

УДК 621.391

В.В. Капурін<sup>1</sup>, В.П. Лисечко<sup>1</sup>, О.В. Северінов<sup>2</sup><sup>1</sup>Українська державна академія залізничного транспорту, Харків<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗХІДНОГО КАНАЛУ ТЕХНОЛОГІЇ LTE В СКЛАДНИХ ПЕРЕШКОДОВИХ УМОВАХ

В статті проводиться дослідження характеристик низхідного каналу: визначення кореляційних властивостей сигналів QPSK, QAM-16, QAM-64, а також визначення BER шляхом теоретичного розрахунку і шляхом моделювання радіоканалу в середовищі "Matlab".

**Ключові слова:** перешкодостійкість, кореляційні властивості, АБГШ, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Стандарт LTE (Long-Term Evolution) вважається логічним розвитком технологій 4G, його упровадження є перспективним напрямом розвитку мереж. Основною метою створення стандарту LTE це: нарощування можливостей високошвидкісних систем мобільного зв'язку, зменшення вартості передачі даних, можливість надання широкого спектру недорогих послуг. LTE відрізняється від 3G підвищеною місткістю, кращим використанням частотного спектру і меншою затримкою, яка може знижуватися всього до 5 мс для невеликих пакетів. Підвищення швидкості передачі даних означає і підвищення якості послуг, що представляються, сприяє розповсюдженню сучасних мультимедійних сервісів (соціальні мережі, розраховані на ігри, інтерактивні онлайн-додатки, відео-конференції, відеодзвінки і ін.).

В технології LTE існують два види каналу для передачі даних і службової інформації: низхідний (downlink) і висхідний (uplink) канали [1]. В даній статті ми обмежимося розглядом тільки низхідного каналу. В наше століття індустріального суспільства перешкодова обстановка в радіоканалі з кожним роком все більше ускладнюється. На шляху розповсюдження радіосигналу виникає безліч перешкод різного походження, що утрудняє його прийом.

Оскільки технологія LTE працює у високочастотному діапазоні вона особливо схильна до впливу перешкод. Поряд з різними заходами направленними на збільшення вірогідності достовірного прийому, в низхідному каналі застосовуються такі види модуляції: QPSK, QAM-16 і QAM-64.

**Метою статті** є дослідження характеристик низхідного каналу: визначення кореляційних властивостей сигналів QPSK, QAM-16, QAM-64 модуляції в складних перешкодових умовах, а також оцінка інтенсивності бітових помилок для перерахованих видів модуляцій, шляхом теоретичного розрахунку і шляхом моделювання радіоканалу в середовищі "Matlab".

### Основний матеріал

Згадані раніше види модуляції використовуються в низхідному каналі залежно від конкретних перешкодових умов, і мають різну перешкодостійкість. За характером взаємодії з сигналом перешкоди можна розділити на адитивні і мультиплікативні перешкоди. Адитивні перешкоди додаються з сигналом, а мультиплікативні помножуються. В даній статті розглядатимемо вплив тільки адитивних перешкод.

Припустимо у нашому низхідному каналі перешкодова обстановка визначається такими видами перешкод як: адитивний білий гаусівський шум (АБГШ) і послідовність імпульсів Гауса.

АБГШ характеризується рівномірною спектральною щільністю, нормально розподіленим значенням амплітуди і адитивним способом дії на сигнал. Є найпоширенішим видом шуму, який використовується для розрахунку і моделювання систем радіозв'язку. Він виникає в результаті одночасної дії багатьох незалежних випадкових джерел.

Один імпульс послідовності імпульсів Гауса описується першою похідною від функції розподілу Гауса:

$$V(t) = A \frac{\sqrt{2e}}{\tau} t \cdot e^{-(t/\tau)^2},$$

де  $A$  – амплітуда імпульсу;  $\tau$  – часова константа, що характеризує згасання (тривалість імпульсу –  $2\pi\tau$ ).

Введемо поняття кореляційної функції (КФ) та взаємної кореляційної функції (ВКФ). КФ детермінованого сигналу є інтегралом (в нескінченних межах) від добутку двох копій сигналу, зсунутих один щодо одного на якийсь час  $\tau$  [2]:

$$R_S(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t-\tau)dt.$$

КФ показує ступінь схожості між сигналом і його зсунутою копією – чим більше значення КФ, тим ця схожість сильніше. Значення КФ коливається в межах від  $-1$  до  $1$ . ВКФ дозволяє виміряти ступінь схожості для зсунутих екземплярів двох різних сиг-

налів. Загальний вид формули КФ зберігається, але під інтегралом стоїть добуток двох різних сигналів, один з яких затриманий на якийсь час  $\tau$  [2]:

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)s_2(t-\tau)dt .$$

Очевидно, що КФ є окремим випадком ВКФ, коли обидва сигнали однакові:  $s_1(t) = s_2(t) = s(t)$ .

Змодельємо перешкодову обстановку в низхідному каналі за допомогою середовища "Matlab".

Додамо до QPSK-сигналу АБГШ:

$$Z_{C+ABГШ}(t) = s(t) + n(t),$$

де  $s(t)$  – корисний сигнал (QPSK-сигнал);  $n(t)$  – перешкода виду АБГШ;  $Z_{C+ABГШ}(t)$  – суміш QPSK-сигналу з АБГШ.

Аналогічні дії проводимо для QAM-16 і QAM-64 сигналів.

Розрахуємо ВКФ між «чистим» модульованим сигналом  $s(t)$  і сигналом з АБГШ  $Z_{C+ABГШ}(t)$  для кожного виду модуляції по наступній формулі:

$$R_{C,C+ABГШ}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot Z_{C+ABГШ}(t-\tau)dt .$$

Тепер побудуємо графік залежності максимальних викидів ВКФ від відношення сигнал/шум (Signal Noise Ratio, SNR) для кожного виду модуляції. Проведемо апроксимацію отриманого графіка поліномом 3-ї ступені. Графік залежності максимальних викидів ВКФ  $R_{C,C+ABГШ}(\tau)$  від SNR приведений на рис. 1.

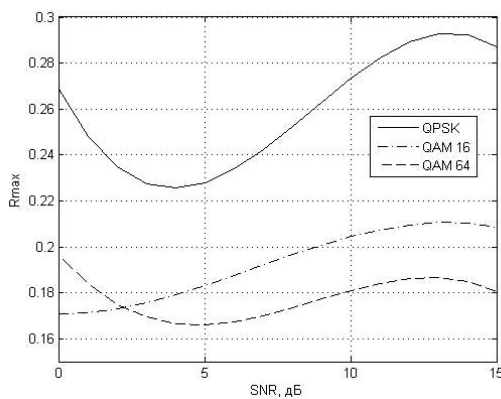


Рис. 1. Графік залежності максимальних викидів ВКФ  $R_{C,C+ABГШ}(\tau)$  від SNR для QPSK, QAM-16, QAM-64 модуляцій

З рис. 1 видно що найбільші викиди ВКФ у QPSK модуляції, зі збільшенням SNR ці викиди збільшуються. Викиди ВКФ QAM-16 і QAM-64 модуляцій дещо менше.

Ускладнимо перешкодову обстановку в каналі додавши до суміші QPSK-сигнал з АБГШ  $Z_{C+ABГШ}(t)$  послідовність імпульсів Гауса:

$$Z_{C+ABГШ+ПИ}(t) = Z_{C+ABГШ}(t) + n(t),$$

де  $Z_{C+ABГШ+ПИ}(t)$  – суміш QPSK-сигналу з АБГШ + послідовність імпульсів;  $n(t)$  – перешкода у вигляді послідовності імпульсів Гауса.

Аналогічні дії проводимо для QAM-16, QAM-64 сигналів з АБГШ.

Розрахуємо ВКФ між «чистим» модульованим сигналом  $s(t)$  і сигналом з АБГШ + послідовність імпульсів  $Z_{C+ABГШ+ПИ}(t)$  для кожного виду модуляції по наступній формулі:

$$R_{C,C+ABГШ+ПИ}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot Z_{C+ABГШ+ПИ}(t-\tau)dt .$$

Тепер побудуємо графік залежності максимальних викидів ВКФ від SNR для кожного виду модуляції. Проведемо апроксимацію отриманого графіка поліномом 3-ї ступені. Графік залежності максимальних викидів ВКФ  $R_{C,C+ABГШ+ПИ}(\tau)$  від SNR приведений на рис. 2.

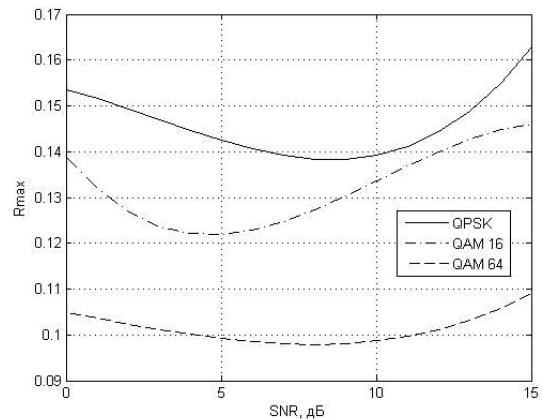


Рис. 2. Графік залежності максимальних викидів ВКФ  $R_{C,C+ABГШ+ПИ}(\tau)$  від SNR для QPSK, QAM-16, QAM-64 модуляцій

З рис. 2 стає очевидним що додавання послідовності імпульсів до модульованого сигналу з АБГШ значно зменшило величину викидів ВКФ для всіх видів модуляції. І навіть при збільшенні SNR до 15 дБ, величина викидів ВКФ практично не збільшується. А це у свою чергу свідчить про те що корисний сигнал сильно спотворений перешкодами в каналі, що створює певні труднощі для його впевненого прийому.

Перейдемо до розгляду одного з найважливіших параметрів якості для систем цифрової передачі – BER. BER (bit error rate) - інтенсивність бітових помилок, коефіцієнт помилок по бітах – це відношення числа бітових помилок до загального числа біт, переданих за час проведення тесту по каналу, що знаходиться в стані готовності. BER є дуже важливим параметром, по якому ведуть оцінку можливості передачі цифрових сигналів по каналу. Наприклад,

значення  $BER=10^{-4}$ , говорить про те, що в середньому з 10 000 біт спотворюється значення одного біта [3].

Ймовірність помилки в загальному випадку рівна сумі ймовірностей всіх можливостей її появи. Розглянемо дію тільки основного джерела появи помилки в низхідному каналі – АБГШ.

Проведемо розрахунок BER для QPSK, QAM-16, QAM-64 модуляцій при різних значеннях відношення  $E_b/N_0$  (відношення (в децибелах) енергії одного біта до спектральної щільності потужності АБГШ) в середовищі “Matlab”. Обчислення проводитимемо: шляхом теоретичного розрахунку і шляхом моделювання проходження модульованого сигналу через АБГШ-канал для всіх вище перерахованих видів модуляцій. Результати розрахунків у вигляді графіків залежності BER від відносини  $E_b/N_0$ , отримані теоретично і шляхом моделювання показані на рис. 3 і 4 відповідно.

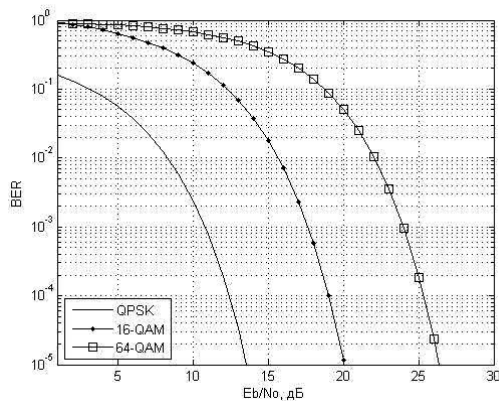


Рис. 3. Графіки залежності BER від відношення  $E_b/N_0$  для QPSK, QAM-16, QAM-64 модуляцій, отримані шляхом теоретичного розрахунку

Як видно з рис. 3 і 4 результати розрахунку BER отримані шляхом теоретичних розрахунків і шляхом моделювання практично не відрізняються. З графіків на рис. 3 і 4 видно що BER зменшується із збільшенням відношення  $E_b/N_0$ , також стає очевидним те що найбільш різко знижується BER при QPSK модуляції (вже при значенні  $E_b/N_0=13$  дБ,  $BER=10^{-5}$ ).

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИСХОДЯЩЕГО КАНАЛА ТЕХНОЛОГИИ LTE В СЛОЖНЫХ ПОМЕХОВЫХ УСЛОВИЯХ

В.В. Капурин, В.П. Лысечко, О.В. Северинов

В статье проводится исследование характеристик нисходящего канала: определение корреляционных свойств сигналов QPSK, QAM-16, QAM-64, а также определение BER путём теоретического расчёта и путём моделирования радиоканала в среде “Matlab”.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, корреляционные свойства, АБГШ, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

#### RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF THE DESCENDING CHANNEL OF TECHNOLOGY LTE IN DIFFICULT NOISE CONDITIONS

V.V. Kapurin, V.P. Lysechko, O.V. Severinov

Research of characteristics of the descending channel is carried out article: definition of correlation properties of signals QPSK, QAM-16, QAM-64, and also definition BER by theoretical calculation and by radio channel modelling in “Matlab environment”.

**Keywords:** a noise stability, correlation properties, AWGN, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Відповідно можна зробити висновок про те що QPSK модуляція найбільш перешкодостійка із всіх трьох раніше згаданих видів модуляцій.

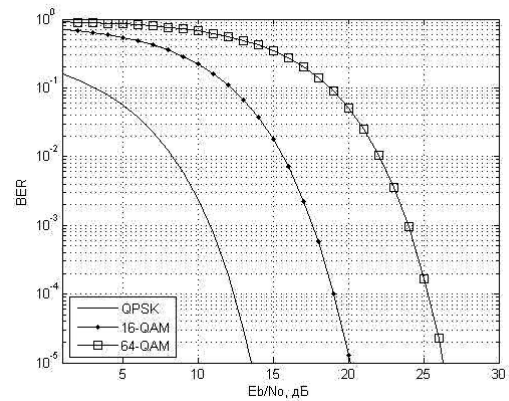


Рис. 4. Графіки залежності BER від відношення  $E_b/N_0$  для QPSK, QAM-16, QAM-64 модуляцій, отримані шляхом моделювання

#### ВИСНОВКИ

В результаті дослідження характеристик низхідного каналу було встановлено наступне:

- 1) що при додаванні до модульованого сигналу АБГШ і послідовності імпульсів значно зменшується величина викидів ВКФ при всіх видах модуляцій;
- 2) BER при QPSK модуляції зменшується при меншому значенні відношення  $E_b/N_0$ , тобто QPSK модуляція найбільш перешкодостійка із всіх трьох раніше згаданих видів модуляцій.

#### Список літератури

1. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, СВ. Терентьев, А.Б. Юрчук. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
3. Методы измерений в системах связи / И.Г. Бакалов. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 196 с.

Надійшла до редколегії 7.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.