонування тракту.

Таблиця 2 – Основні параметри, що підлягають контролю у тракті DVB-C

Параметр	Передавач	Мережа	Приймач
Аналіз залежності коефіцієнта BER від різних факторів			
4) BER перед декодером Ріда-Соломона	×	×	×
5) BER після декодера Ріда-Соломона	×	×	×
6) Залежність BER від відношення E_b/N_0	×	×	
7) Еквівалентне погіршення через шум	×		×
Аналіз характеристик I/Q-складових сигналу КАМ (аналіз сигнального сузір'я)			
8) Коефіцієнти MER та EVM	×	×	×
9) Придушення несучого коливання	×		×
10) Розбаланс амплітуд AI	×		×
11) Квадратурна помилка QE	×		×
12) Фазовий джитер PJ	×		×

Аналіз залежності коефіцієнта BER від різних факторів. У системі DVB-C, на відміну від систем цифрового мовлення в наземному та супутниковому середовищі, використовується один коригувальний кодер, базований алгоритмі Ріда-Соломона. Застосування згорткового кодування не є доцільним у кабельній розподільній мережі, тому що рівень завад у кабелі вкрай малий і застосування додаткового кодування буде приводити до недоцільного зниження інформаційної швидкості. Тому у системі DVB-C оцінюється тільки два варіанти коефіцієнта помилок бітів (BER):

- коефіцієнт BER перед декодером Ріда-Соломона;
- коефіцієнт BER після декодера Ріда-Соломона.

В межах стандартів DVB бажаним є функціонування систем цифрового мовлення у квазібезпомилковому (QEF) режимі. За цього режиму практично відсутні спотворення цифрового зображення та припустимим є поява приблизно одного невірно декодованого елемента зображення за годину, що відповідає вкрай незначному рівню спотворень. Реалізується це за допомогою каскадного включення декількох корегувальних каналних кодерів, а в разі незначного рівню завад, як у системі кабельного телебачення, й одного каналного кодеру. Причому, якщо на вході декодера Ріда-Соломона буде забезпечено вірогідність помилки біту, що відповідає приблизно $2 \cdot 10^{-4}$, тоді з виходу цього кодеру ймовірність помилки буде відповідати $10^{-11} - 10^{-12}$. Саме за цієї ймовірності DVB-C буде працювати в QEF-режимі [6, 7].

У практиці експлуатації систем кабельного мовлення прийнято оцінювати відношення сигнал/шум у вигляді відношення енергії біта до спектральної щільності потужності шуму (E_b/N_0). Оцінка залежності BER від відношення E_b/N_0 дає можливість отримати криву, яка показує зниження якості під час роботи системи в усіх діапазонах значень BER. Залишкове значення BER за високих значень E_b/N_0 є ознакою можливих проблем у мережі [8].

Ще одним параметром, який звичайно оцінюють у системі DVB-C є величина еквівалентного погіршення через шум (END). Величину END отримують із різниці в дБ відношення C/N або E_b/N_0 , необхідного для досягнення значення коефіцієнта BER, який дорівнює 10^{-4} , і відношення C/N або відношення E_b/N_0 , при яких теоретично досягається BER зі значенням 10^{-4} для каналу з АБГШ [3].

Аналіз характеристик I/Q-складових сигналу КАМ. Загальна якість модуляції сигналу оцінюється двома параметрами [3]:

- коефіцієнтом помилок модуляції (MER);
- величиною вектора помилки (EVM).

Коефіцієнт помилок модуляції (MER) вказує на погіршення сигналу на вході приймача і дозволяє оцінити здатність цього приймача правильно декодувати сигнал. Збирається інформація про N парах координат (I_j, Q_j) символів, що приймаються. Ідеальне положення вибраного символу (центр блоку прийняття рішень) представляється вектором (I_j, Q_j) . Вектор $(\delta I_j, \delta Q_j)$ визначається як відстань між ідеальним і реальним положенням символу, що приймається. Іншими словами, вектор (\bar{I}_j, \bar{Q}_j) , що приймається, є сумою ідеального вектора (I_j, Q_j) і вектора помилок $(\delta I_j, \delta Q_j)$ (рисунк 3).

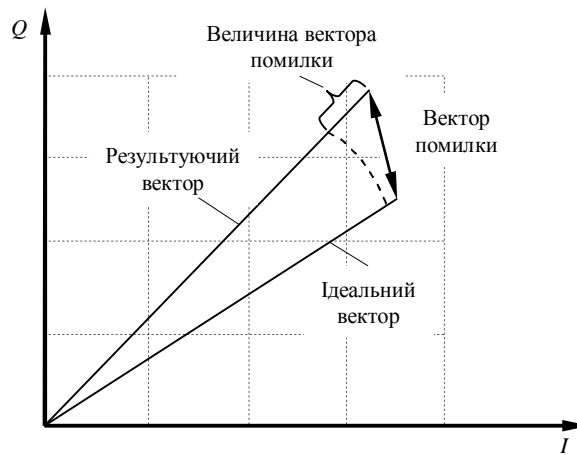


Рисунок 3 – До визначення вектора помилки та величини коефіцієнта EVM

Сума квадратів ідеального вектора символів ділиться на суму квадратів вектора помилок символів. Результат, виражений відношенням потужностей в децибелах, визначається як коефіцієнт помилок модуляції MER:

$$MER = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\};$$

$$MER = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}};$$

$$EVM = \frac{1}{S_{\max}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}.$$

Ці параметри однозначно зв'язані:

$$MER \times EVM = \frac{1}{S_{\max}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)},$$

де S_{\max} - максимальне значення модуля векторів (I_j, Q_j) .

Крім абсолютного значення коефіцієнту MER також використовують його середньоквадратич-

не значення MER_{RMS} , що піддано усередненню за певний проміжок часу, та значення $MER_{\%}$, що перевищується протягом певного проміжку часу (наприклад, в 99 % часу спостереження).

Таким чином, досить виміряти один з них, проте MER ближче до традиційного відношення сигнал/завада (SNR), хоча враховує більше число чинників, що заважають, а за наявності в каналі тільки нормальних шумів співпадає з SNR. Вимірювання цих параметрів повинні проводитися як в передавачі, так і в приймачі.

Параметри MER та EVM типово використовують для оцінки спотворень у квадратурному модуляторі системи DVB-C (рисунок 4). До таких спотворень відносять нерівномірність підсилення I/Q -компонент КАМ-М сигналу (надалі розбаланс амплітуд I/Q), фазова помилка I/Q -компонент, ступінь придушення носійного колювання та фазовий джиттер. Останні два спотворення у цій статті розглянуто не буде.

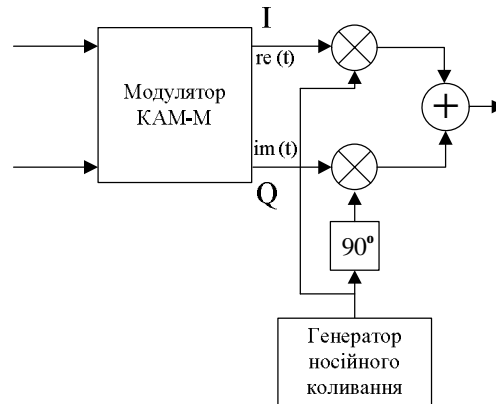


Рисунок 4 – Узагальнена структурна схема квадратурного модулятора системи DVB-C

Нерівномірність (розбаланс) амплітуд I/Q -складових у квадратурному модуляторі виникає внаслідок нерівномірності підсилення в обох каналах. У тому випадку, якщо виникає нерівномірність амплітуд I/Q -складових, то довжини векторів, що утворюють вектор модульованого сигналу на сигнальному сузір'ї, будуть різними і, отже, повністю не компенсуються. При цьому в односмуговому сигналі крім однієї бічної смуги буде присутнім частина другої бічної смуги, яка частково подавлена. За наявності розбалансу I/Q -складових у квадратурному модуляторі сигнальне сузір'я КАМ «стиснуто» уздовж однієї з осей (вертикальної або горизонтальної) комплексної площини I/Q . Величину розбалансу амплітуд I/Q -складових сигналу КАМ в більшості випадків приводять у дБ.

У тому випадку, якщо в квадратурному модуляторі передавача компонента Q не буде помножена з носійним колюванням локального гетеродина, що піддано зсуву точно на 90° , то виникнуть спотворення результуючого сигналу після додавання. Спотворення такого типу дістало назву *фазової* або *квадратурної помилки*.

При появі фазової помилки I/Q -складових виникатиме ефект, аналогічний тому, який виникає при нерівномірності амплітуд I/Q -складових. За рахунок різниці фаз між векторами їх компенсація буде неповною, і, відповідно рівень спотворень зростатиме. З появою фазової помилки I/Q -складових буде виникати ефект, аналогічний тому, який виникає за нерівності амплітуд I/Q -складових. За рахунок різниці фаз між векторами їх компенсація буде неповною, і, відповідно, рівень спотворень буде зростати. Наявність фазової помилки у квадратурному модуляторі призводить до викривлення сигналу, яке можна спостерігати на сигнальному сузір'ї. При цьому воно ухвалює ромбовидну форму.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ СПОТВОРЕНЬ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЬНОГО КАНАЛУ СИСТЕМИ DVB-C

Для проведення оцінки впливу радіочастотних спотворень на характеристики системи DVB-C будемо використовувати модель низькочастотної частини тракту цієї системи. Такий підхід є найбільш ефективним для проведення подібного аналізу, тому що він не вимагає застосування діючого обладнання, що не пристосоване для проведення детального аналізу характеристик без наявності спеціального обладнання вимірювання, що на сьогодні є досить дорогим. Сучасні можливості, що надають спеціалізовані середовища моделювання є такими, що можуть забезпечити отримання результатів, що є максимально близькими до реальних. Крім того, в більшості випадків при розробці систем цифрового телевізійного мовлення в проекті DVB застосовують моделювання, результати якого потім використовують в якості еталонних.

Для побудови моделі було використано середовище математичного моделювання Matlab та одне з його розширень – пакет Simulink. Під час проведення моделювання впливу спотворень на характеристики кабельного каналу системи DVB-C здійснювалось передавання псевдовипадкових даних в корисному навантаженні пакета транспортного потоку MPEG-2 TS. В приймачі ці дані порівнювались з даними з виходу декодера Ріда-Соломона за різними алгоритмами, що їх описано вище.

На першому етапі аналізувались характеристики кабельного каналу системи DVB-C лише за впливу АБГШ, при цьому аналізувались параметри BER до та після Ріда-Соломона. Дослідження проводилось при 5 значеннях відношення сигнал/шум. Додаткового, як результат дослідження було визначення припустимих значень відношення E_b/N_0 , за яких система DVB-C працює в режимі QEF. Результати проведення моделювання надано на рисунках 5-7. Під час інтерпретації цих результатів, а також в подальшому, використано інтерполяцію кусковим кубічним поліномом Ерміта (PCHIP).

Другий етап досліджень включав роздільний аналіз впливу двох типів квадратурних спотворень – амплітудного розбалансу та фазової помилки. Для оцінювання ступеню впливу спотворень використано параметри BER, MER та EVM. Як результат цього дослідження є визначення припустимого рівню квадратурних спотворень кожного типу. Результати проведення моделювання надано на рисунках 8-10.

На третьому етапі проводилась оцінка погіршення характеристик системи DVB-C при спільному впливі квадратурних спотворень та АБГШ, що характеризувалось параметром еквівалентного погіршення через шум. Як результат цього дослідження є визначення припустимих значень розбалансу амплітуд та фазової помилки в квадратурному модуляторі. Результати проведення моделювання надано на рисунках 11-12.

Під час моделювання також проводився аналіз спотворення сигнального сузір'я відносно еталонного в режимі з КАМ-128. Результати цього аналізу надано на рисунку 13 для таких випадків:

- при впливі АБГШ (рисунок 13а - при мінімальному рівні шуму, рисунок 13б при значному рівні шуму);
- при впливі нерівномірності підсилення I/Q-компонент (рисунок 13в при незначній нерівномірності та рисунок 13г - при значній нерівномірності);
- при фазовій помилці I/Q-компонент (рисунок 13д - при незначній помилці та 13е при значній помилці).

З рисунків 5-12 може бути визначено порогові значення відношення носійне коливання/шум (C/N) в каналі з АБГШ, а також величину фазової (квадратурної) помилки та амплітудного розбалансу в квадратурному модуляторі. Критерієм визначення порогового значення є величина BER перед декодером Ріда-Соломона, що відповідає значенню $2 \cdot 10^{-4}$ (квазібезпомилковий режим, QEF). На рисунках 5-12 можливо визначити ці значення як перетин кривих для кожного з режимів та рівню QEF, що позначено пунктирною лінією.

ВИСНОВОК

Сьогодення характеризується бурхливим прогресом цифрових мовленнєвих технологій, їх інтеграцією з мультимедійними та іншими інфокомунікаційними технологіями. Така тенденція стосується всіх середовищ розподілу сигналів мовлення до користувача – наземного (ефірного), супутниково-

го і кабельного. Це пов'язано з технічним прогресом існуючих служб і появою нових систем і нових служб, які стають все більш досконалішими та складнішими. Великого поширення набули широкосмугові кабельні мережі на базі технології DVB-C, що дозволяють забезпечити цілий комплекс послуг, що включають як доставку сигналів телевізійного і мультимедійного мовлення, так і даних будь-якого іншого типу.

Сучасна кабельна система цифрового телевізійного мовлення у стандарті DVB-C має достатню гнучкість, щоб забезпечувати необхідні характеристики при розгортанні як в коаксіальних, так і в гібридних волоконо-коаксіальних мережах. Гнучкість полягає в тому, що можливо вибрати необхідну конфігурацію, яка буде забезпечувати доставлення програм цифрового мовлення високої якості через мережі з різними типами спотворень і характеристиками. Крім того систему DVB-C при розгортанні відповідної інфраструктури може бути використано для доставляння даних мережі Інтернет від провайдера до користувача (даних прямого каналу). Тому важливим є узагальнення параметрів, що підлягають контролю під час мовлення, методів їх вимірювання та кількісної оцінки, що на цей час у відповідних нормативних документах відсутні. Ефективним інструментом для вирішення таких задач є середовища моделювання, що дозволяють реалізувати наскрізний тракт системи цифрового кабельного мовлення та провести аналіз впливу спотворень на характеристики цієї системи без необхідності придбання дорогого передавального та приймального обладнання, а також обладнання аналізу спотворень.

ЛІТЕРАТУРА

1. J. Robert DVB-C2 – the standard for next generation digital cable transmission. - Теле-Спутник - 12(170) декабрь 2009 г.
2. Recommendation ITU-T J.83 Digital multi-programme systems for television, sound and data services for cable distribution, 2004
3. Цифрове телевізійне мовлення (DVB). Характеристики системи передавання. Настанови щодо вимірювання (ETSI TR 101 290: 2001): ДСТУ ETSI TR 101 290: 2004. – [Чинний від 01.04.2006] . — К. : Держспоживстандарт України 2004. – 175 с. — (Національний стандарт України).
4. Зима З.А. Сети кабельного телевидения / Зима З.А., Колпаков И.А., Романов А.А.: Под ред. М.Ф. Тюхтина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 254 с.
5. Волков С.В. Сети кабельного телевидения / Волков С.В.. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 616 с.
6. Мамаев Н.С. Системы цифрового телевидения и радиовещания / Мамаев Н.С.; под. ред. Н.С. Мамаева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 254 с.
7. Кривошеев М.И. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Зубарев Ю.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н.– 568 с.
8. Б. А. Локшин Цифровое вещание: от студии к телезрителю / Локшин Б. А.- М.: Компания САЙ-РУС СИСТЕМС, 2001. – 213 с.
9. James Farmer. Modern Cable Television Technology / Farmer James. – Cambridge. – 2004. – 1093 p.

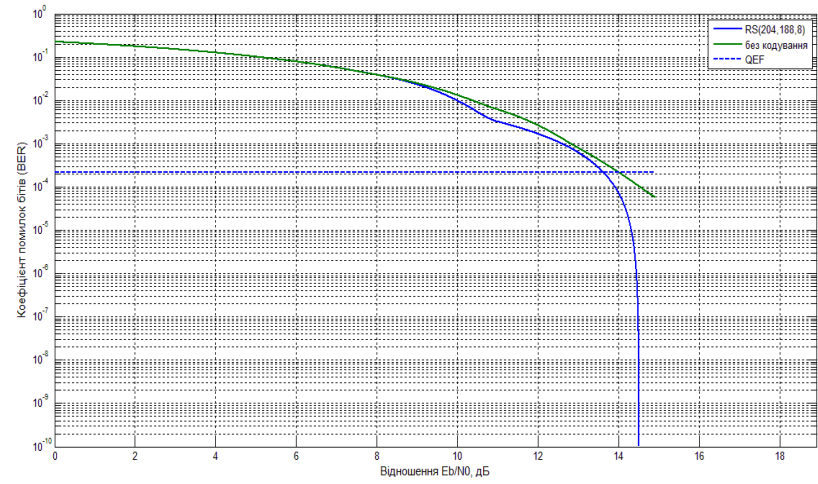
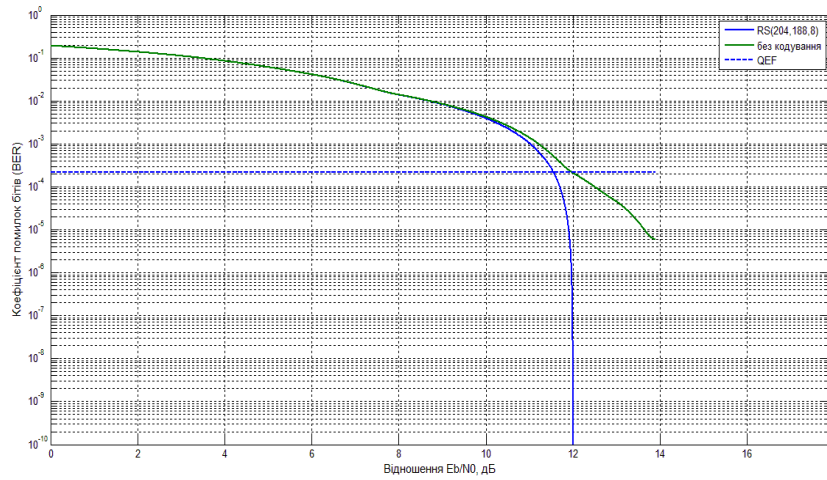


Рисунок 5 – Залежність величини BER до та після декодування за Рідом-Соломоном у режимі DVB-C з КАМ-16 (а) та КАМ-32 (б)

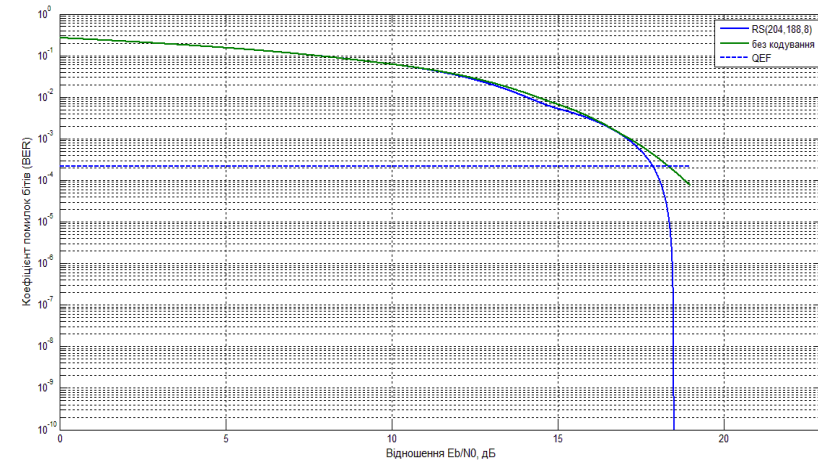
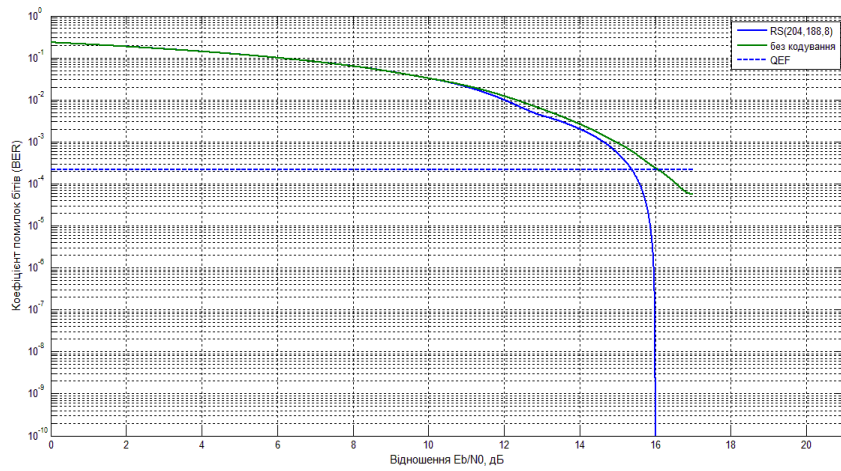


Рисунок 6 – Залежність величини BER до та після декодування за Рідом-Соломоном у режимі DVB-C з КАМ-64 та КАМ-128

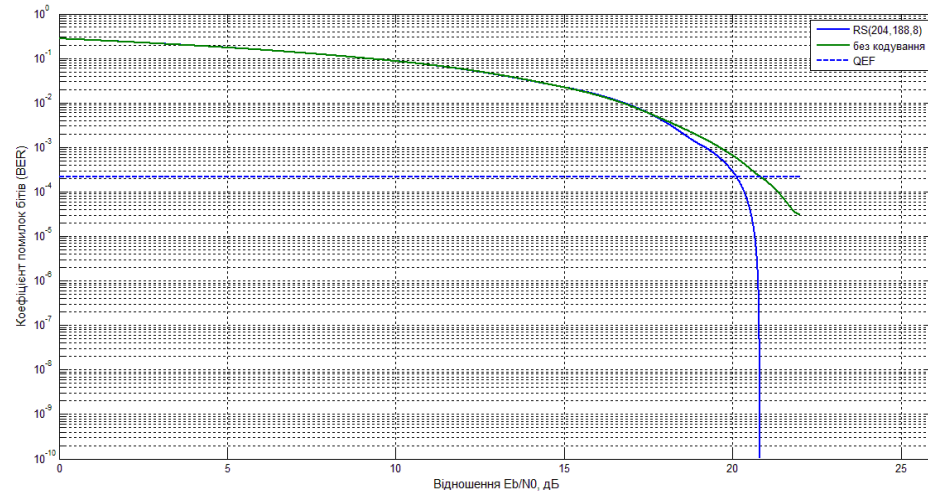


Рисунок 7 – Залежність величини BER до та після декодування за Рідом-Соломоном у режимі DVB-C з КАМ-256

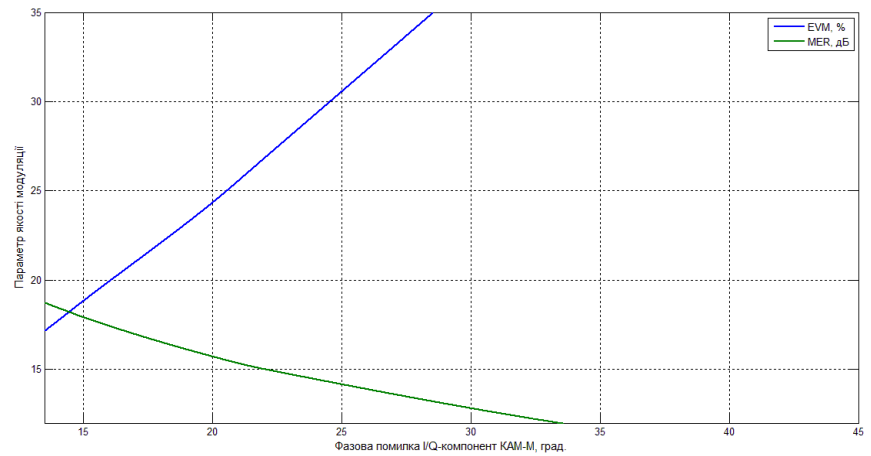
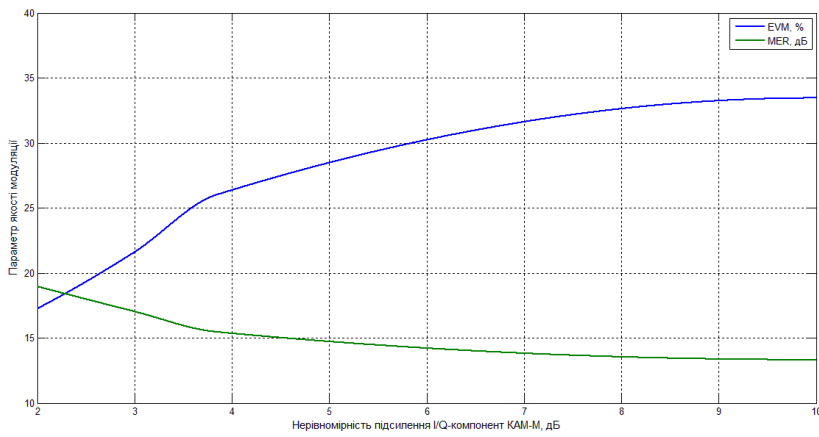


Рисунок 8 – Залежність параметрів якості модуляції від величини нерівномірності підсилення I/Q-компонент КАМ-М

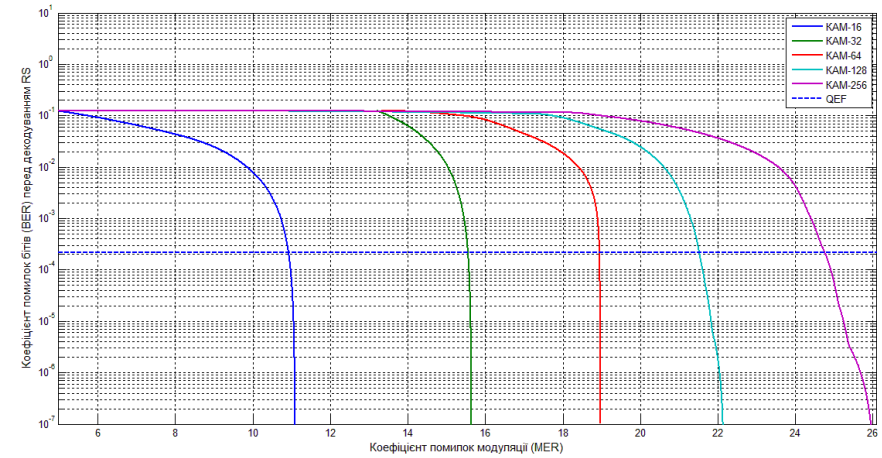
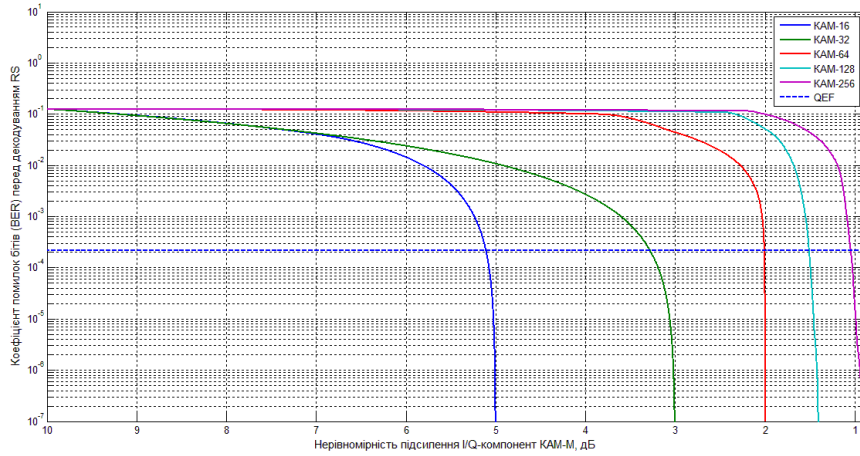


Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта BER перед декодуванням за Рідом-Соломоном від нерівномірності підсилення I/Q-компонент та від коефіцієнта MER за нерівномірності підсилення I/Q-компонент КАМ-М

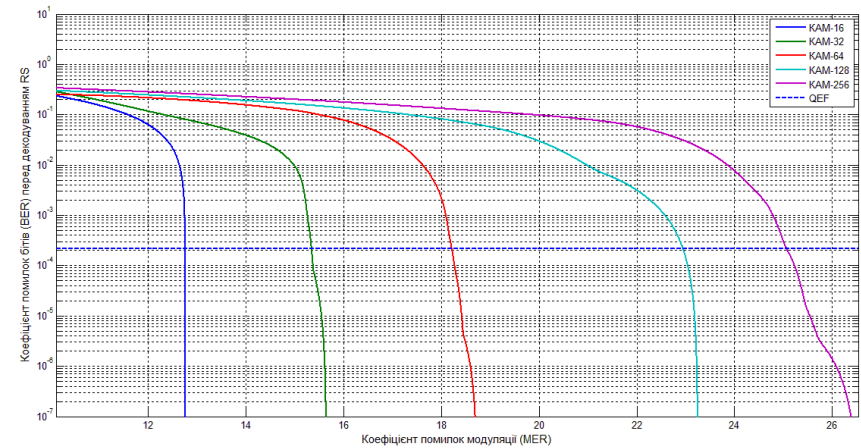
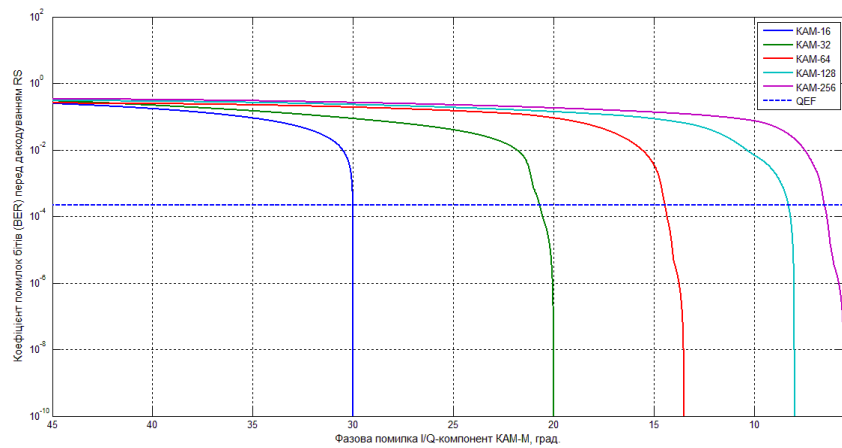


Рисунок 10 – Залежність BER перед декодуванням за Рідом-Соломоном від фазової помилки I/Q-компонент та від коефіцієнта MER за фазової помилки

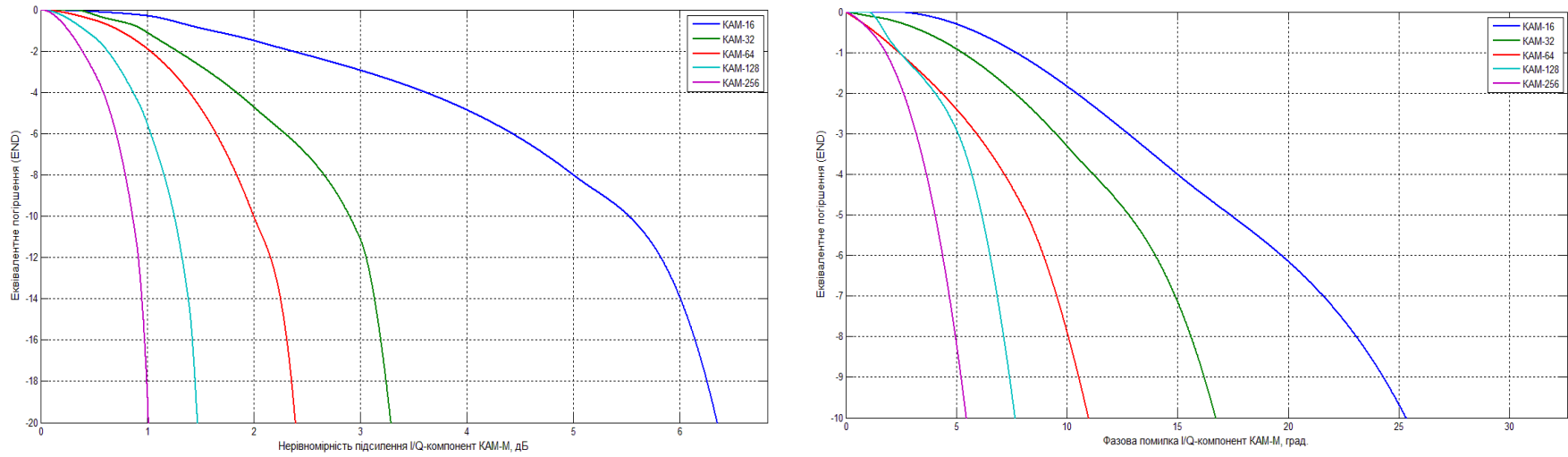


Рисунок 11 – Залежність величини END від величини нерівномірності підсилення та фазової помилки I/Q-компонент

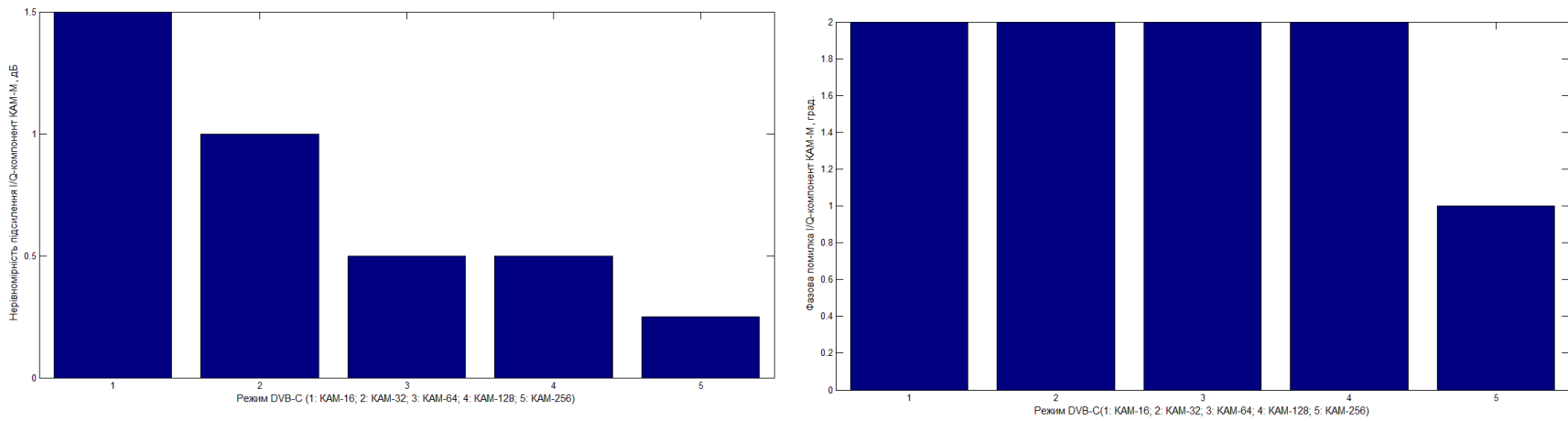


Рисунок 12 – Визначення припустимих величин нерівномірності підсилення та фазової помилки I/Q-компонент КАМ-М

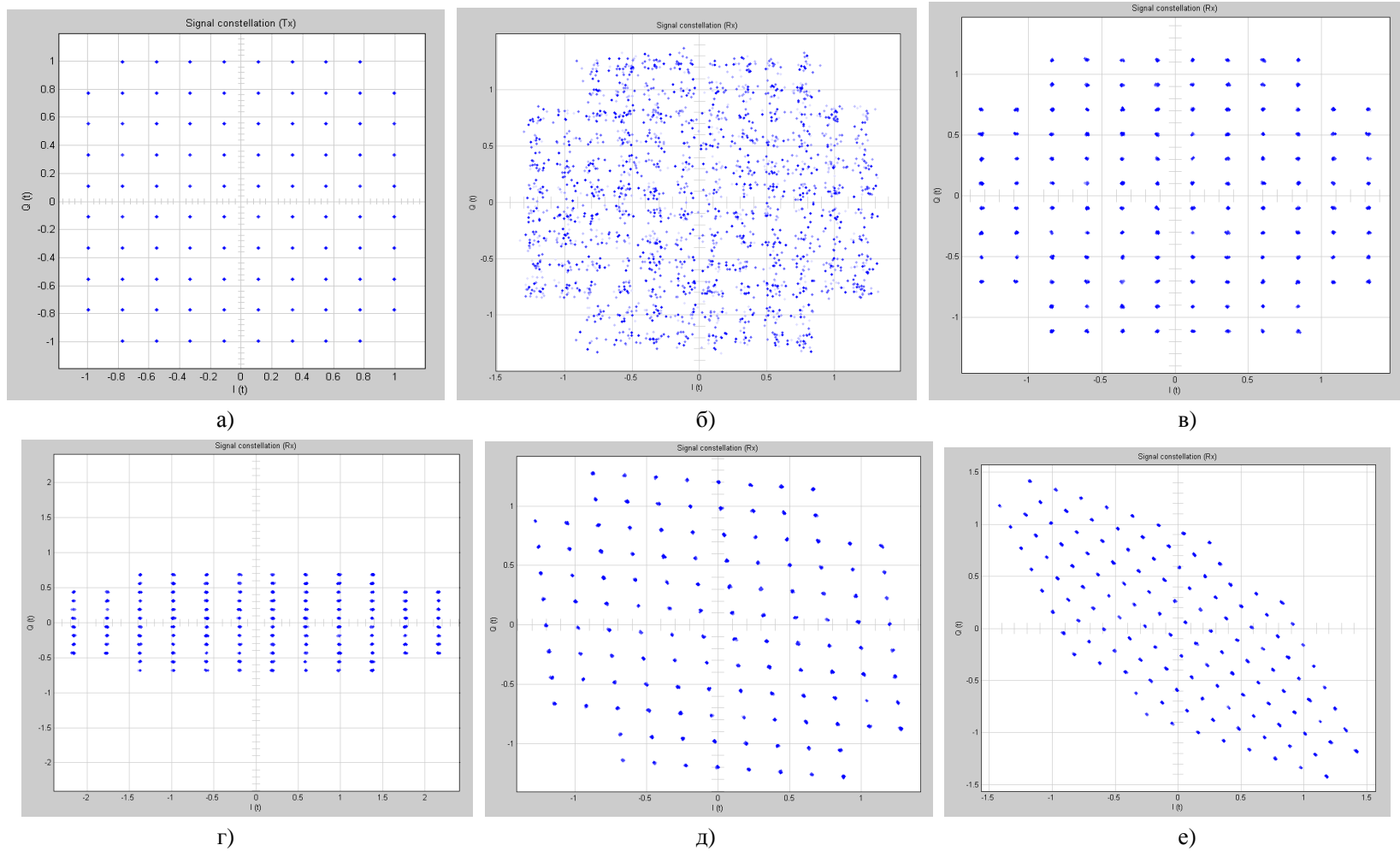


Рисунок 13 – Сигнальні сузір'я системи DVB-C у режимі з КАМ-128 при впливі АБГШ: а) при мінімальному рівні шуму б) при значному рівні шуму), при впливі нерівномірності підсилення I/Q-компонент: в) при незначній нерівномірності г) при значній нерівномірності), при фазовій помилці I/Q-компонент: д) при незначній помилці е) при значній помилці)