

УДК 621.397

**БЕЗПРОВІДНІ КАМЕРИ ДЛЯ СЛУЖБ SAB/SAP В ТРАКТІ  
ВИРОБНИЦТВА ЦИФРОВИХ ПРОГРАМ**

БАЛЯР В.Б., ПУСТОВОЙТ Г. В.

*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, м. Одеса, 65026, Україна  
balyar.vb@onat.edu.ua*

**БЕСПРОВОДНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ СЛУЖБ SAB/SAP В ТРАКТЕ  
ПРОИЗВОДСТВА ЦИФРОВЫХ ПРОГРАММ**

БАЛЯР В.Б., ПУСТОВОЙТ А.В.

*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, м. Одесса, 65026, Украина  
balyar.vb@onat.edu.ua*

**CORDLESS CAMERAS FOR SAB/SAP SERVICES IN DIGITAL  
PROGRAM PRODUCTION CHAIN**

BALIAR V. B., PUSTOVOYT A. V.

*O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications,  
Kuznechna st., 1, Odessa, 65029, Ukraine.  
SE "Ukrainian scientific-research institute of radio and television",  
Bunin st., 1, Odessa, 65026, Ukraine  
balyar.vb@onat.edu.ua*

**Анотація.** У статті надано результати досліджень у напрямі визначення мінімально необхідних радіочастотних характеристик безпроводних камер в тракті виробництва цифрових програм.

**Ключові слова:** безпроводні камерні системи, DVB, COFDM, цифрове телебачення, Matlab.

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований в направлении определения минимально необходимых радиочастотных характеристик беспроводных камер в тракте производства цифровых программ.

**Ключевые слова:** беспроводные камерные системы, DVB, COFDM, цифровое телевидение, Matlab.

**Abstract.** In article results of studies on minimal required performance estimation of cordless cameras in digital program production chain.

**Keywords:** cordless camera systems, DVB, COFDM, digital television, Matlab.

Теперішній час характеризується швидкою зміною подій та необхідністю мобільності практично в будь-якій сфері життєдіяльності. Для того, щоб досить інформативно та оперативно висвітлювати ці події, необхідно забезпечувати відповідні характеристики елементів тракту телевізійного виробництва, зокрема безпроводних камер. Окрім того, сучасне телебачення вимагає знімання вже не тільки статичних планів у рамках телевізійних сюжетів, а постійного переміщення оператора (наприклад, в глядацький зал, на сцену (тощо)). При зніманні на місці подій також не завжди можливо розгорнути кабельну інфраструктуру для живлення, сигнальних кабелів тощо. В таких умовах ефективним технічним рішенням є застосування безпроводних камер.

Безпроводні камери використовують в рамках служб, допоміжних до виробництва (SAP, ServiceAncillarytoProduction) та мовлення (SAB, ServiceAncillarytoBroadcasting) – тех-

нічних служб в рамках позастудійного програмного виробництва та мовлення. Вони на теперішній час ще не досить широко застосовуються внаслідок поетапного переведення телевізійних студій на цифровий формат виробництва та підвищення мобільності їх кореспондентських груп, але їх застосування з кожним днем збільшується.

В наявній технічній документації та науковій/ спеціалізованій літературі (наприклад, посилання [1-5]) значної уваги приділено експлуатаційним характеристикам безпроводних камер, а також параметрам НЧ тракту формування цифрового ТВ сигналу. Однак безпосередньо огляд принципів роботи РЧ модуля безпроводної камери та визначення його характеристик, також як і вимоги до приймальної системи, практично не розглядається. Встановленню саме таких вимог й присвячено цю статтю.

Радіочастотний модуль безпроводної камери (приклад показано на рис. 1) для надійного передавання цифрового ТВ сигналу, якому притаманний пороговий ефект (в разі не дотримання необхідних умов приймання притаманні), використовує спеціальне оброблення методом COFDM (мультиплексування ортогональних несучих коливань з за частотою та кодуванням).



Рисунок 1 – Приклади радіочастотних модулів професійних безпроводних відеокамер: а) надкамерна бездротова COFDM система VideoLink; б) камера CW-5HDTX (MIMO)

В зв'язку з цим, безпроводні камери можуть бути встановлені та будуть досить ефективними на будь-якому транспортному засобі (гелікоптері, пересувній телевізійній станції тощо) - COFDM разом з каналним кодуванням та спеціальним обробленням дозволяє досить ефективно компенсувати негативний вплив багатопроменевого приймання сигналу та ефекту Доплера. У свою чергу застосування методів цифрової модуляції ФМ-4, КАМ-16, КАМ-64 дозволяє з необхідним компромісом між завадостійкістю та швидкістю цифрового потоку (яка впливає також й на суб'єктивну якість цифрового зображення) передавати цифровий сигнал телевізійних систем стандартної та високої чіткості (SDTV та HDTV відповідно). Інші характеристики радіочастотних модулів безпроводних камер (включаючи деякі параметри НЧ тракту) надано в табл. 1.

Зробимо оцінку впливу радіочастотних спотворень на характеристики радіочастотних модулів безпроводних систем. Для цього будемо використовувати параметри, що є типовими для оцінки якості передавання цифрового відеосигналу, - порогове відношення сигнал/шум (SNR, Signal-To-NoiseRatio) та коефіцієнт помилок бітів (BER, BitErrorRatio).

Порогове відношення SNR відповідає такому значенню відношення сигнал/ шум, за якого відсутній пороговий ефект на цифровому зображенні (ефект «розсіпання»). При цьому мають виконуватись норми на величину коефіцієнта BER.

Таблиця 1 – Результат узагальнення параметрів НЧ та РЧ модулів сучасних безпровідних камер

Параметр	Значення
Роздільна здатність відеосигналу	SDTV: 720×576i, 720×576p HDTV: 1080I/50, 1080P/23.98P <sub>s</sub> F, 720P/50
Формат надання кодування відеосигналу	SDI, HD-SDI, MPEG-2, MPEG-4 AVC(AVC-Intra)
Відеоінтерфейси	SD-SDI, HD-SDI, CVBS, Y/ Pr/ Pb, ASI
Формат надання кодування аудіосигналу	Аудіосигнал, вбудований через SDI
Шифрування	AES (256 біт)
Параметри аудіосигналу	4 моно / 2 стереоканали
Робочий діапазон частот	0,4...5,86 ГГц
Можливі діапазони перестроювання РЧ модуля	2,0...2,5 ГГц; 0,4..0,47 ГГц; 5,18...5,86 ГГц; 0,6...0,72 ГГц
Кількість каналів перебудови частоти	2...4
Антенa передавача	вбудована (приблизний коефіцієнт підсилення 2 дБі)
Потужність передавача камери	0,05...35 Вт
Модуляція	MIMO/OFDM/ ФМ-4/ КАМ-16/ КАМ-64
Канальне кодування	двокаскадне блокове, згорткове кодування
Швидкість передавання даних	2...170 Мбіт/с
Дальність дії (в межах прямої видимості)	40...300 м
Діапазон робочих температур	0...50 <sup>0</sup> С
Можливі розміри камери (приклад)	160×190×60 мм
Енергоспоживання камери	12...15 Вт
<p>Скорочення в таблиці:</p> <p>SDI – послідовний цифровий інтерфейс для телебачення стандартної чіткості;</p> <p>HD-SDI - послідовний цифровий інтерфейс для телебачення високої чіткості;</p> <p>AES – поліпшений алгоритм шифрування;</p> <p>CVBS – аналоговий інтерфейс для повного кольорового телевізійного сигналу</p> <p>Y/ Pr/ Pb – цифровий інтерфейс для сигналу яскравості та двох кольорорізницевих сигналів;</p> <p>ASI – асинхронний послідовний інтерфейс;</p> <p>MIMO – система з багатьма передавальними та приймальними антенами.</p>	

Коефіцієнт 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 [6].

У типовому радіочастотному модулі безпроводної камери використовують каскадне включення двох каналних кодерів – кодера блокового коду (зовнішній код) та згорткового коду (внутрішній код) з можливими значеннями швидкості коду 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 (це значення залежить від обраного методу модуляції). Тому оцінюються три варіанти коефіцієнта BER:

- коефіцієнт BER перед декодером внутрішнього коду;
- коефіцієнт BER після декодера внутрішнього коду;
- коефіцієнт BER після декодера зовнішнього коду.

Для мінімізації впливу порогового ефекту необхідно забезпечити функціонування радіочастотного модуля в квазібезпомилковому (QEF, Quasi-ErrorFree) режимі. За цього режиму безпроводна камера буде працювати за ймовірності помилки біта, що буде відповідати величині  $\text{BER} \approx 10^{-11} \dots 10^{-12}$  (на виході декодера зовнішнього коду). Однак для оцінки такої ймовірності помилки необхідно аналізувати цифровий потік з виходу зовнішнього декодера досить тривалий час. Тому зазвичай аналізують ймовірність помилки біта на вході декодера зовнішнього коду. При цьому інтервал часу, протягом якого необхідно аналізувати потік на наявність помилок, є меншим, і вимірювання може бути зроблено за достатньо невеликий час з необхідною точністю [6].

Оцінка характеристик РЧ модуля безпроводної камери проводилась шляхом математичного моделювання у середовищі Matlab та його розширенні Simulink. Під час моделювання аналізувались характеристики РЧ тракту безпроводної камери тільки за впливу АБГШ, при цьому визначалися параметри BER перед та після системокоректуючого декодування. Дослідження проводилось при 6 значеннях відношення сигнал/шум. Як результат було складено таблицю порогових значень відношення сигнал/шум, за яких після внутрішнього декодування виконується норма на величину BER (див. табл. 2). Результати моделювання показано графічно на рис. 2...4.

Таблиця 2 – Порогове значення сигнал/шум для забезпечення режиму QEF

Модуляція	Швидкість коду	Порогове значення SNR, дБ
ФМ-4	1/2	2,037
ФМ-4	3/4	4,554
ФМ-4	5/6	5,668
КАМ-16	1/2	8,284
КАМ-16	3/4	11,168
КАМ-16	5/6	12,337
КАМ-64	1/2	13,706
КАМ-64	3/4	17,463
КАМ-64	5/6	18,683

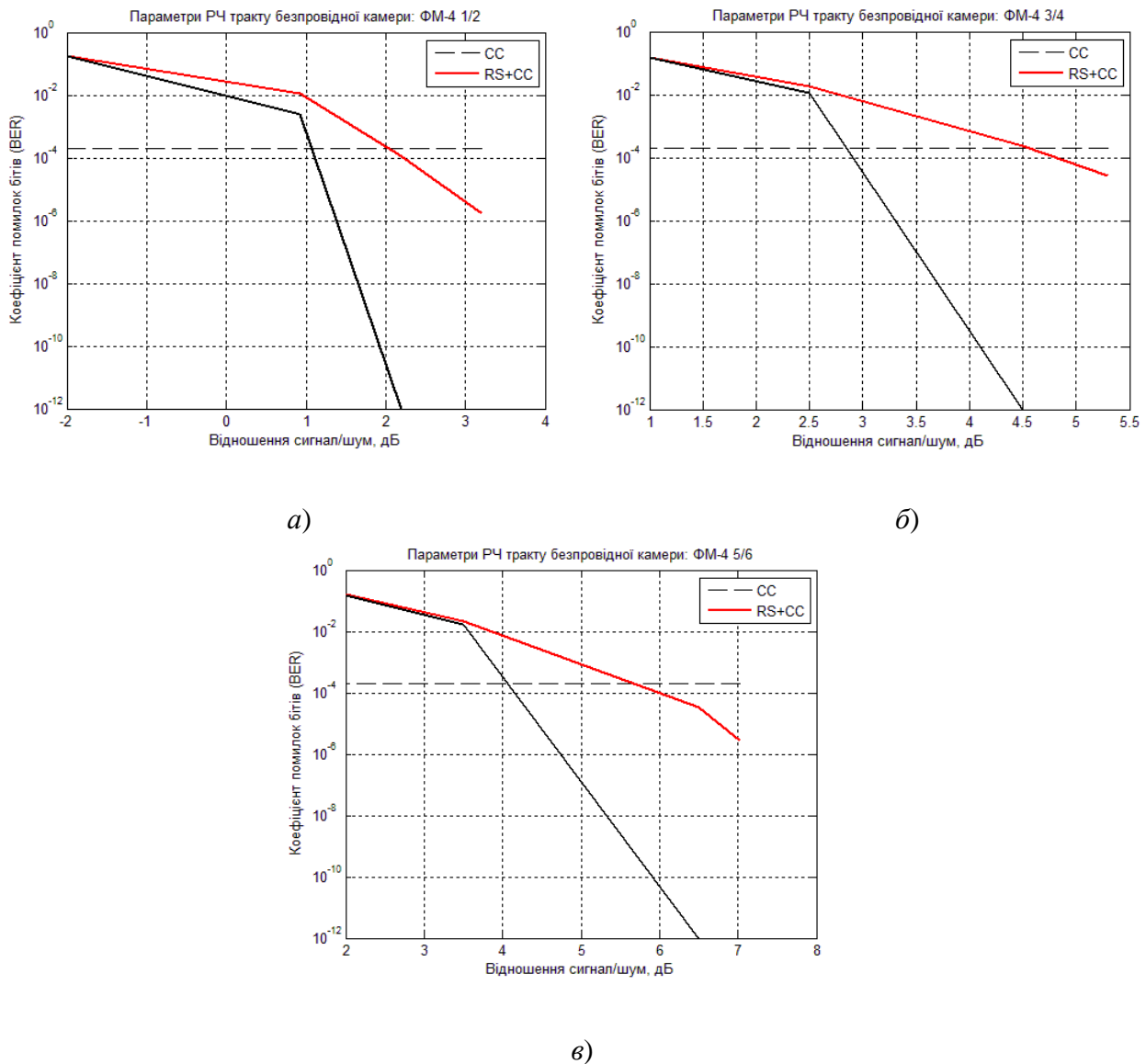


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта BER від відношення сигнал/шум при параметрах радіочастотного модуля безпроводної камери:  
 а) ФМ-4 1/2    б) ФМ-4 3/4    в) ФМ-4 5/6

На рис.2 4 сірою лінією відзначено графік для згорткового коду (внутрішнього коду) та чорною для блокового коду Ріда-Соломона (зовнішнього коду). Видно, що завадостійкість коду зменшується зростанням швидкості кодування, що приводить до зміни нахилу кривих. З урахуванням того, що для радіочастотних модулів значення BER на вході декодера зовнішнього коду приймача має бути не менше  $10^{-4}$ , отримаємо порогові значення для модуляції ФМ-4, КАМ-16 та КАМ-64 зі швидкостями 1/2, 3/4, 5/6, що надано в табл. 2.

У системах з COFDM модуляція ФМ-4 забезпечує більш високу надійність, ніж КАМ-16, а та, у свою чергу, більш надійна, ніж КАМ-64. Отже, опираючись на дані із табл. 2, найбільш якісний сигнал буде при використанні модуляції ФМ-4 та швидкості коду 1/2, але при такому варіанті забезпечується найменша швидкість цифрового потоку для сигналів відео/аудіо. Видно, наприклад, що при ФМ-4 зі швидкістю коду 3/4 порогове відношення приблизно на 14,1 дБ менше, ніж при КАМ-64 5/6.

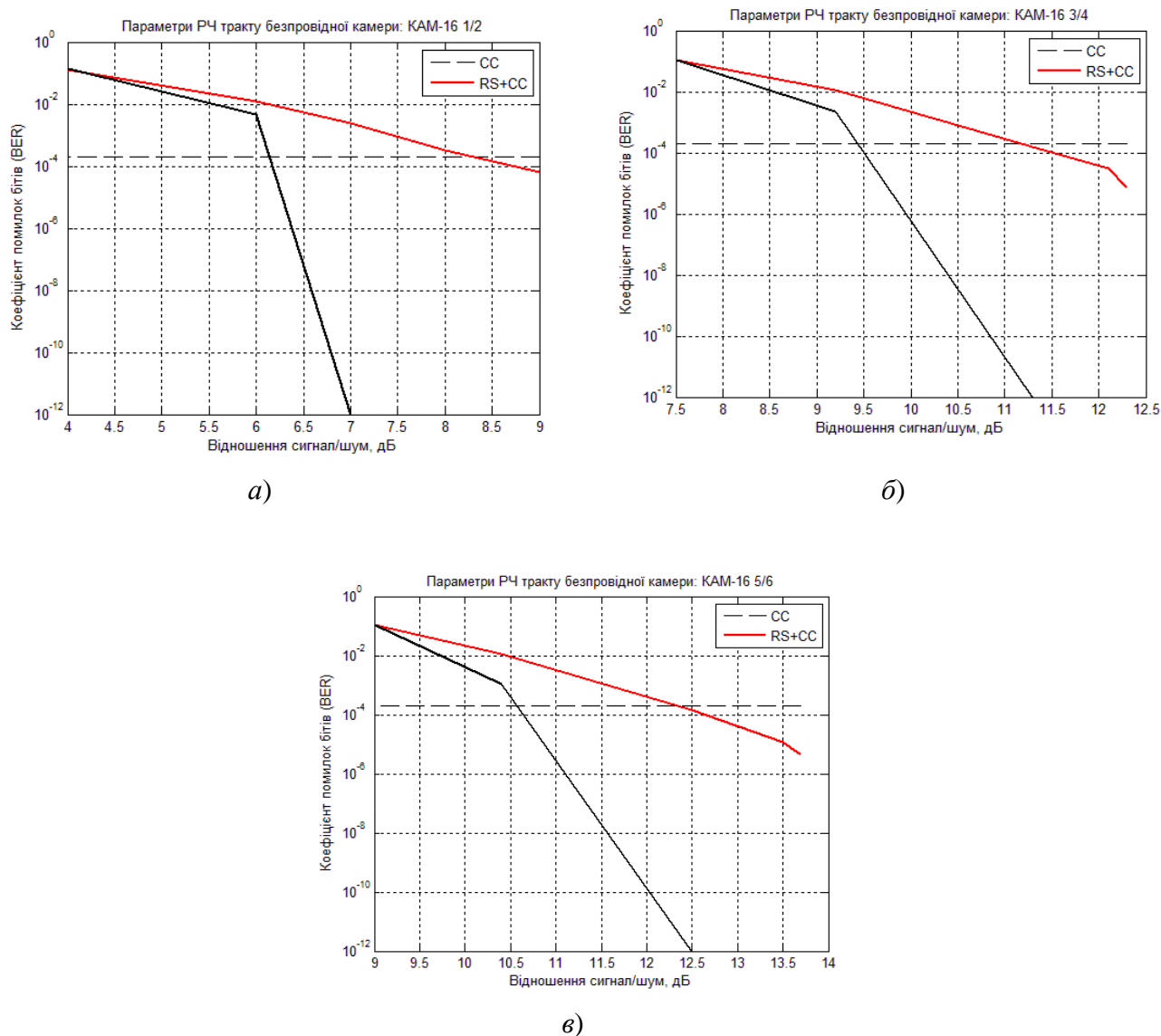
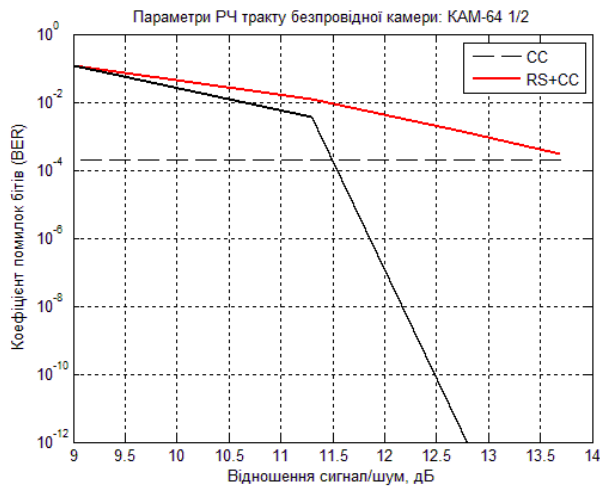


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта помилок бітів від відношення сигнал/шум при параметрах радіочастотного модуля безпроводної камери:  
 а) KAM-16 1/2    б) KAM-16 3/4    в) KAM-16 5/6

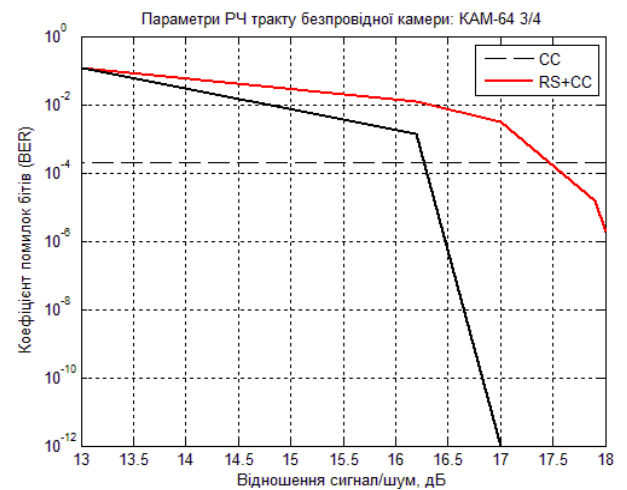
В безпроводних камерах, що базуються на стандарті ETSI EN 300 744, для передавання службової інформації використовують спеціальний службовий сигнал, що називається сигналом сигналізації параметрів передавання (TPS, TransmissionParameterSignaling). Він призначений для повідомлення приймачу конкретних даних про обраний режим передавання, наприклад, інформації щодо таких параметрів:

- метод модуляції (ФМ-4, KAM-16, KAM-64);
- режим OFDM (кількість несучих коливань - 2k або 8k);
- значення захисного інтервалу;
- швидкість внутрішнього коду.

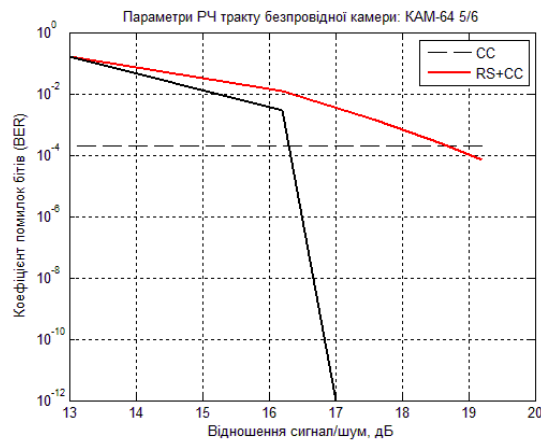
Інформація передається з використанням групи пілот-сигналів TPS. Інформація TPS кодується кодом БЧХ (67, 53, 2). Метод модуляції несучих TPS – ДФМ-2. Кількість пілот-сигналів TPS в одному кадрі OFDM залежить від режиму OFDM. Для режиму 2k паралельно передаються 17 груп TPS-несучих, а для режиму 8k-68 груп TPS-несучих.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта помилок бітів від відношення сигнал/шум при параметрах радіочастотного модуля безпроводної камери:

а) КАМ-64 1/2    б) КАМ-64 3/4    в) КАМ-64 5/6

За допомогою математичного середовища Matlab та пакета Simulink побудовано схему передавання сигналів TPS (при модуляції в основному тракту – КАМ-64). Оцінювання проводилося за такими параметрами:

- коефіцієнт помилок бітів TPS;
- коефіцієнт помилок слова синхронізації;
- коефіцієнт помилок швидкості коду;
- коефіцієнт помилок захисного інтервалу.

Ці параметри характеризують завадостійкість підсистеми автоматичного конфігурування приймального модуля безпроводної камери. В тому разі, якщо в цій інформації будуть виникати помилки, тоді параметри передавача, закодовані у вигляді двійкової послідовності різної довжини, будуть визначені неправильно. Це, у свою чергу, впливатиме на коректність декодування й приймальний модуль буде конфігуруватись не коректно – відео- й аудіосигнали декодовані не будуть. В цьому дослідженні оцінювались:

- ймовірність того, що не буде коректно встановлено синхронізацію приймання несучих TPS (коефіцієнт помилок слова синхронізації);
- ймовірність того, що не буде коректно встановлено швидкість коду (коефіцієнт помилок швидкості коду);
- ймовірність того, що не буде коректно встановлено захисний інтервал (коефіцієнт помилок захисного інтервалу).

Результати моделювання показано на рис. 5...6.

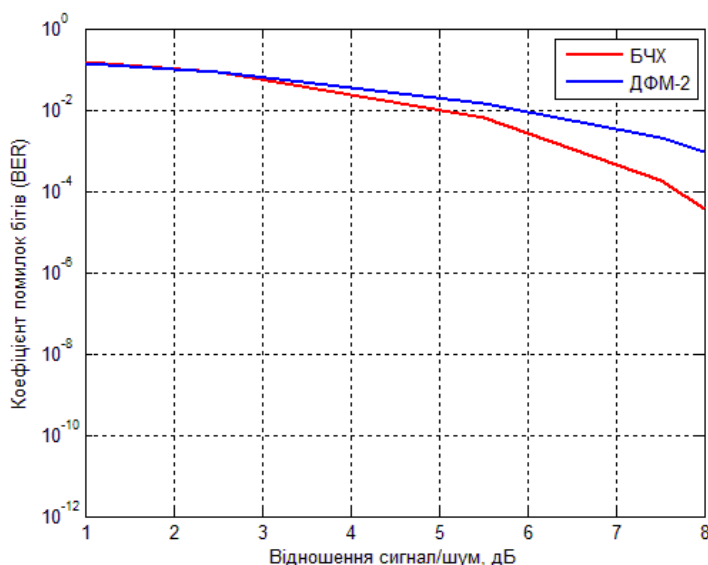


Рисунок 5 – Залежність бітової помилки сигналу TPS від відношення сигнал/шум

На рис. 5...6 можна спостерігати, що невірне визначення кожного із параметрів практично рівномірне (спостерігаються лише незначні відмінності). Для того, щоб приймача було сконфігуровано належним чином потрібно забезпечувати відношення сигнал/шум 7,8 дБ, при цьому коефіцієнт помилок буде незначним. Нижче цього значення відношення сигнал/шум прийнята інформація буде містити помилки.

Таким чином, проведений аналіз показав, що сучасні безпроводні камери є достатньо ефективним технічним рішенням для доставки цифрового ТВ сигналу з рівнем якості, що цілком задовольняє вимоги сучасних цифрових студій щодо суб'єктивної якості й якості передавання на певну відстань. Як результат досліджень, дано оцінку характеристик безпроводних камер для служб SAB / SAP, зокрема проаналізовано параметри НЧ та РЧ трактів безпроводної камери та визначено основні варіанти використання в процесі виробництва програм. Визначено порогові значення сигнал/шум після декодера згорткового коду для ФМ-4, КАМ-16 та КАМ-64 за впливу АБГШ. Досліджені методи оцінки технічної якості роботи безпроводної камери на рівня сигналу службової інформації та визначено основні наслідки перевищення рівню спотворень у наскрізному тракті розподілу програмних матеріалів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Компанія DNK «Цифрові безпроводні камери». Веб-сайт <http://www.dnk.ru/events/183142/>
2. Reinhard Penzel "Wireless Camera Technology in High Definition". Веб-сайт <http://www.live-production.tv/news/products/wireless-camera-technology-high-definition.html>
3. Компанія Link Research "LinkXP wireless TV camera system". Веб-сайт <ftp://ftp.vislink.com/Link%20products/L110x%20SD%20Tx/Documents/L110x%20Link%20XP%20Manual%20Issue%202.3.pdf>
4. Компанія DNK «Системи безпроводної передачі сигналу DynaPix TRIAD компанії DTCCCommunications». Веб-сайт <http://www.dnk.ru/events/183195/>



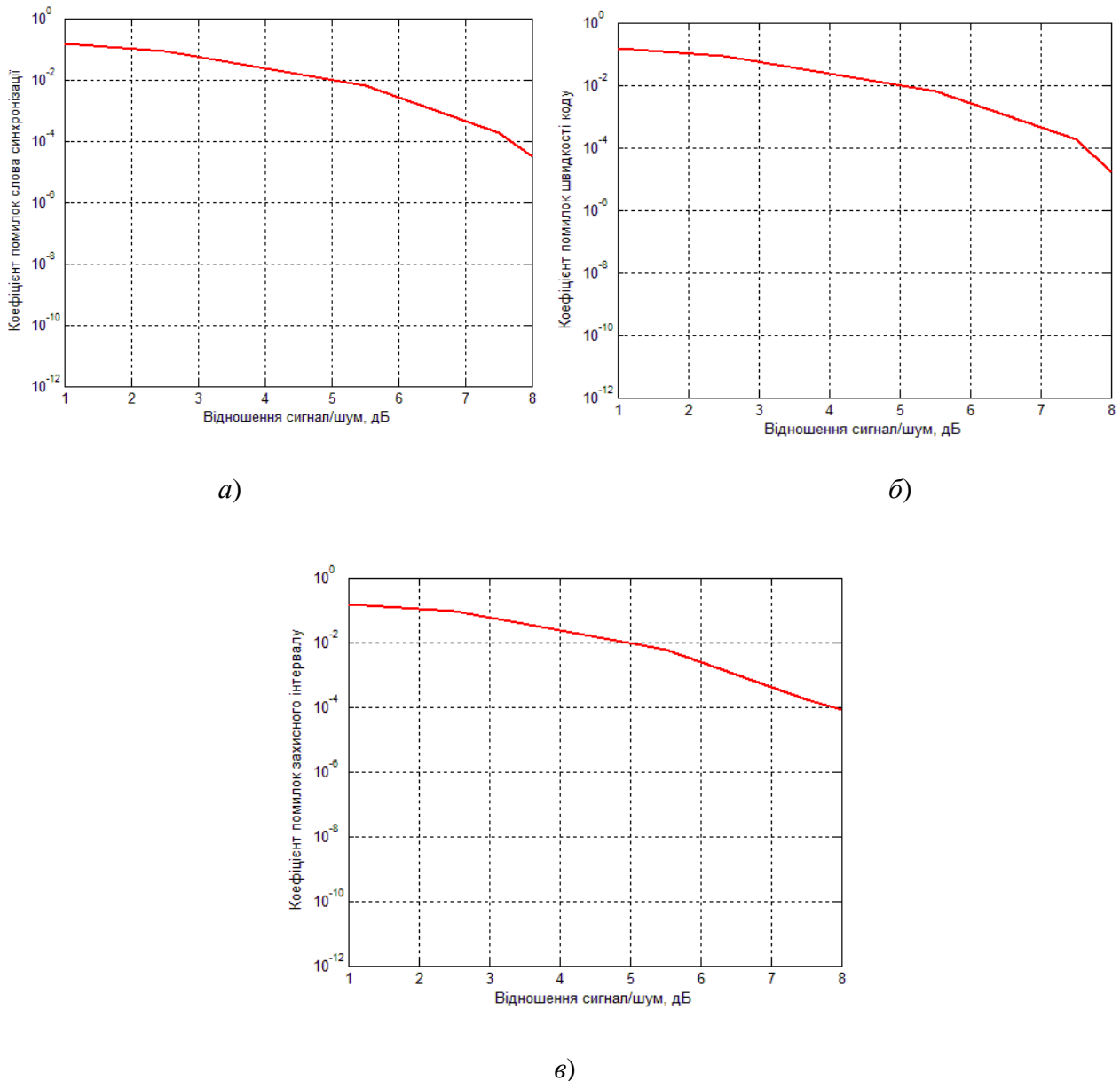


Рисунок 6 – Залежність помилок слова синхронізації (а), швидкості коду (б) й захисного інтервалу (в) від відношення сигнал/шум

1. Кім Фалєєв "Безпроводні камерні системи"/ Кім Фалєєв// Журнал 625. – 2011. - № 5. –С. 34-50.
2. 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).

#### REFERENCES

1. DNK Company " Cifrovi bezprovodovi kameri ". Web <http://www.dnk.ru/events/183142/>
2. Reinhard Penzel "Wireless Camera Technology in High Definition". Web <http://www.live-production.tv/news/products/wireless-camera-technology-high-definition.html>
3. Link Research Company "Link XP wireless TV camera system". Web <ftp://ftp.vislink.com/Link%20products/L110x%20SD%20Tx/Documents/L110x%20Link%20XP%20Manual%20Issue%202.3.pdf>
4. DNK Company "Wireless transmission system DynaPix TRIAD by DTC Communications". Web <http://www.dnk.ru/events/183195/>
5. Kim Faleev "Cordless camera systems". *Journal 625*. NO. 5, (2011): p. 34-50.
6. *Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement Guidelines for DVB Systems*. Rep. no. ETSI TR 101 290. Sophia Antipolis: ETSI, 2014. Print.