

# Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 519.876.5

А.О. Москаленко, С.О. Івко, О.О. Лаврут

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ "КПІ", Київ

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ З МОДУЛЯЦІЄЮ ЦИКЛІЧНИМ ЗСУВОМ КОДУ В УМОВАХ БАГАТОПРОМЕНЕВОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

В роботі наведені результати порівняльного аналізу перспективних методів широкосмугових модуляцій; представлено опис математичної моделі дискретного каналу зв'язку, що дозволяє досліджувати перешкодостійкість сигналів, з модуляцією циклічним зсувом коду, в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль. В моделі забезпечується вибір типу алфавіту сигналу модуляції циклічним зсувом коду, параметрів прямого та віддзеркаленого променів (підсилення та час затримки сигналу).

**Ключові слова:** модуляція циклічним зсувом коду, багатопроменевість розповсюдження радіохвиль, математична модель.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використання вузькосмугових сигналів обумовлює ряд недоліків сучасних систем військового радіозв'язку: низька перешкодостійкість, низька структурна та енергетична скритність, неефективне використання частотного ресурсу. Суттєво покращити ці характеристики можливо шляхом використання сигналів з розширенням спектру.

За результатами порівняльного аналізу перспективних методів широкосмугової модуляції (МВОК, CSSK, OCDM, OFDM) встановлено, що найкращим методом є МВОК (М-ічна двоортогональна модуляція) завдяки високій стійкості до радіоперешкод та багатопроменевого розповсюдження радіохвиль [1, 2]. Іншим перспективним методом є CSSK (Cyclic Code Shift Keying, модуляція циклічним зсувом коду) [3], що поступається М-ічній двоортогональній модуляції внаслідок використання неортогонального алфавіту сигналів та вразливості до багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

В роботі [4, 5] показано, що змінюючи методи формування алфавіту сигналів CSSK-модуляції можливо усунути вказані недоліки (при використанні запропонованого методу синтезу). 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.

Для підтвердження висунутої в [4, 5] гіпотези, необхідно проведення математичного моделювання каналу зв'язку з CSSK-модуляцією в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

Проте, в існуючих моделях відсутня реалізація CSSK-модуляції з можливістю вибору методу формування алфавіту сигналів.

Тому метою даної роботи є розробка математичної моделі дослідження перешкодостійкості сигналів з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

### Структура моделі

В програмному середовищі Matlab, було розроблено математичну модель дискретного каналу зв'язку, що зображена на рис. 1.

Основні складові моделі:

- підсистема "Generator", що формує код розширення спектру сигналу;
- підсистема "Seredov. rozpovs.", що дозволяє моделювати явище багатопроменевого розповсюдження радіохвиль;
- підсистема "Receiver", що реалізує алгоритми кореляційної обробки сигналу, підрахунок переданих та помилково прийнятих інформаційних біт з подальшим обчисленням ймовірності помилки.

#### Підсистема "Generator"

До складу підсистеми "Generator" (рис. 2). входять два набори генераторів, що формують циклічні зсуви кодів на основі досконалих двійкових матриць [6] та послідовностей Уолша, відлік циклічних зсувів розпочинається з нуля. Згенеровані послідовності надходять на перетворювачі "Converter", що змінюють форму представлення з 0 і 1 на біполярну +1 і -1.

#### Підсистема "Seredov. rozpovs."

Підсистема "Seredov. rozpovs." (рис. 3) складається із трьох променів: прямого та двох віддзеркалених. До складу прямого променя входить підси-

ловач "Gain", призначений для регулювання потужності сигналу шляхом зміни його коефіцієнта підсилення, до віддзеркалених променів окрім підсилю-

вача потужності також входить підсистема "Lin. zatr.1", яка по суті є набором ліній затримки тривалістю від одного чіпа до шістнадцяти.

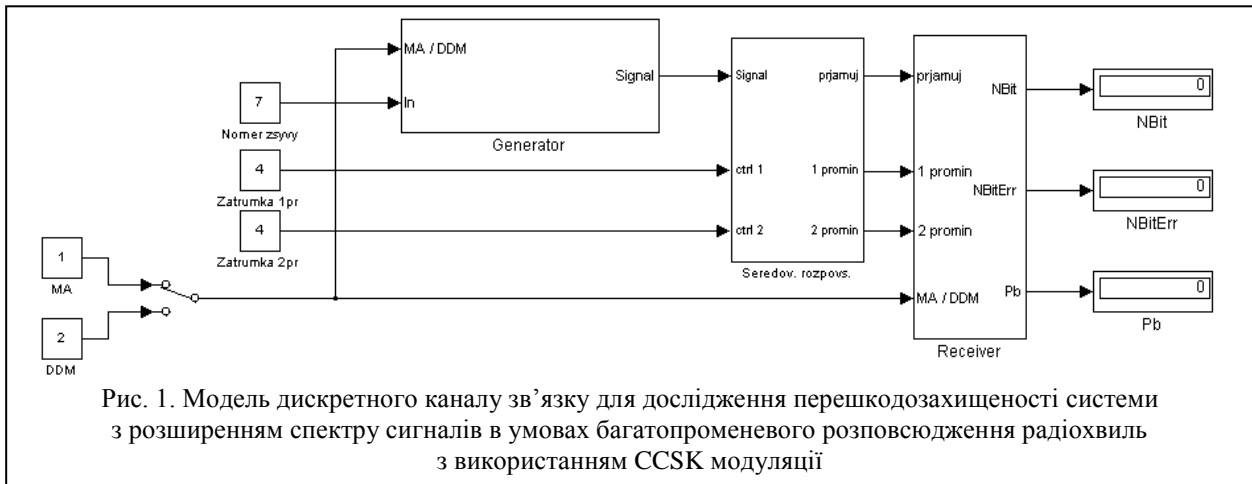


Рис. 1. Модель дискретного каналу зв'язку для дослідження перешкодозахищеності системи з розширенням спектру сигналів в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль з використанням CСSK модуляції

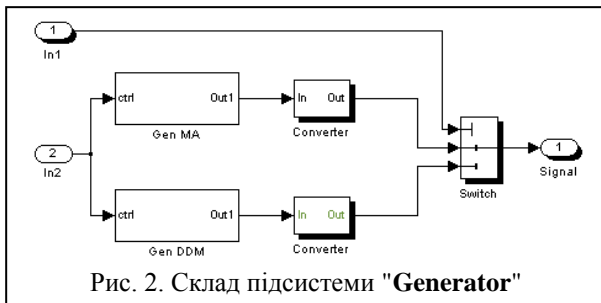


Рис. 2. Склад підсистеми "Generator"

**Підсистема "Seredov. rozpovs."**

Підсистема "Seredov. rozpovs." (рис. 3) складається із трьох променів: прямого та двох віддзеркалених. До складу прямого променя входить підсилювач "Gain", призначений для регулювання потужності сигналу шляхом зміни його коефіцієнта підсилення, до віддзеркалених променів окрім підсилювача потужності також входить підсистема "Lin. zatr.1", яка по суті є набором ліній затримки тривалістю від одного чіпа до шістнадцяти.

**Підсистема "Receiver"**

На вхід підсистеми "Receiver" (рис. 4) надходить сигнал із:

- прямого променя, амплітуда якого змінена але без затримки в часі (вхід "prjamuj");
- двох віддзеркалених променів, із зміненою амплітудою та затриманих в часі (входи "promin 1", "promin 2").

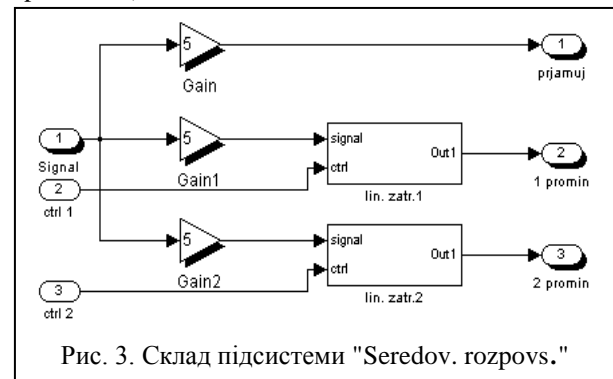


Рис. 3. Склад підсистеми "Seredov. rozpovs."

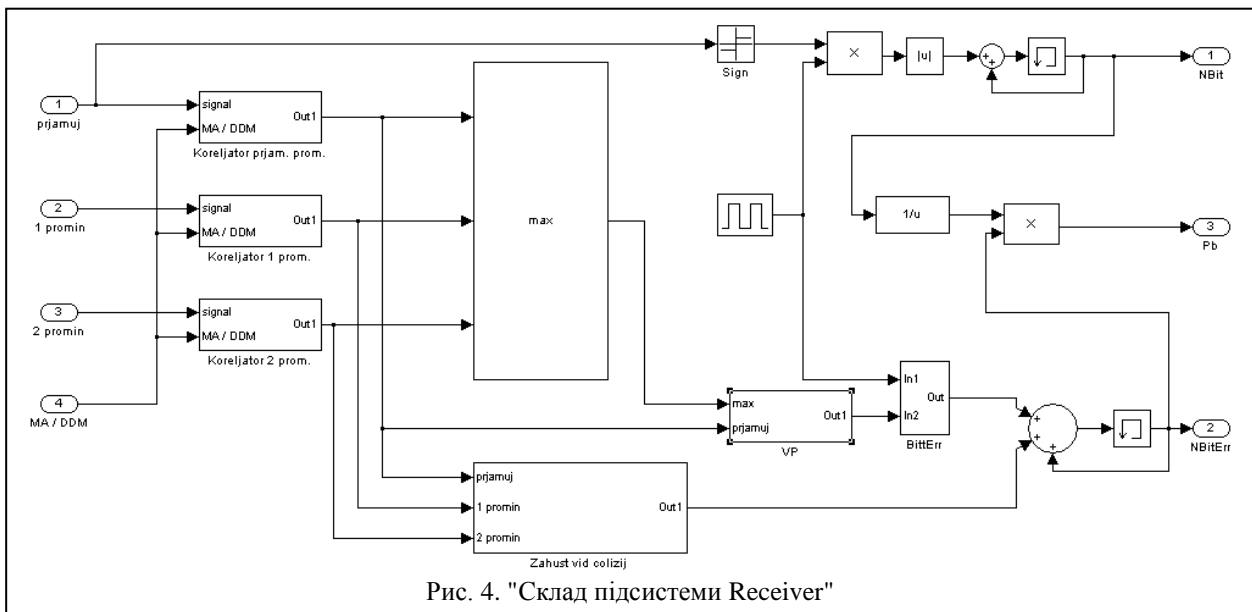


Рис. 4. "Склад підсистеми Receiver"

В схемі підсистеми використані ідеї просторо-во-рознесеного прийому та прямої кореляційної обробки сигналів з CCSSK-модуляцією. Суть прямої кореляційної обробки полягає в наявності набору кореляторів, що відповідають циклічним зсувам опорної копії сигналу.

Обробка кожного з променів здійснюється у відповідній підсистемі що складається з набору кореляторів та блоку порівняння. Кількість кореляторів рівна кількості циклічних зсувів опорної послідовності, що використовуються при модуляції. Кожному корелятору в запам'ятовуючий пристрій внесений відповідний циклічний зсув. Значення взаємкореляційних функцій вхідної послідовності та циклічних зсувів із запам'ятовуючих пристроїв кореляторів надходять на блок порівняння, який вибирає максимальне значення.

Вибрані значення взаємкореляційних функцій порівнюються між собою і максимальне надходить на вхід тах пристрою вирішення, на інший вхід якого надходить значення взаємкореляційної функції з виходу корелятора прямого променя. Якщо вхідні значення різні то на виході пристрою вирішення формується одиниця що надходить в лічильник біт прийнятих з помилкою.

В підсистемі «Receiver» реалізовані:

- лічильник переданих біт;
- лічильник біт, прийнятих з помилкою;
- схема обчислення ймовірності помилкового прийому.

Результати обрахунків відображуються відповідних табло "Nbit", "NbitErr" та "Pb".

Фізична адекватність моделі підтверджена співпаданням результатів моделювання з теоретичними відомостями для відомих кодів (кодів Уолша).

## Висновки

Таким чином, розроблена математична модель дискретного каналу зв'язку відрізняється від існуючих реалізацією модуляції циклічним зсувом коду з можливістю вибору методу формування алфавіту сигналів. Модель призначена для дослідження перешкодостійкості сигналів з розширенням спектру в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

Перспективою подальших досліджень є дослідження перешкодостійкості сигналів на базі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

## Список літератури

1. M. Webster et al., "Proposal for a high speed PHY for the 2.4 GHz band," IEEE P802.11-98/47, Jan. 1998.
2. Fisher et al., "DS-UWB physical layer submission to 802.15 task group 3a," IEEE P802.15-04/01373r3, July 2004.
3. G.M. Dillard et al., Cyclic Code Shift Keying: A Low Probability of Intercept Communication Technique // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Systems., vol. AES-39, July 2003. – P. 786–798.
4. Генко И.А. Новый класс ортогональных кодов для телекоммуникационных систем CDMA и метод их корреляционного приема, минимизирующий вычислительную сложность цифрового сигнального процессора // И.А. Генко, А.А. Москаленко // Зв'язок. – 2007. – № 6. – С. 33-39.
5. Генко И.А. Свойства ортогональных сигналов с прямым расширением спектра на основе совершенных двоичных матриц и алгоритма их корреляционной обработки / И.А. Генко, А.А. Москаленко // Радиоэлектроника (Изв. вузов). – 2008. – № 1-2. – С. 49-60.
6. Генко И.А. Синтез совершенных двоичных решеток / И.А. Генко // Радиоэлектроника (Изв. высш. учебн. заведений). □– 1998. □–Т.41. □– № 6 □ – С. 13□-21.

Надійшла до редколегії 24.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.А. Краснобаєв, Полтавський національний технічний університет, Полтава.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ С МОДУЛЯЦИЕЙ ЦИКЛИЧЕСКИМ СДВИГОМ КОДА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

А.А. Москаленко, С.А. Ивко, А.А. Лаврут

В работе приведены результаты сравнительного анализа перспективных методов широкополосной модуляции, представлено описание математической модели дискретного канала связи, которая позволяет исследовать помехоустойчивость сигналов, с модуляцией циклическим сдвигом кода, в условиях многолучевого распространения радиоволн. В модели обеспечивается выбор типа алфавита сигнала модуляции циклическим сдвигом кода, параметров прямого и отраженного лучей (усиления и времени задержки сигнала).

**Ключевые слова:** модуляция циклическим сдвигом кода, многолучевое распространение радиоволн, математическая модель.

## MATHEMATICAL MODEL OF DISCRETE COMMUNICATION CHANNEL WITH CYCLIC CODE SHIFT KEYING AT MULTIPATH RADIO WAVE PROPAGATION

A.A. Moskalenko, S.A. Ivko, A.A. Lavrut

The work gives the results comparative analyses of perspective methods in broad-band modulations. It's given the description of mathematical model of discrete communication channel. It gives the possibility of signals with cyclic code shift keying at multipath radiowave propagation. The model provides the choice of alphabet type of signal modulation by cyclic code shift keying and parameters of unreflected and reflected beam (amplify and time delay of signal).

**Keywords:** cyclic code shift keying, multipath radiowave propagation, mathematical model.