

УДК 621.314

**В.М. БАКІКО, П.В. ПОПОВИЧ, В.Б. ШВАЙЧЕНКО****ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ ЗА ВИПАДКОВОГО ВПЛИВУ ЗАВАД**

Досліджено вплив багатопробевого поширення радіохвиль на передавання звукового контенту через канали з нормальним та логнормальним розподілом завад з використанням безпроводових технологій GSM та WiMAX. Вибір технологій обумовлено тим, що в GSM відсутній обов'язковий механізм захисту від інтерференції, спричиненої багатопробевим поширенням, тоді як фізичний рівень WiMAX реалізовано із застосуванням технології OFDM, яка призначена для боротьби з цим ефектом. Для дослідження в програмному середовищі MATLAB Simulink побудовано відповідні моделі приймально-передавальних трактів з використанням елементів бібліотеки Communication System Toolbox.

**Ключові слова:** безпроводові канали зв'язку, електромагнітна сумісність, закони розподілу, імітаційне моделювання, радіозавади.

**В.Н. БАКИКО, П.В. ПОПОВИЧ, В.Б. ШВАЙЧЕНКО****ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОММУНИКАЦИОННОГО КАНАЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОМЕХ**

Исследовано влияние многолучевого распространения радиоволн на передачу звукового контента через каналы с нормальным и логнормальное распределение помех с использованием беспроводных технологий GSM и WiMAX. Выбор технологий обусловлен тем, что в GSM отсутствует обязательный механизм защиты от интерференции, вызванной многолучевым распространением, тогда как физический уровень WiMAX реализован с применением технологии OFDM, которая предназначена для борьбы с этим эффектом. Для исследования в программной среде MATLAB Simulink построены соответствующие модели приемно-передающих трактов с использованием элементов библиотеки Communication System Toolbox.

**Ключевые слова:** беспроводные каналы связи, законы распределения, имитационное моделирование, радиопомехи, электромагнитная совместимость.

**V.N. BAKIKO, P.V. POPOVYCH, V.B. SHVAICHENKO****ESTIMATION OF NOISE IMMUNITY OF THE COMMUNICATION CHANNEL UNDER THE INFLUENCE OF RANDOM INTERFERENCE**

The influence of multibeam propagation of radio waves on the transmission of audio content through channels with normal and log-normal distributions of disturbances using wireless technologies of GSM and WiMAX has been investigated. The choice of technology is due to the fact that the GSM does not have the required protection mechanism from the interference caused by multi-beam propagation, while the physical level of WiMAX is realized using OFDM technology, which is designed to combat this effect. For research in the MATLAB Simulink software environment, appropriate models of transceiver paths are constructed using elements of the Communication System Toolbox library.

**Keywords:** distribution laws, electromagnetic compatibility, radiofrequency interference, simulation, wireless communication channels.

**Вступ.** В сучасних звукотехнічних систем (ЗТС) суттєвою є проблема електромагнітної сумісності (ЕМС) [1]. Особливості проблеми ЕМС, обумовлені ключовими режимами роботи напівпровідникових перетворювачів [2], в структурі аудіовізуальних систем поглиблюються в разі застосування безпроводового каналу. Сучасні мультимедійні системи використовують елементи штучного інтелекту, безпроводові канали передачі даних і підключення до інтернету, реалізуючи технологію інтернету речей (IoT). При цьому для підвищення енергоефективності крім застосування спеціальних режимів роботи електронних систем, орієнтованих на тимчасове зменшення енергоспоживання, застосовують напівпровідникові перетворювачі з підвищеним ККД [2]. Схемотехніка таких перетворювачів визначається багатьма факторами, наприклад, перетворюється потужністю, вимогам до масо-габаритними показниками і багатьма іншими. Ці

пристрої працюють в ключовому режимі на високих частотах. Рівні завад цих перетворювачів нормовані для забезпечення електромагнітної сумісності [3], проте реальна електромагнітна обстановка може бути недружною і навіть невеликий допустимий внесок в сумарне електромагнітне поле на конкретних частотах може привести до погіршення якості переданого звукового фрагмента.

Необхідно відзначити, що навіть при дозволеному рівні емісії завад кондуктивними шляхами в провідниках таких пристроїв можуть виникати стрибки струму, що призводять до появи завад випромінювання в ближньому полі, причому відомі методики перевірки пристроїв на вимоги електромагнітної сумісності проводять на відстані 3м або 10 м від вимірювальної антени [3], а в реальних умовах ця антена може перебувати на тій же платі, де і розташовані елементи підсилювача потужності або джерела вторинного еле-

ктроживлення. Інтеграція досягнень в області інфо-комунікаційних технологій в побутову техніку забезпечило появу Інтернету речей та впровадження голосових віртуальних сервісів управління, розроблених провідними виробниками обчислювальної техніки, наприклад, Siri, Google Now, Google Assistant, Amazon Echo, Microsoft Cortana [4].

Застосування таких сервісів в інтелектуальних аудіовізуальних системах, як smart-телевізори, smart-колонки, виявили проблему впливу завад на передаваний безпроводовим шляхом аудіоконтент. Найбільш поширеними каналами передачі для таких пристроїв в даний час є канали технологій WiFi, WiMAX і GSM [5] проте напрямком на інтеграцію в рамках технологій LTE дозволяє припустити можливість і необхідність не тільки вибору найменш зашумленого каналу з нормованого пулу частот для конкретної технології, а й перехід для поліпшення якості відтвореного звуку на інший частотний діапазон і зміну способу кодування і модуляції, застосувавши найбільш перспективну за критерієм EMC безпроводову технологію.

Для дослідження впливу завади з різним законом розподілу на передавання звукового контенту з використанням безпроводових технологій GSM, WiMAX та Wi-Fi в сучасних мультимедійних smart-системах, таких як гучномовці та телевізори, в програмному середовищі MATLAB Simulink побудовано відповідні моделі приймально-передавальних трактів з використанням елементів бібліотеки Communication System Toolbox [6]. Для моделювання використано музичну композицію *Hard As A Rock* в стерео форматі, збережену у вигляді mp3 файлу [7], що є одним із найбільш поширених сценаріїв передавання звукової інформації через безпроводові канали зв'язку. Визначення уражених ЗТС заздалегідь дозволить відомими засобами [8-10] покращити EMC.

**Мета** даної роботи – визначення моніторингу значень імпедансу електромережі змінного струму для налаштування параметрів ПЗФ таким чином, щоб досягнути збільшення вношуваного загасання в області НЧ в реальному часі.

**Основна частина.** Для введення даних із звукового файлу в середовище Simulink використано блок для підключення зовнішніх мультимедійних файлів *From Multimedia File*. Оскільки аудіо файл з двома стерео каналами має формат даних двовимірної матриці, то для її перетворення в одновимірну матрицю застосовано відповідне узгодження, як наведено на рис. 1.

Часову діаграму фрагменту звукової композиції та спектр тестового сигналу наведено на рис. 2, а та 2, б відповідно.

Для дослідження передавання звукового контенту за технологією WiMAX використано модель фізичного каналу системи WiMAX «IEEE 802.16-2004 WirelessMAN-OFDM PHY Downlink». Модель доповнено блоком *From Multimedia File*, а також блоками, що узгоджують формати даних між вузлами моделі і приладами моніторингу для фіксації часових та час-

отних залежностей. В приймальному тракті застосовано алгоритм адаптивного контролю швидкості передавання, який дозволяє автоматично, в залежності від відношення сигнал-шум, перемикає схему модуляції і кодування.

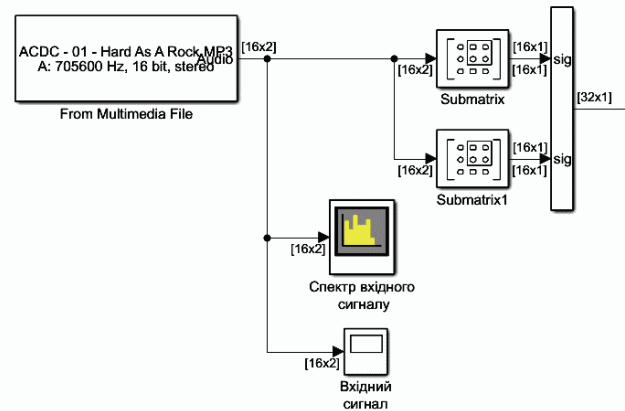


Рисунок 1 – Джерело звукових даних та блок узгодження розмірності

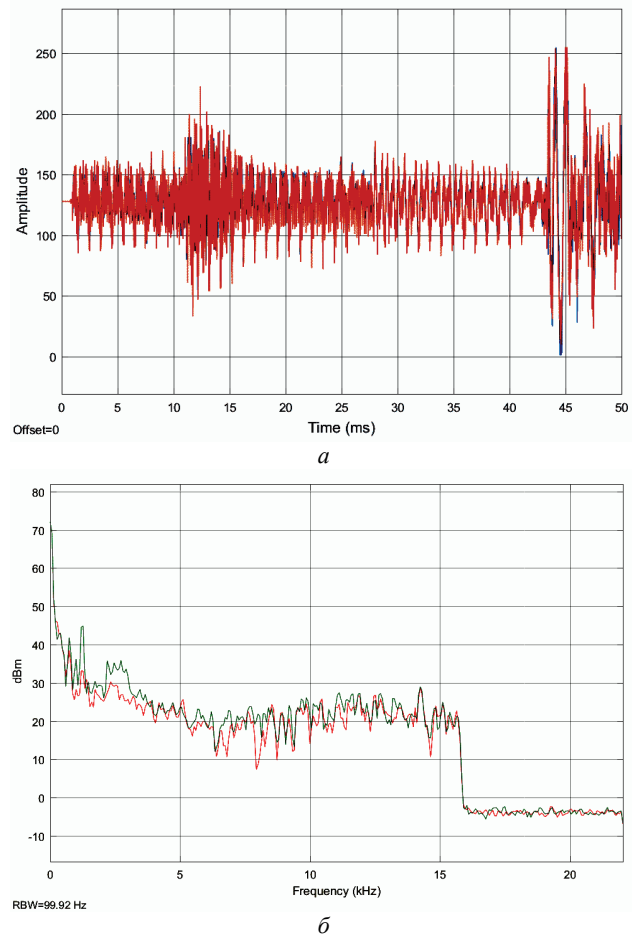


Рисунок 2 – Часова діаграма (а) та спектр (б) тестового сигналу

Модель для дослідження впливу завад з різним законом розподілу на передавання звукового контенту з використанням технології GSM містить блок передавача, що складається з двох частин: блоку кодування

та блоку модуляції. Для формування пакетів довжиною 260 символів, які передають через канал GSM, застосовано блок узгодження, розташований на вході передавача.

Блок каналу передавання містить дві складові, кожна з яких додає шум із заданим законом розподілу: нормальним (AWGN) та логнормальним (LogNorm). Для дослідження впливу багатопроменевого поширення перед блоками AWGN та Log\_noise вмикають блок Rayleigh Fading, що імітує канал із завмираннями, розподіленими за законом Релея. Блок приймача містить блоки демодуляції та декодування.

Використовуючи зазначені моделі приймально-передавальних трактів GSM та WiMAX, отримано залежності величини BER від відношення сигнал-шум (SNR) для нормального (AWGN) та логнормального (LogNorm) законів розподілу завад в каналі без урахування та з урахуванням завмирань, спричинених багатопроменевим характером поширення радіохвиль, які наведено на рис. 3 та на рис. 4.

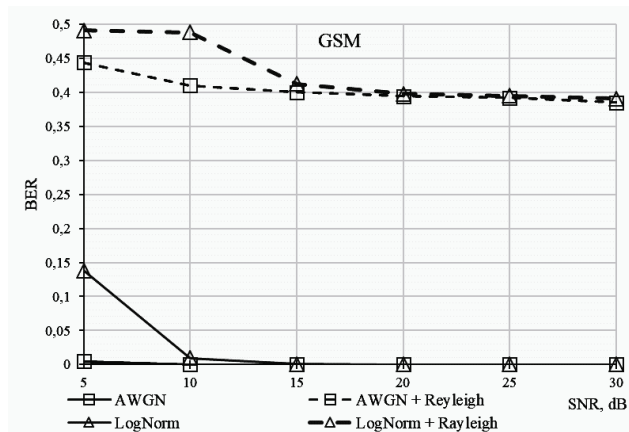


Рисунок 3 – Залежність величини BER від відношення SNR для різних законів розподілу завад в каналі системи GSM без урахування та з урахуванням завмирань

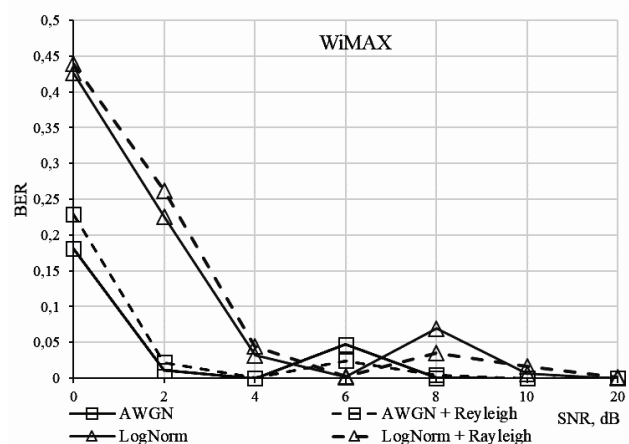


Рисунок 4 – Залежність величини BER від відношення SNR для різних законів розподілу завад в каналі системи WiMAX без урахування та з урахуванням завмирань

На рис. 5 наведено приклад спектру переданої музичної композиції через канал системи GSM для різних законів розподілу завад у випадку SNR = 8 дБ, що відповідає значенню BER = 1,3·10<sup>-4</sup> для каналу з

нормальним розподілом та значенню BER=0,027 для каналу з логнормальним розподілом.

Під час моделювання прийнято такі параметри нормального та логнормального законів розподілу завад:  $\mu = 0$  та  $\sigma^2 = 1$ .

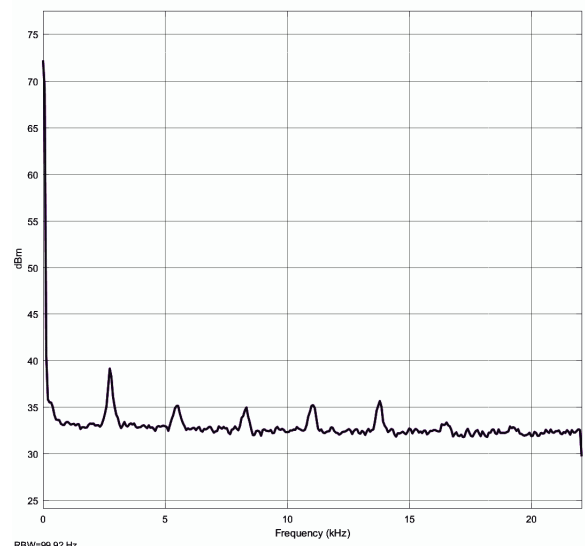
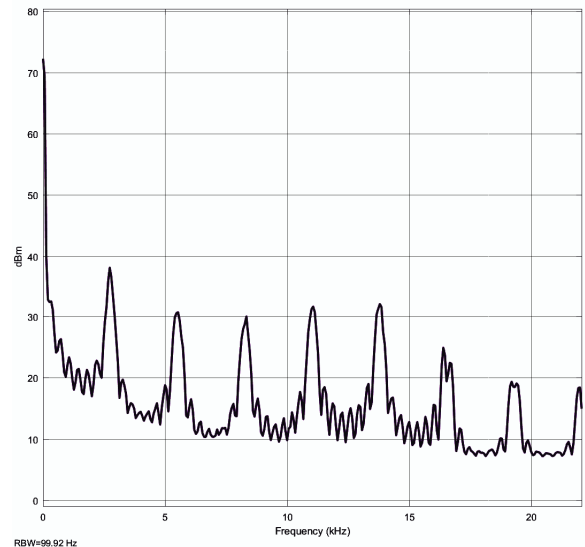


Рисунок 5 – Спектр переданої музичної композиції через канал GSM (SNR = 8 дБ):  
 а – з нормальним розподілом ( $BER=1,3 \cdot 10^{-4}$ );  
 б – з логнормальним розподілом ( $BER=0,027$ )

Для закону розподілу Релея прийнято такі параметри: максимальне значення доплерівського зсуву 80 Гц для технології GSM та 110 Гц для технології WiMAX, що відповідає швидкості переміщення абонентської станції 50 км/год (середня швидкість руху автомобіля в місті); вектор значень затримок багатопроменевих компонент [0; 0,4; 0,9] мкс; вектор значень потужності прямої та затриманих багатопроменевих компонент [0; -15; -20] дБ. Профіль затримок є типовим для міської забудови. Окремо під час моделювання каналу передавання WiMAX застосовано коефіцієнт  $K=0$ , який трансформує закон розподілу

Райса, в якому домінує складова поширення вздовж лінії прямої видимості, в закон розподілу Релея з домінуючими затриманими компонентами багатопроменевого сигналу, коли пряма видимість між передавачем і приймачем відсутня.

**Висновки.** Таким чином, за результатами моделювання можна зазначити, що:

1. Найбільший рівень помилок спостерігається в каналі з логнормальним розподілом завад, а найменший – в каналі з нормальним розподілом завад.

2. Більш стійкими до впливу завад, в тому числі спричинених завмираннями внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль, є системи з ортогональним частотним мультиплексуванням OFDM такі, як WiMAX, Wi-Fi чи LTE.

3. Для підвищення стійкості до комбінованих завад в каналі GSM рекомендовано застосовувати еквалайзинг, що базується на використанні спеціальних адаптивних фільтрів, які частково компенсують вплив затриманих компонент прийнятого багатопроменевого сигналу.

4. Модель приймально-передавального тракту системи WiMAX працює некоректно під час адаптивного перемикавання схем модуляції за низьких значень SNR (6-8 дБ).

#### Список літератури:

1. *Бакико В.М.* Особливості електромагнітної сумісності в звукотехнічних телекомунікаційних системах / *В.М. Бакико, О. Шарадга* // IV Міжнародна наук.-техн. конф. молодих вчених «Електроніка 2011». Частина 2: Зб. статей. – К.: 2011. – С. 236-244.
2. *Векслер Г.С.* Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / *Г.С. Векслер* и др. – К.: Техніка, 1990. – 167 с.
3. CISPR 22 Edition 6.0 2008-09 IEC STANDARDS. Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement.
4. *Зеньков А.* 10 виртуальных ассистентов: обзор / *А. Зеньков*. – Режим доступу: <https://rb.ru/list/from-siri-to-ozlo> Дата доступу 14.02.2018.
5. *Денбновецький С.В.* Кодування сигналів в електронних системах. Ч.1. Параметри сигналів і каналів зв'язку та методи їх оцінювання / *С.В. Денбновецький, І.В. Мельник, Л.Д. Писаренко*. – К.: Кафедра, 2016. – 524 с.
6. *Дьяконов В. П.* Matlab и Simulink для радиоинженеров / *В.П. Дьяконов*. – М.: ДМК-Пресс, 2011. – 976 с.
7. *Никамин В.А.* Цифровая звукозапись. Технологии и стандарты. / *В.А. Никамин*. – СПб.: НИТ, 2002. – 256 с.
8. *Nave M.J.* Power Line Filter Design for Switched Mode Power Supplies / *Mark J. Nave*. 2nd Edition Hardcover. – 2010.

– 186 p.

9. *Кечиев Л.Н.* ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникации / *Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов*. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 320 с.

10. *Пілінський В.В.* Особливості мікропроцесорного керування параметрами дроселя протизавадового фільтра для керування характеристиками загасання в смузі частот 3...5 декад / *В.В. Пілінський, С.М. Веретюк, А.О. Довженко, В.Б. Швайченко* // Електроніка і зв'язь. Тем. вип. «Електроніка і нанотехнології». – 2011. – № 4. – С. 182-187.

#### References (transliterated):

1. Bakiko V.N., Sharadjah O. Features of electromagnetic compatibility of audio parts of telecommunication systems. IV Mignarodna konferencija molodyh vchenyh [IV International science-technical of jung scientist «Electronics 2011» Part 2. Kyiv: 2011. P. 236-244 (Russian).
2. Veksler G.S. et al. Podavlenije elektromagnitnyh pomeh v cepjah elektropitanija [Suppression of electromagnetic interferences on power supplies]. Kyiv: Technika, 1990. 167 p. (Russian).
3. CISPR 22 Edition 6.0 2008-09 IEC STANDARDS. Information technology equipment – Radio disturbance characteristics. Limits and methods of measurement.
4. Zenkov A. 10 virtualnyh assistantov: obzor [10 virtual assistants: an overview] Available form: <http://rb.ru/list/from-siri-to-ozlo>, dated as 2018-02-02). (Russian).
5. Denbnovetsky S.V., Melnyk I.V., Pysarenko L.D. Koduvannya syhnaliv v elektronnykh systemakh. CH.1. Parametry syhnaliv i kanaliv zv'yazku ta metody yikh otsynuvannya [Signal coding in electronic systems. Part 1 Parameters of signals and channels of communication and methods of their evaluation]. Kyiv: Kafedra, 2016. 524 p. (Ukrainian)
6. Dyakonov V.P. Matlab i Simulink dlja radioinzhenеров [Matlab and Simulink for radio engineers]. Moscow: DMK-Press, 2011. 976 p. (Russian).
7. Nikamin V.A. Tsifrovaja zvukozapis. Tekhnologii i standarty. [Digital sound recording. Technologies and standards]. St. Petersburg: NiT, 2002. 256 p. (Russian).
8. Nave M.J. Power Line Filter Design for Switched Mode Power Supplies, 2nd Edition Hardcover. 2010. 186 p.
9. Kechiev L.N., Stepanov P.V. EMS i informacionnaja bezopasnost' v sistemah telekommunikacij [EMC and information safety in telecommunication systems]. Moskow: Izdatelskij dom Tehnologiji, 2005. 320 p. (Russian).
10. Pilinskij V.V., Veretjuk S.M., Dovgenko A.O., Shvaichenko V.B. Osoblivosti mikroprocesornogo keruvannya parametrami drosselja protyzavodovogo fil'tra dlja keruvannya harakteristikami zagasanja v smuzi chastot 3-5 dekad.[Features of microprocessor control of RFI-filter choke parameters in frequency range 0f 3-5 decade] Elektronika i svjaz Tematichnyj vypusk Elektronika i nanotekhnologii [Electronics and telecommunication. Special issue Electronics and nanotechnology]. No. 4. 2011. P.182–185. (Ukrainian).

Надійшла (received) 02.03.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бакико Вадим Миколайович (Бакико Вадим Николаевич, Bakiko Vadym Nikolaevich)** – асистент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ; тел.: (+38044) 204-80-80; e-mail: slezabaklana@gmail.com.

**Попович Павло Васильович (Попович Павел Васильевич, Popovych Pavlo Vasyliovych)** – доцент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, канд. техн. наук, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ; тел.: (+38044) 204-93-54; e-mail: prpv\_ua@ukr.net.

**Швайченко Володимир Борисович (Швайченко Владимир Борисович, Shvaichenko Volodymyr Vorysovych)** – доцент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації, канд. техн. наук, доцент, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ; тел.: (+38044) 204-80-80; e-mail: vbs2011@ukr.net.