

УДК 691.397

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО
ЗВУКОВОГО МОВЛЕННЯ DRM/DRM+

АФТЕНІЙ Г.М., БАЛЯР В.Б.

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

STUDY OF DRM/DRM DIGITAL SOUND BROADCASTING SYSTEM

AFTENII A. N., BALYAR V. B.

Odessa national academy of telecommunications n.a. A.S. Popov

***Анотація.** У роботі висвітлено питання, що стосуються систем цифрового наземного звукового мовлення в стандарті DRM/ DRM+, та представлено результати досліджень в напрямі визначення вимог по відношенню сигнал/ шум з детальним аналізом впровадження цих систем по всьому світі.*

***Abstract.** Issues on DRM/ DRM+ for digital terrestrial sound broadcasting system are highlighted and study results in direction of requirement definition on signal-to-noise ratio with in-detail analysis of this system introduction around the world are presented.*

ВСТУП

Однією з систем цифрового звукового мовлення, що впроваджуються у світі, є система DRM. Система DRM має значну гнучкість у виборі параметрів системи передавання, що забезпечує компроміс між завадостійкістю, швидкістю цифрового потоку і іншими характеристиками. У зв'язку з цим виникає необхідність в аналізі цих характеристик і оцінці вибору різних параметрів системи на результуючу якість роботи системи.

У системі DRM формуються три канали - канал основної служби MSC (Main Service Channel, канал основної служби), де передається інформація програм звукового мовлення, і два канали службової інформації - SDC (Service Description Channel, канал опису служби) і FAC (Fast Access Channel, канал швидкого доступу). З урахуванням цього необхідно нормувати якість функціонування системи для цих трьох каналів.

На сьогодні існує низка публікацій, присвячених системі DRM. Серед них можна виділити [1-4]. Основним недоліком цих публікацій є відсутність повної інформації відносно характеристик системи DRM в режимах з рівномірним (ECP) і нерівномірним (UEP) захистом від помилок за різних рівнів захисту (PL), що не дозволяє повною мірою оцінити характеристики системи при роботі в граничних режимах і проаналізувати які технічні рішення зробити для покращення якості приймання в різних ситуаціях. У цій роботі проведено дослідження у напрямі розв'язання цієї задачі.

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ DRM

У процесі проведення досліджень для оцінки характеристик системи DRM проаналізовані технічні параметри цієї системи. Для цього був проаналізований базовий стандарт по цій системі [5]. Результат узагальнення технічних параметрів наведений в таблиці 1.

У таблиці введено такі скорочення:

- OFDM – мультиплексування ортогональних носійних коливань з розділенням за частотою;
- АБГШ – адитивний білий гаусів шум;
- С/Ш – відношення сигнал/ шум.

З таблиці 1 видно, що система DRM має значну гнучкість в технічних експлуатаційних характеристиках, що дозволяє підібрати компромісний варіант конфігурації системи при розгортанні мережі звукового мовлення в різних умовах. При цьому можливо вибрати різну реалізацію захисту від помилок та метод модуляції, що дозволить забезпечувати необхідну швидкість цифрового потоку за умов необхідної завадозахищеності.

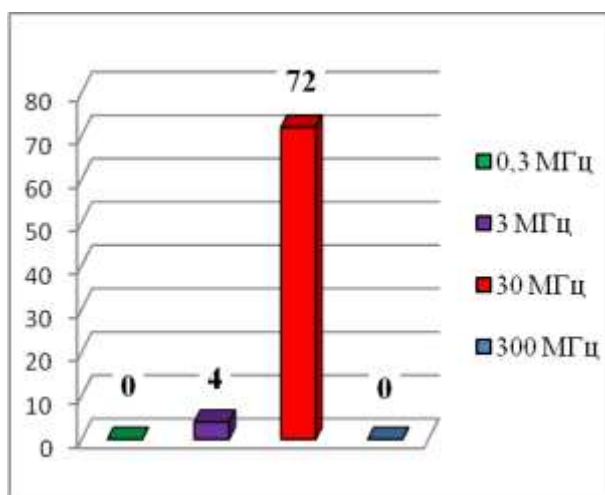
Таблиця 1 - Результат узагальнення параметрів системи DRM

Параметр	Тип каналу				
	A	B	C	D	E
Режим DRM					
Ширина частотної смуги, кГц	4,5; 5; 9; 10; 18; 20				100
Кількість носійних OFDM	288	256	176	112	213
Активна тривалість символу OFDM	24	21,33	14,66	9,33	2,25
Рознесення носійних OFDM	41,66	46,88	68,18	107,14	444,44
Тривалість захисного інтервалу, мс	2,66	5,33	5,33	7,33	0,25
Загальна тривалість символу, мс	8,58	8,58	20	6,23	2,5
Тривалість кадру системи, мс	400				
Розсіювання енергії	Псевдовипадкова двійкова послідовність з поліномом $p = x^9 + x^5 + 1$				
Тип каналного кодування	Згорткове кодування				
Режим кодування	коригувальне кодування з рівномірним (EER) та нерівномірним (UEP) захистом від помилок у каналі передавання				
Режим модуляції	Стандартна, ієрархічна (симетрична, змішана)				
Метод модуляції	КАМ-64, КАМ-16, ФМ-4			КАМ-16, ФМ-4	
Швидкість коду	MSC: 0,5; 0,62 (КАМ-16), 0,5; 0,6; 0,71; 0,78 (КАМ-64); SDC: 0,5 (КАМ-16), 0,5 (ФМ-4); FAC: 0,6 (ФМ-4).			MSC: 0,33; 0,41; 0,62 (КАМ-16), 0,25; 0,33; 0,4; 0,5 (ФМ-4) SDC: 0,5; 0,25 (ФМ-4); FAC: 0,25 (ФМ-4).	
Перемеження	Частотне				
Синхронізація	Пілот-сигнали			Пілот-сигнали, альтернативна сигналізація частоти	
Сигналізація параметрів передавання	FAC				
Швидкість цифрового потоку	від 4,8-72 кбіт/с			37,2-186,3 кбіт/с	
Відношення С/Ш у каналі з АБГШ	від 1-19,2 дБ				

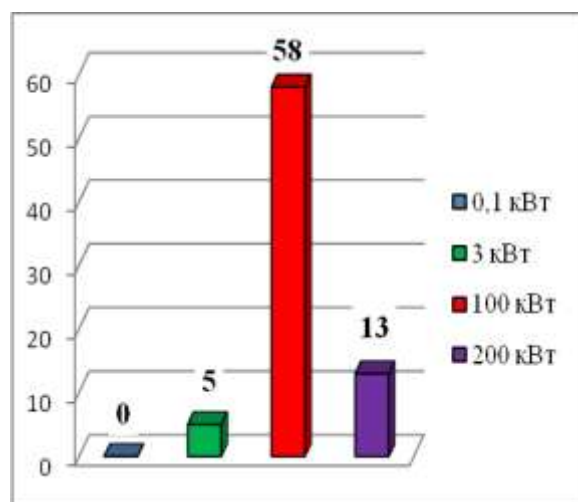
В процесі проведення досліджень характеристик системи DRM проаналізовано технічні параметри діючих станцій в цьому стандарті та отримана відповідна статистика щодо найбільш застосованих конфігурацій, що її представлено на рис. 1-4.

На рисунках використано такі позначення:

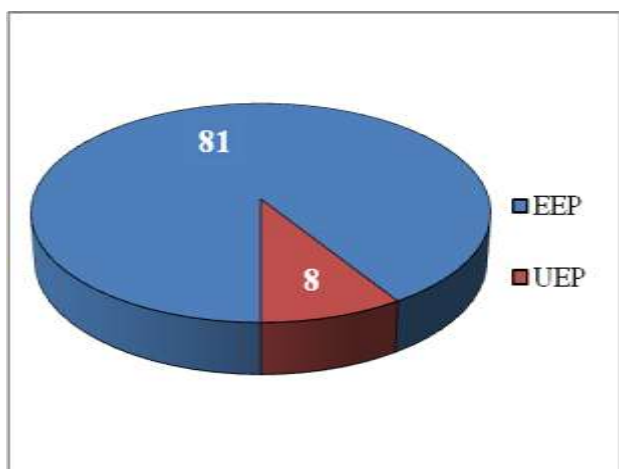
- EER: рівномірний (звичайний) захист від помилок;
- UEP: нерівномірний захист від помилок;
- SM: стандартний (звичайний) режим цифрової модуляції;
- NM: ієрархічний режим цифрової модуляції.



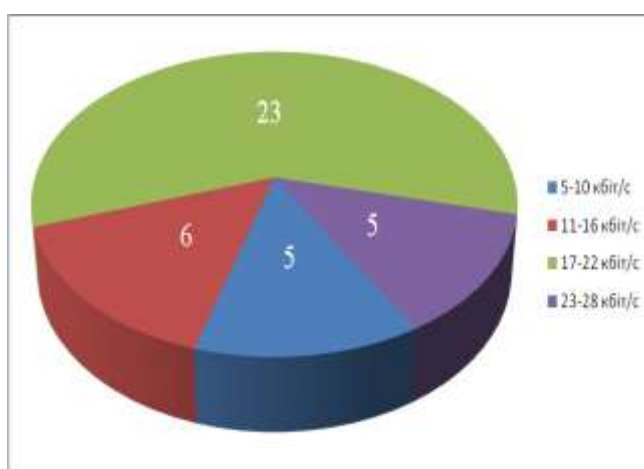
а)



б)

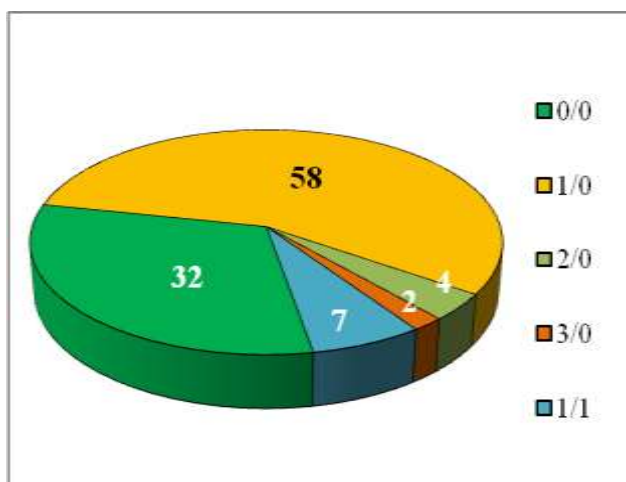


в)

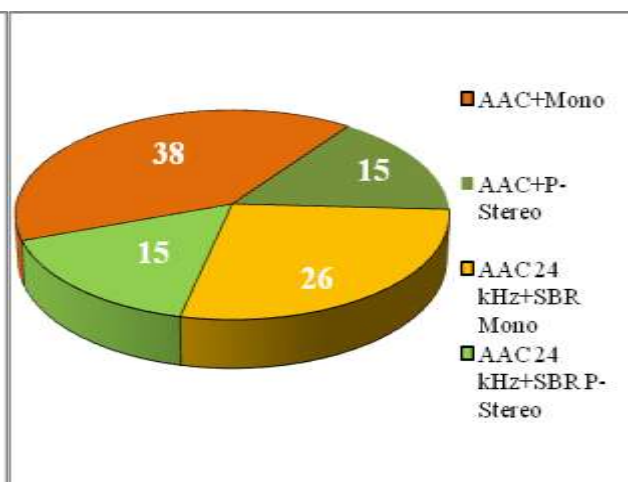


г)

Рисунок 1 - Статистика використання діапазонів частот (а), потужностей передавачів (б), режимів кодування (в) і швидкостей цифрових потоків (г)



а)



б)

Рисунок 2 – Статистика використання комбінацій рівнів захисту (а) і методів стиснення звукового сигналу (б)

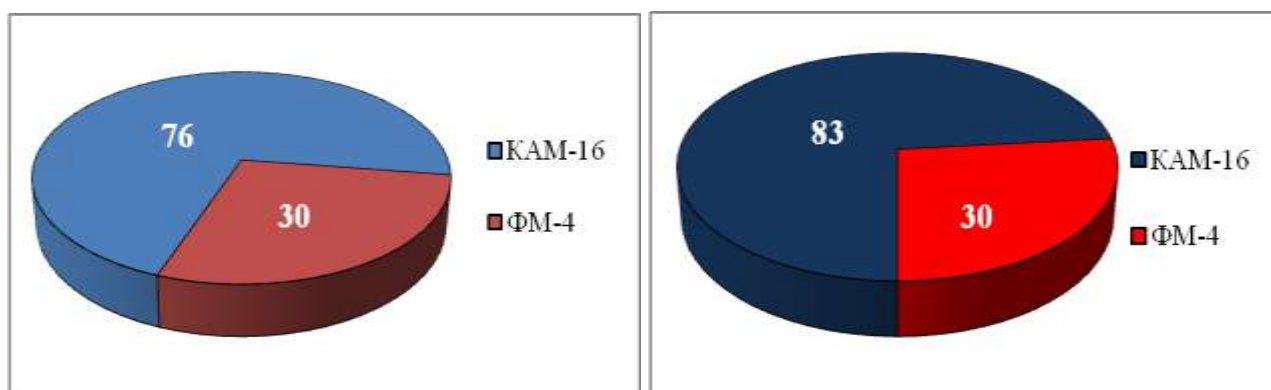


Рисунок 3 – Статистика використання методів модуляції для каналу SDC (а) і каналу MSC (б)

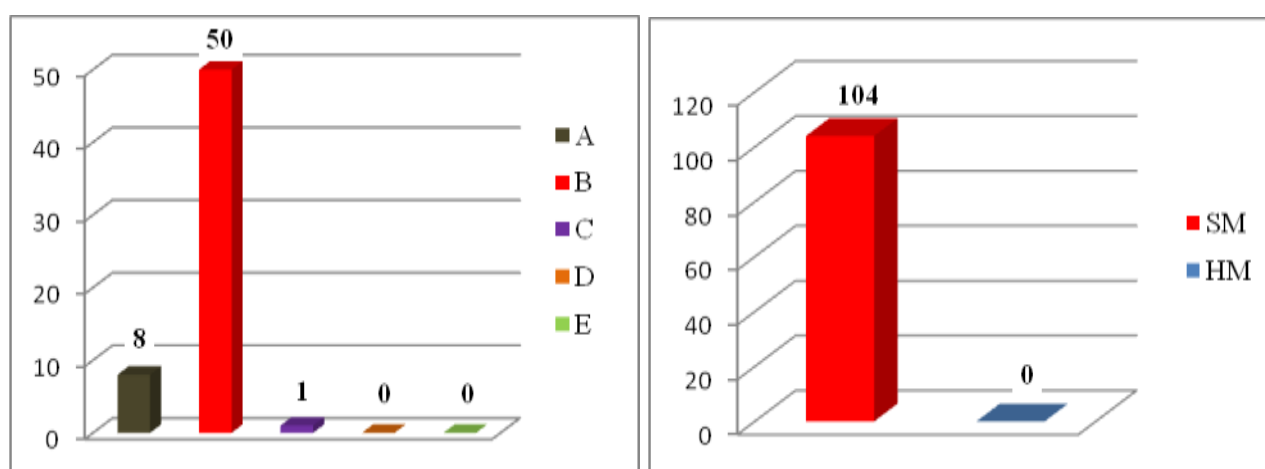


Рисунок 4 – Статистика режимів роботи (а) і режимів модуляції в каналі MSC (б)

У рисунку 1,а, видно, що мовлення переважно ведеться в діапазоні 3-30 МГц, а найбільш використовуваними потужностями передавачів є 100-200 кВт (рисунок 1б). Також можна стверджувати, що в системі DRM активно використовуються рівномірний захист від помилок (рис. 1,в) і швидкості цифрових потоків 17-22 кбіт/с (рис. 1,г). Найчастіше використовувани в системі DRM комбінації рівнів захисту 0/0 (рис. 2,а) і метод стиснення звукової інформації AAC з частотою дискретизації 24 кГц та режимом SBR Mono (рис. 2,б). Для каналів SDC і MSC системи DRM найпоширеніший метод модуляції KAM-16 (рис. 3,а, б). Окрім того, аналіз статистики використання режимів роботи і режимів модуляції в системі DRM показав, що найбільш використовуваними є режим В і режим модуляції SM (рис. 4,а, б).

ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ DRM ЗА ВІДНОШЕННЯМ С/Ш

Для оцінки характеристик системи DRM використовувався параметр BER (Bit Error Rate, коефіцієнт помилок бітів) на виході демодулятора і декодера:

$$BER_{pre} = \frac{1}{N_{pre}} \sum_{i=1}^{N_{pre}} |b_{i_{pre}} - \bar{b}_{i_{pre}}|, \quad (1)$$

$$BER_{post} = \frac{1}{N_{post}} \sum_{i=1}^{N_{post}} |b_{i_{post}} - \bar{b}_{i_{post}}|, \quad (2)$$

де BER_{pre} - коефіцієнт BER перед декодером Вітербі;

BER_{post} - коефіцієнт BER після декодера Вітербі;

N_{pre} - загальна кількість переданих бітів на вході декодера Вітербі;

N_{post} - загальна кількість переданих бітів на виході декодера Вітербі;

$b_{i pre}$ - біт з номером i на виході згорткового кодера в передавачі;

$\bar{b}_{i pre}$ - біт з номером i на вході декодера Вітербі в приймачі;

$b_{i post}$ - біт з номером i на вході згорткового кодера в передавачі;

$\bar{b}_{i post}$ - біт з номером i на виході декодера Вітербі в приймачі.

Порогове значення параметра BER перед декодером Вітербі в системі DRM повинне відповідати величині $BER_{pre} = 1 \cdot 10^{-4}$. В цьому випадку пороговий ефект буде відсутній та потік з програмами звукового мовлення буде повністю декодований без помилок.

Для вимірювання характеристик системи DRM була розроблена модель у середовищі Matlab і його розширенні Simulink (рис. 5). Параметри моделі системи DRM наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 - Параметри моделі системи DRM

Тип каналу	Метод модуляції	Метод каналного кодування	Швидкість коду
MSC	КАМ-64	Згорткове Кодування (EEP та UEP)	0,5; 0,6; 0,71; 0,78
FAC	ФМ-4		0,6; 0,25
SDC	КАМ-16		0,5

Вимірювання проводились для конфігурацій КАМ-64, КАМ-16, ФМ-4 для каналів MSC, SDC, FAC відповідно, з нерівномірним і рівномірним захистом від помилок (UEP і EEP). Досліджувалися характеристики системи тільки для каналу з АБГШ.

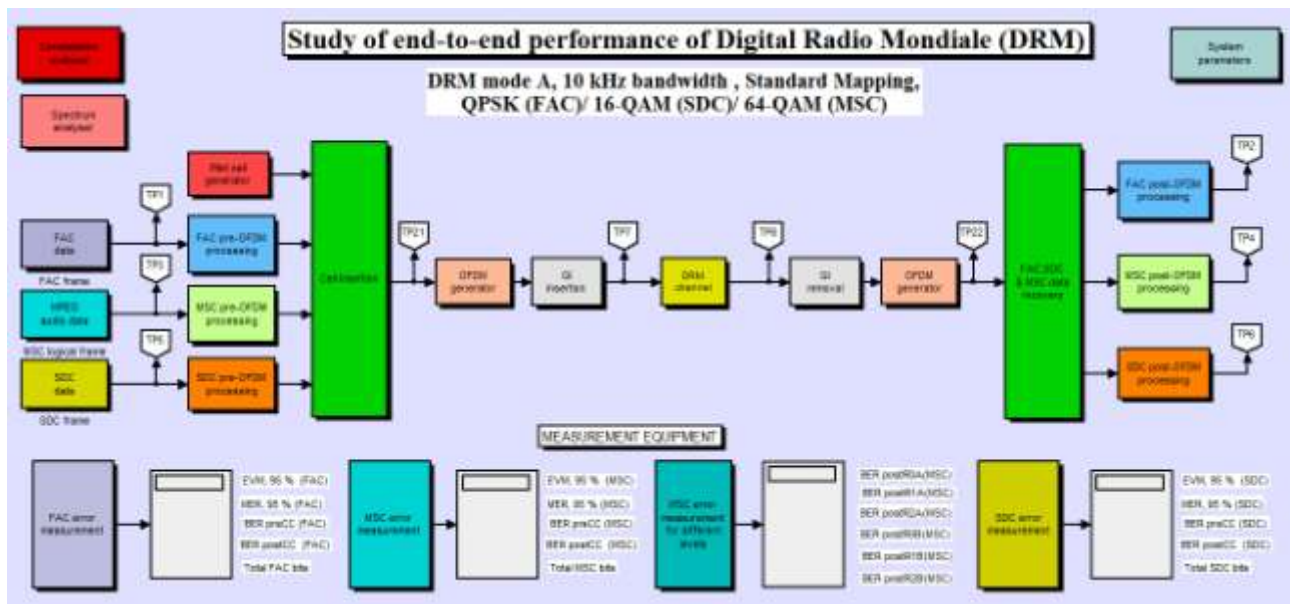


Рисунок 5 - Інтерфейс моделі системи DRM, розроблений в Simulink

У процесі вимірювань здійснювали зміну відношення сигнал/шум, фіксувалися значення BER і відношення сигнал/шум, які відповідали величинам BER від $1 \cdot 10^{-1}$ до $1 \cdot 10^{-7}$. За результатами моделювання були отримані порогові відношення сигнал/шум, а також графіки залежності коефіцієнта помилки бітів від відношення сигнал/шум системи DRM для трьох каналів (MSC, SDC, FAC) при параметрах UEP і EEP.

Результати моделювання наведено на рис. 6-8.

З рис. 6 видно, що зі збільшенням відношення С/Ш вірогідність помилки бітів (BER) зменшується. Необхідне значення BER в каналі MSC для системи з кодуванням досягається при відношенні

С/Ш, що дорівнює 15,45 дБ у разі нерівного рівня захисту (UEP) з комбінацією рівнів 0 і 1 (PL0+PL1). В системі без кодування у разі методу модуляції КАМ-64 величина порогового відношення С/Ш складає приблизно 18 дБ. При використанні рівного захисту від помилок (ЕЕР) в системі з кодуванням порогове відношення С/Ш досягається при 16,6 дБ для рівня 3 (PL3) (див. рис. 7).

Інші значення порогового відношення С/Ш для інших комбінацій типів і рівнів захисту наведені в таблиці 3. З цієї таблиці видно, що при застосуванні нерівного рівня захисту в системі DRM при КАМ-64 забезпечується вигреш порівняно з системою з рівного захисту від помилок.

Величина цього виграшу залежить від вибраної комбінації рівнів захисту від помилок і може досягати виграшу приблизно в 0,56 дБ. При збільшенні складності реалізації приймача і застосуванні ітеративного декодування величина виграшу може бути збільшена.

Під час моделювання каналу SDC та FAC розглянуто конфігурацію з КАМ-16. Вимірювання проводилось аналогічним чином як і в випадку MSC. Результати моделювання для каналів FAC та SDC надано на рис. 8.

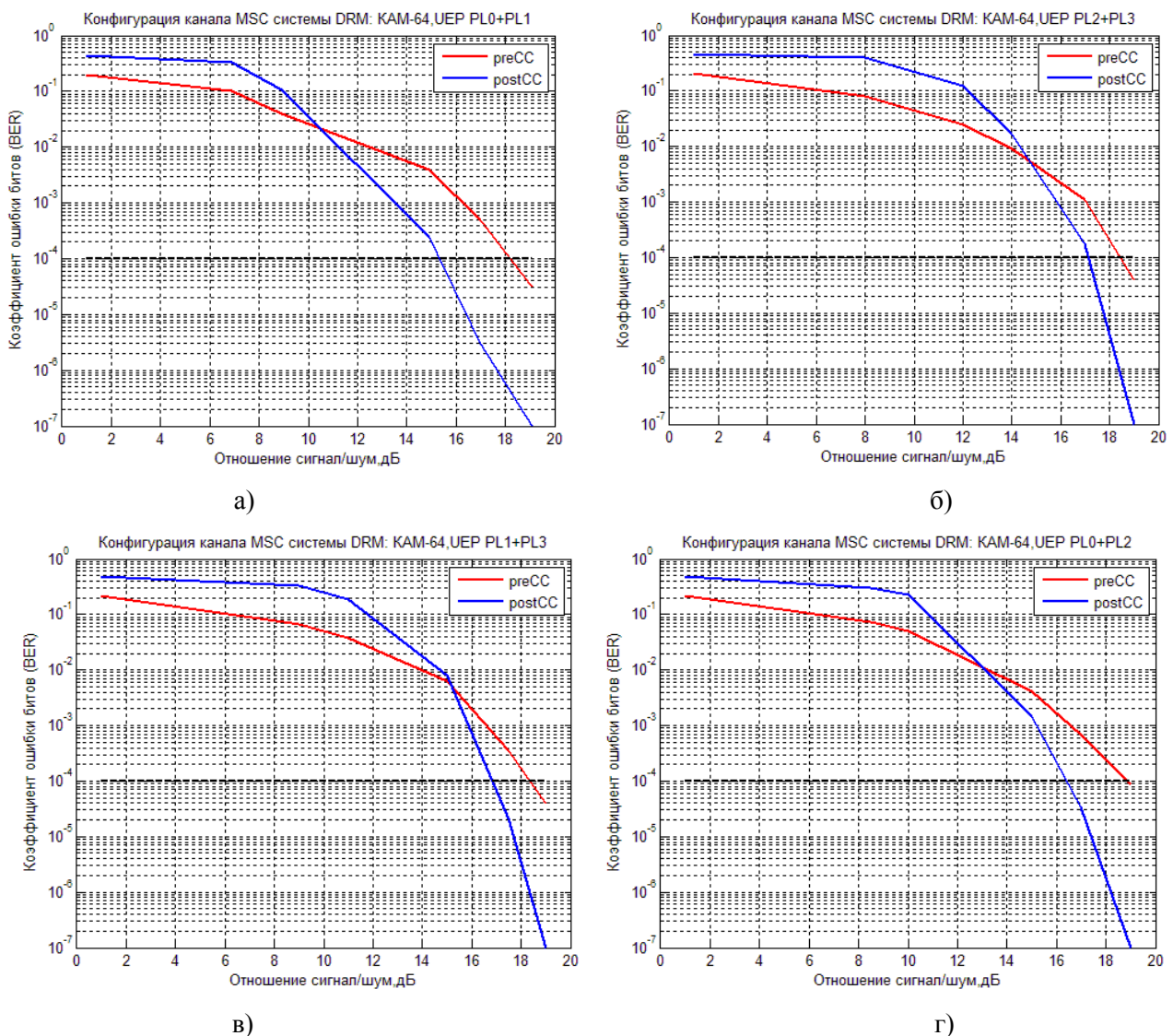
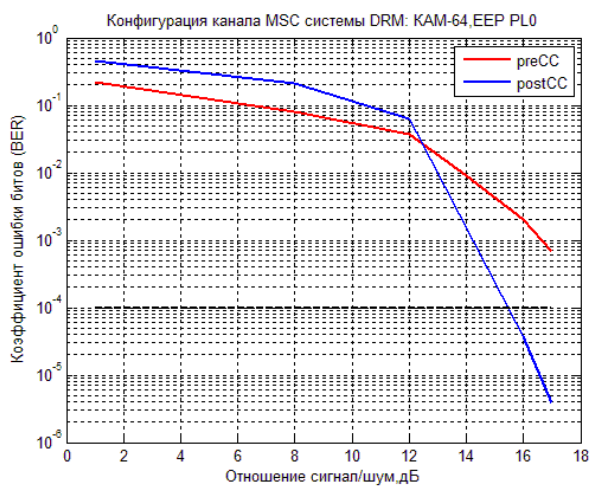
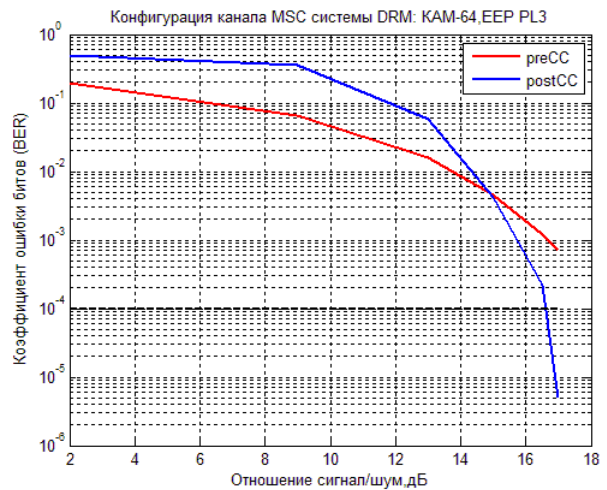


Рисунок 6 - Залежність коефіцієнта помилки бітів від відношення сигнал/шум у системі DRM при параметрах каналу MSC :

а) UEP PL0+PL1; б) UEP PL2+PL3; в) UEP PL1+PL3; г) UEP PL0+PL2;



а)

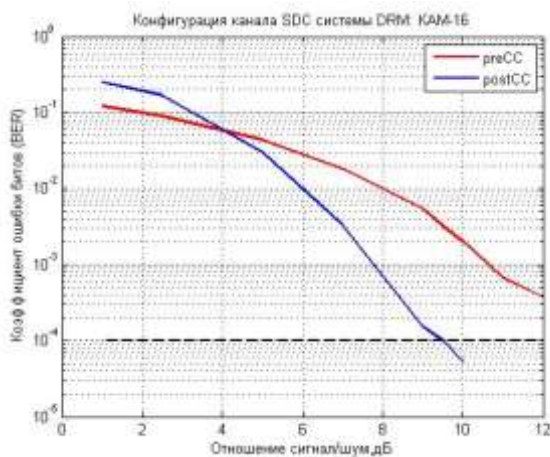


б)

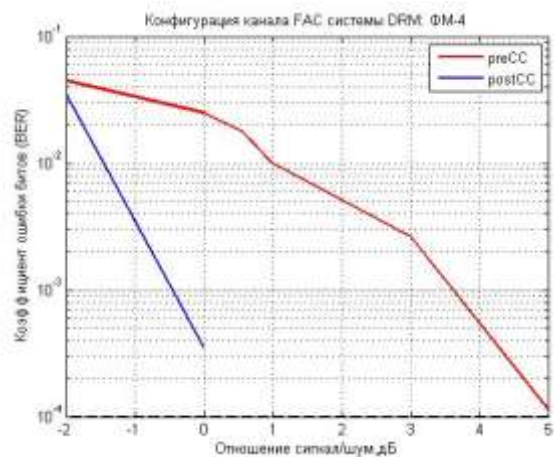
Рисунок 7 – Залежність коефіцієнта помилки бітів від відношення С/Ш системи DRM при параметрах EEP PL0 і PL3 для каналу MSC

Таблиця 3 - Залежність порогового відношення сигнал/шум системи DRM від швидкості коду для каналу MSC

Порогове відношення сигнал/шум, дБ	Швидкість коду	Тип захисту від помилок	Комбінації рівнів захисту
15,45	0,5	EEP	PL0
16,6	0,78		PL3
15,3	0,572	UEP	PL0+PL1
17,16	0,769		PL2+PL3
16,84	0,741		PL1+PL3
16,4	0,652		PL0+PL2



а)



б)

Рисунок 8 – Залежність коефіцієнта помилки бітів від відношення С/Ш у системі DRM для каналів службової інформації:

а) SDC; б) FAC

З рис. 8,а видно, що для каналу SDC порогове відношення С/Ш для системи з кодуванням складає 9,5 дБ у разі відсутності каналного кодування для методу модуляції КАМ-16. Для каналу FAC у разі методу модуляції ФМ-4 для системи з кодуванням величина порогового відношення С/Ш досягається за приблизно 0,5 дБ і це видно на рис. 8,б.

Таке значення дозволяє декодувати інформацію щодо конфігурації системи цифрового звукового мовлення у стандарті DRM навіть за дуже поганих умов приймання, що можуть бути викликані багатопроблемним розповсюдженням радіохвиль у безпроводному каналі.

ВИСНОВКИ

Отримані в цій роботі результати дозволяють визначити мінімальні вимоги до системи DRM за пороговим відношенням С/Ш у разі фіксованого приймання, які на сьогодні відсутні у базовому стандарті ETSI ES 201 980 [5] та проведено порівняльний аналіз технічних характеристик системи за різних варіантів реалізації. Крім того, отримані залежності, які можуть бути використані при розгортанні мереж цифрового звукового мовлення в стандарті DRM для оцінки зони обслуговування та виборі конфігурації, що буде забезпечувати необхідний компроміс між завадостійкістю та кількістю програм звукового мовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Виходець А. В. Аналогове і цифрове радіомовлення / [А. В. Виходець, С. Н. Ганжа, А. С. Кузнєцова, А. А. Виходець]; за ред. проф. А. В. Виходця. - Одеса: ВМВ, 2011. - 312с.
2. Štěpán Matějka DRM PAPR distribution and its relation to classical am power / Štěpán Matějka // *Radioelektronika*. - 2003. - P. 4.
3. Pavel DOBIAŠ DRM Transmitter with FPGA Device/ Pavel DOBIAŠ // *Radioengineering*. - 2007. - vol. 16, № 2. - P. 44–49.
4. James Briggs DRM Digital broadcasting below 30 MHz: a summary of the field tests / James Briggs // *EBU technical review*. - October 2003.- P.1–12.
5. Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification (ETSI ES 201 980 V3.1.1, 2009 - 08), ETSI Standard 2008.