

УДК 621.391.82

**А.О. Москаленко (канд. техн. наук), Г.В. Сокол (канд. техн. наук)**

Полтавський національний технічний університет

імені Юрія Кондратюка, м. Полтава

кафедра комп'ютерної інженерії

E-mail: [Sokolgalin\\_a@mail.ru](mailto:Sokolgalin_a@mail.ru), [Artem\\_mo@mail.ru](mailto:Artem_mo@mail.ru)**ПЕРЕШКОДОСТІЙКІСТЬ СИГНАЛІВ CCSK-МОДУЛЯЦІЇ НА БАЗІ  
ДОСКОНАЛИХ ДВІЙКОВИХ МАТРИЦЬ В УМОВАХ  
БАГАТОПРОМЕНЕВОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ**

*В роботі представлено результати аналітичного дослідження та моделювання дискретного каналу зв'язку з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль для сигналів на базі досконалих двійкових матриць.*

**Ключові слова:** моделювання дискретного каналу зв'язку, модуляція циклічним зсувом коду, багатопроменевість розповсюдження радіохвиль, математична модель.

**Загальна постановка проблеми**

Важливою складовою сучасної інформаційно-телекомунікаційної системи залізничного транспорту є системи бездротового зв'язку. Для систем бездротового зв'язку залізничного транспорту висуваються високі вимоги щодо перешкодостійкості сигналів зв'язку.

При використанні вузькосмугових сигналів в системах бездротового зв'язку залізничного транспорту існує ряд недоліків: низька перешкодостійкість, низька структурна та енергетична скритність, неефективне використання частотного ресурсу та ін. Суттєво покращити ці характеристики можливо шляхом використання сигналів з розширенням спектру.

Перспективними методами широкосмугової модуляції є МВОК (M-ary Biorthogonal Keying - M-ічна двоортогональна модуляція), CCSK (Cyclic Code Shift Keying - модуляція циклічним зсувом коду), OCDM (Orthogonal Code Division Multiplex - мультиплексування сигналів з ортогональним кодовим ущільненням), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex - мультиплексування сигналів з ортогональним частотним ущільненням). За результатами аналізу даних методів модуляції встановлено, що найкращим методом є МВОК завдяки високій стійкості до радіоперешкод та багатопроменевого розповсюдження радіохвиль [1,2]. Іншим перспективним методом є CCSK [3], він поступається M-ічній двоортогональній модуляції внаслідок використання неортогонального алфавіту сигналів та вразливості до багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

Змінюючи методи формування алфавіту сигналів CCSK-модуляції можливо усунути вказані недоліки [4,5]. В результаті чого, модуляція циклічним зсувом коду, у порівнянні з МВОК, отримує перевагу за рахунок забезпечення більш високої швидкості передачі інформації та простоти кореляційної обробки сигналів.

**Постановка задач дослідження**

Таким чином, для дослідження перешкодостійкості сигналів з модуляцією циклічним зсувом коду на базі досконалих двійкових матриць (ДДМ) в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести теоретичне дослідження перешкодостійкості сигналів CCSK-модуляції на базі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.
2. Розробити модель дискретного каналу зв'язку з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.
3. Дослідити перешкодостійкість сигналів CCSK-модуляції на базі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль за результатами моделювання.

**Розв'язання задач та результати досліджень**

**Теоретичне дослідження перешкодостійкості сигналів CCSK-модуляції на базі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.**

Дослідження перешкодостійкості сигналів CCSK-модуляції на базі досконалих двійкових матриць доцільно розпочати з розгляду основних принципів формування алфавіту сигналів.

При використанні класичного методу CCSK-модуляції алфавіт сигналів утворюється циклічними зсувами єдиної кодової послідовності  $c_0, c_1, \dots, c_{L-1}$  (вона ж являється опорним сигналом у кореляторі).

При реалізації систем передачі інформації з CCSK-модуляцією існує технічна проблема: в каналах із багатопроменевою копією сигналу, що запізнюються по часу, можуть бути схожими з деякими іншими символами того ж алфавіту (даний недолік є прямим наслідком одновимірної циклічної структури системи сигналів).

В роботах [4,5] запропоновано формувати алфавіт сигналів у двовимірному вигляді. Розгортка по рядках кожної з  $N \times N$  циклічних перестановок ДДМ дозволяє сформувати повну систему ортогональних функцій. Циклічні перестановки ДДМ можуть здійснюватися по рядках, стовпчиках або за їхньою комбінацією (рис. 1).

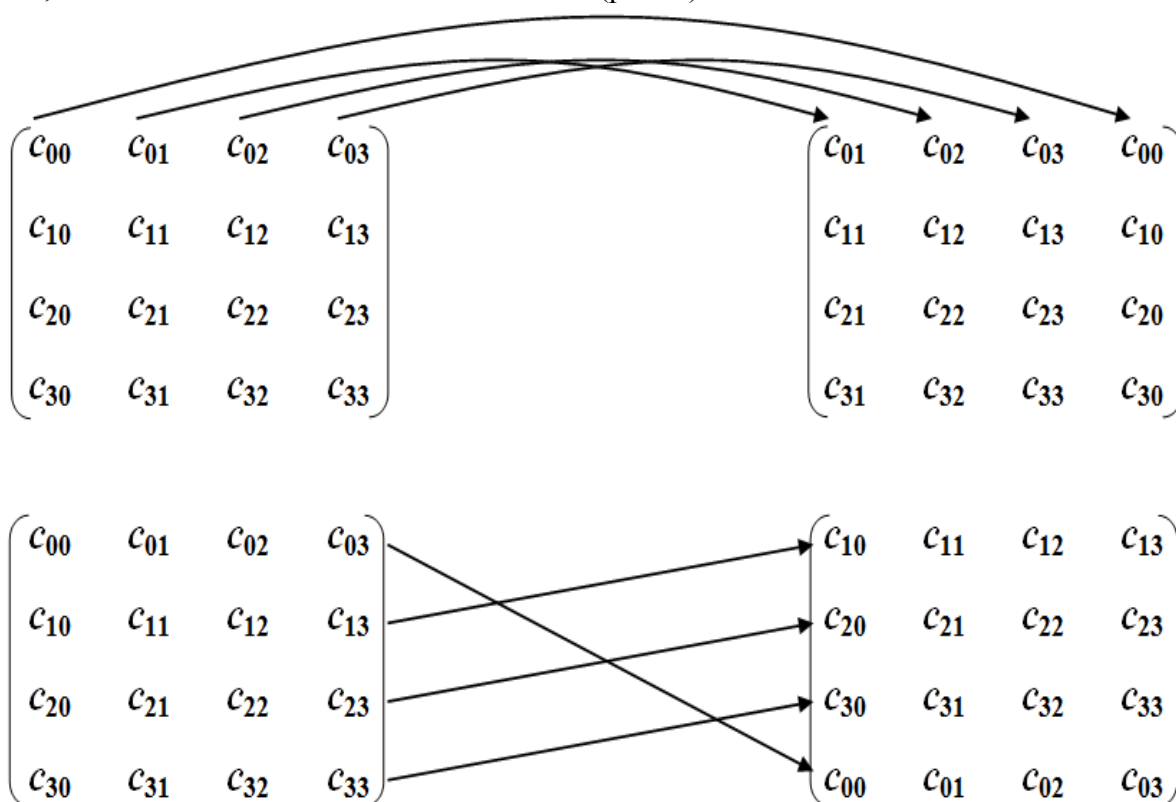


Рисунок 1 — Порядок циклічної перестановки ДДМ по стовпчиках і рядках

Відсутність одновимірної циклічності кодів показано на рис. 2.

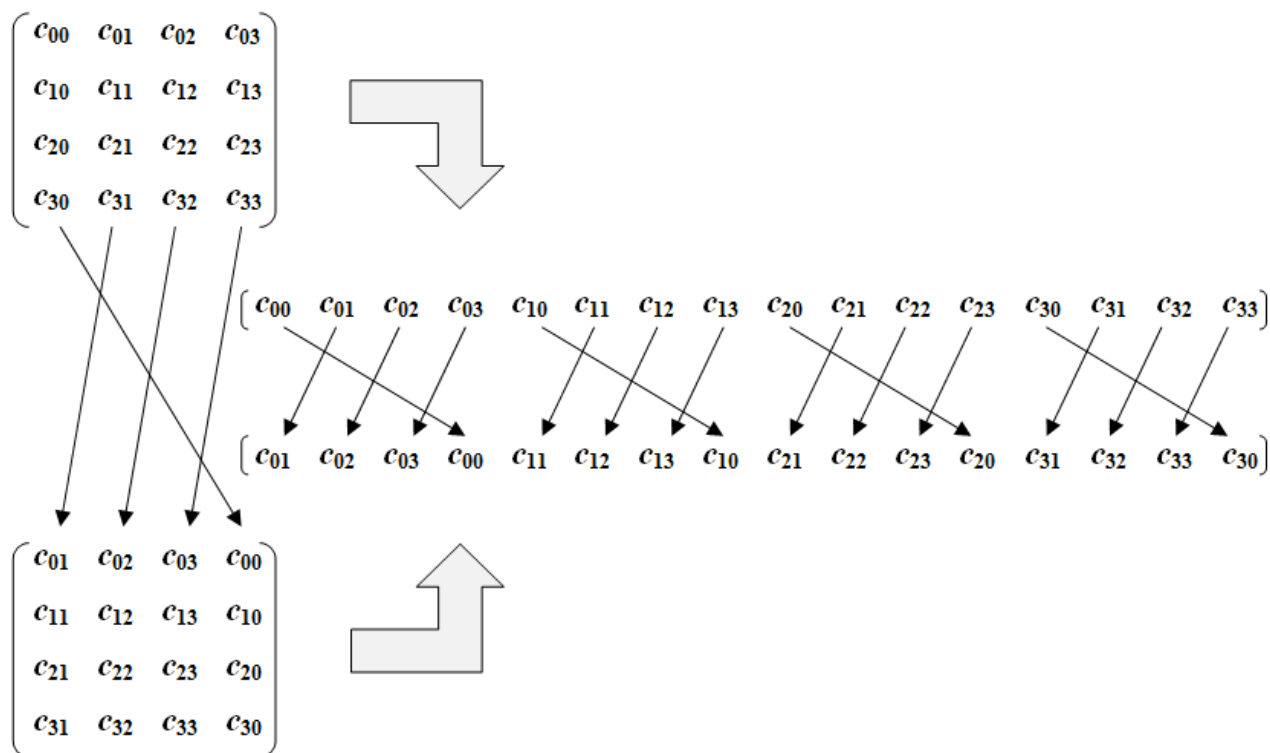


Рисунок 2 — Залежність структури одновимірного коду від циклічного зсуву двовимірної ДДМ

Таким чином, отримані коди пов'язані між собою нескладною структурною трансформацією – двохвимірною циклічністю, в той же час одновимірної циклічності часової структури кодів відсутня, це дозволяє використовувати їх в каналах з багатопроменевістю.

Проте, у випадку, коли затримка у розповсюдженні віддзеркаленого променя кратна  $N \times \tau$  (де  $N$  - розмірність ДДМ;  $\tau$  - протяжність чіпу), запропоновані сигнали є вразливими до багатопроменевого розповсюдження радіохвиль (рис. 3).

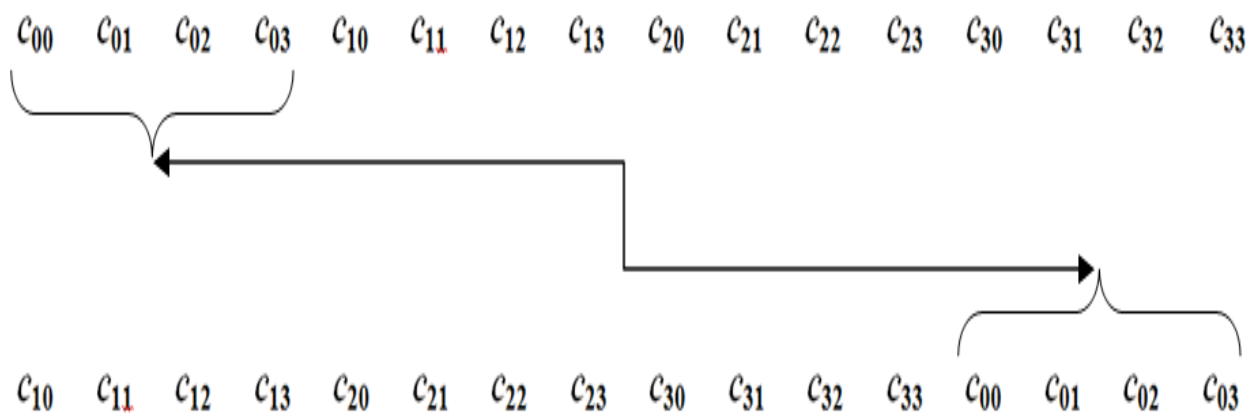


Рисунок 3 — Структура прийнятого сигналу для випадку затримки у розповсюдженні віддзеркаленого променя кратної  $N \times \tau$

### Модель дискретного каналу зв'язку з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль

Для підтвердження висунутої гіпотези, необхідно проведення математичного моделювання каналу зв'язку з CSSK-модуляцією в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

В роботі [6] запропонована математична модель дискретного каналу зв'язку, що дозволяє досліджувати перешкодостійкість сигналів, з модуляцією циклічним зсувом коду, в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль (рис. 4). В моделі забезпечується вибір типу алфавіту сигналу модуляції циклічним зсувом коду, параметрів прямого та віддзеркаленого променів (підсилення та час затримки сигналу).

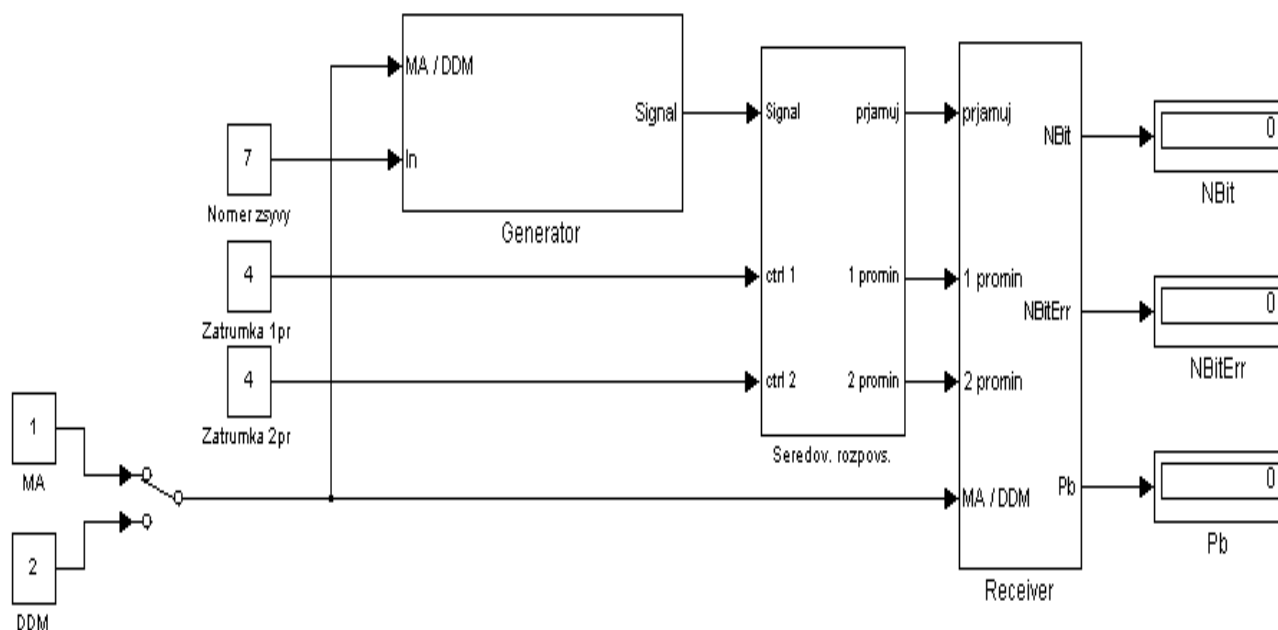


Рисунок 4 — Модель дискретного каналу зв'язку для дослідження перешкодостійкості сигналів CSSK-модуляції в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль

Моделювання дискретного каналу зв'язку з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль, при використанні різних алфавітів сигналів та характеристик каналу, дозволить дослідити перешкодостійкість різних сигналів, з метою вибору необхідного.

### Перешкодостійкість сигналів CSSK-модуляції на базі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль

За результатами моделювання, яке було проведено в середовищі Matlab, отримані залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біта ( $P_{\text{ош}}$ ) від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа на вході приймача ( $\tau_3/\tau_4$ ) при багатопроменевому розповсюдженні радіохвиль.

Залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біту від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа при використанні сигналів на базі ДДМ для різного співвідношення амплітуд прямого і віддзеркаленого променя приведені на рис. 5 (а-е).

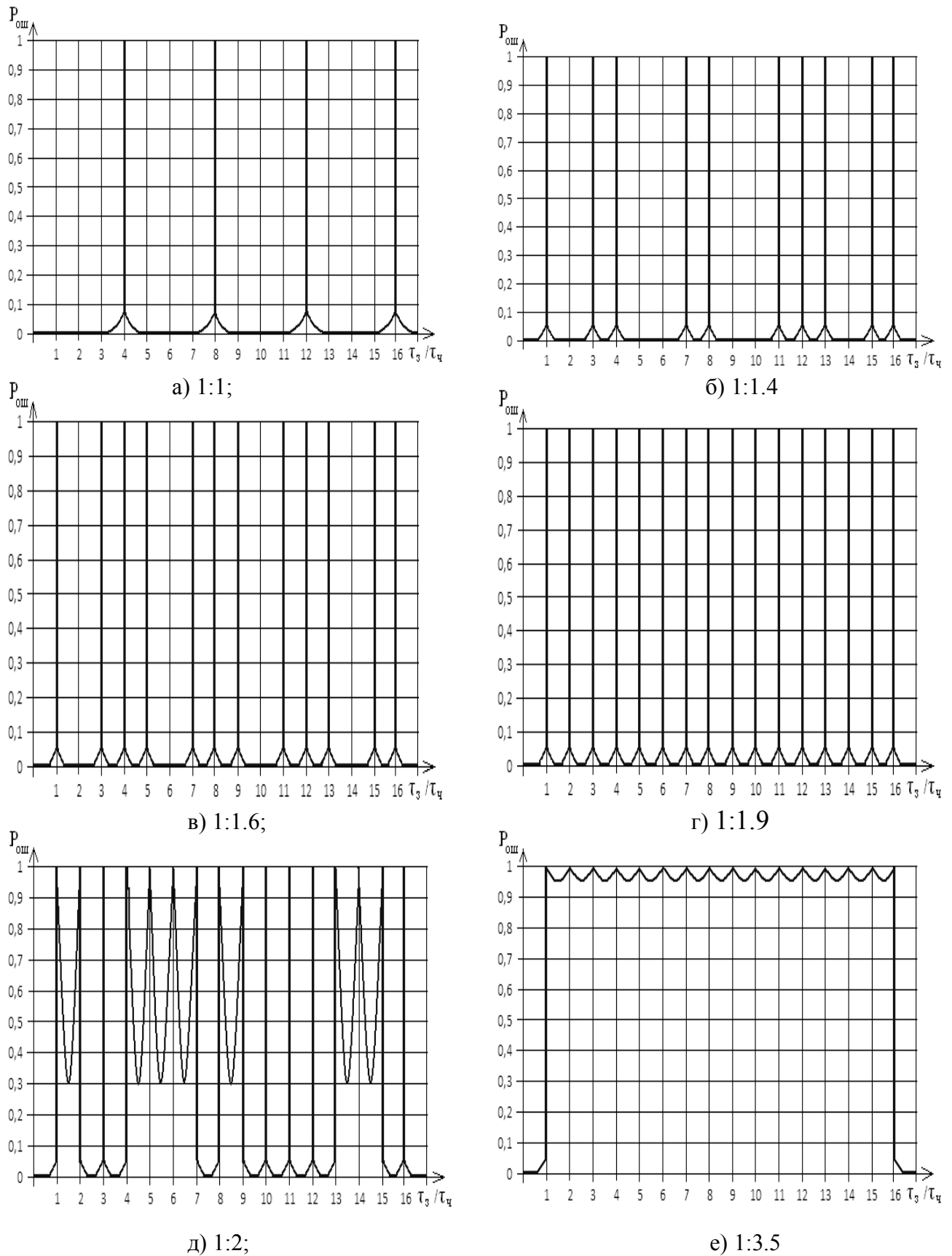


Рисунок 5 — Залежність  $P_{\text{ош}}$  від співвідношення  $\tau_3/\tau_4$  при використанні сигналів на базі ДДМ для співвідношення амплітуд прямого і віддзеркаленого променя

За результатами моделювання з використанням сигналів на базі досконалих двійкових матриць, встановлено, що ймовірність помилкового прийому інформаційного біта наближається до одиниці лише у випадках коли час затримки кратний тривалості чотирьох чіпів, за умови що амплітуди віддзеркалених променів не більші за амплітуду прямого (рис. 5а).

При перевищенні амплітуди віддзеркалених променів у співвідношенні 1:1.4 помилки прийому інформаційних біт виникають також при затримці віддзеркалених променів рівній тривалості 1, 3, 7, 11, 13, 15 чіпів (рис. 5б). При перевищенні амплітуди віддзеркалених променів у співвідношенні 1:1.6 помилки прийому виникають також при затримці рівній тривалості 5 та 9 чіпів (рис. 5в). При перевищенні амплітуди віддзеркалених променів у співвідношенні 1:1.9 помилки прийому виникають при часі затримки кратному тривалості одного чіпа (рис. 5г). У випадку перевищення амплітуди віддзеркалених променів над амплітудою прямого у співвідношенні 1:2 і більше, помилки в прийомі інформаційних біт виникають і при проміжних значеннях затримки (рис. 5д-5е).

### Висновки

Результати моделювання каналу зв'язку з розширенням спектру сигналів в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль з використанням сигналів на основі ДДМ співпадають з результатами аналітичних досліджень.

З отриманих графіків можна зробити висновок, що сигнали на основі ДДМ обробляються без помилок при більш великих значеннях часу затримки ніж сигнали на базі кодів Уолша (час затримки  $< N \times \tau$ ).

### Список використаної літератури

1. Proposal for a high speed PHY for the 2.4 GHz band / [M. Webster et al.] // IEEE P802.11-98/47. - 1998.
2. DS-UWB physical layer submission to 802.15 task group 3a / [Fisher et al.] // IEEE P802.15-04/01373r3. - 2004.
3. Cyclic Code Shift Keying: A Low Probability of Intercept Communication Technique / [G.M. Dillard et al.] // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Systems. – 2003. - vol. AES-39. – P. 786 - 798.
4. Гепко И.А. Новый класс ортогональных кодов для телекоммуникационных систем CDMA и метод их корреляционного приема, минимизирующий вычислительную сложность цифрового сигнального процессора / И.А. Гепко, А.А. Москаленко // Зв'язок. – 2007. - № 6. – С. 33-39.
5. Гепко И.А. Свойства ортогональных сигналов с прямым расширением спектра на основе совершенных двоичных матриц и алгоритма их корреляционной обработки / И.А. Гепко, А.А. Москаленко // Радиоэлектроника (Изв. вузов). – 2008. – № 1-2. – С. 49-60.
6. Москаленко А.О. Математична модель дискретного каналу зв'язку з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль / А.О. Москаленко, С.О. Івко, О.О. Лаврут// Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – № 2(8). – С. 79-81.

Надійшла до редакції:  
23.04.2013

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

*А.А. Москаленко, Г.В. Сокол*

*Полтавский национальный технический университет*

***Помехоустойчивость сигналов СССК-модуляции на базе усовершенствованных двоичных матриц в условиях многолучевого распространения.*** В работе представлены результаты моделирования дискретного канала связи с модуляцией циклическим сдвигом кода в условиях многолучевого распространения радиоволн для сигналов на базе совершенных двоичных матриц.

***Ключевые слова:*** моделирование дискретного канала связи, модуляция циклическим сдвигом кода, многолучевое распространение радиоволн, математическая модель.

*A.A. Moskalenko, G.V. Sokol*

*Poltava National Technical University*

***Noise Immunity of Signals of CCSK-modulation on the Basis of Improved Binary Matrices under Conditions of Multipath Transmission.*** The work gives the results of the comparative analysis of the prospective methods in broad-band modulation and the analytic research of the noise immunity of signals with modulation with the cyclic shift of code on the basis of perfect binary matrices. The model of a discrete channel of communication with modulation with the cyclic shift of code for researching the noise immunity of signals under conditions of multipath transmission of radio waves is described. The model provides the choice of the alphabet type of signal of the modulation with the cyclic shift of code and parameters of direct and reflected beam (amplification and signal delay time).

The results of modelling the discrete channel of communication with modulation with the cyclic shift of code under conditions of multipath transmission of radio waves for signals on the basis of perfect binary matrices are presented. The dependencies of the probability of erroneous receiving of information bits on the ratio of the delay time to the time of one chip passage when using signals on the basis of perfect binary matrices for the different ratio of the direct and reflected beam amplitudes have been obtained.

The results of modelling the discrete channel of communication with modulation with the cyclic shift of code under conditions of multipath transmission of radio waves for signals with modulation with the cyclic shift of code on the basis of perfect binary matrices match the results of the analytic research. Based on the results of the research, it was ascertained that signals with modulation with the cyclic shift of code on the basis of perfect binary matrices are processed without errors with the values of the delay time greater than signals with modulation with the cyclic shift of code on the basis of Walsh codes for an instance when the reflected beam amplitude does not go beyond that of the direct beam. This characteristic allows to use signals with modulation with the cyclic shift of code on the basis of perfect binary matrices for extending the range of communication of wireless communication systems.

***Keywords:*** modeling of the discrete channel of communication, modulation with the cyclic shift of code, multipath transmission of radio waves, mathematical model.