

Міністерство освіти і науки України  
Українська державна академія залізничного транспорту

СТЕПАНЕНКО ЮЛІЯ ГЕННАДІЇВНА

УДК 621.391

**МЕТОД СИНТЕЗУ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ  
ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Лисечко Володимир Петрович**, Українська державна академія залізничного транспорту, доцент кафедри транспортного зв'язку.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Серков Олександр Анатолійович**, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри систем інформації;

кандидат технічних наук, доцент,  
**Сєверінов Олександр Васильович**, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, начальник інформаційно-обчислювального центру-старший науковий співробітник.

Захист відбудеться «\_\_» травня 2013 року о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 р.

*Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., доцент*

*К.А. Трубчанінова*

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У багатьох сучасних радіоелектронних системах передачі та обробки інформації з метою підвищення їх ефективності сьогодні застосовують складні сигнали. Вперше запропонував використовувати в радіолокації імпульсні складні сигнали з внутрішньо-імпульсною частотною модуляцією (ЛЧМ) Е. Хатман. Першими книгами, в яких розглянуті основні питання, що стосуються складних сигналів, і суттєво вплинули на розвиток теорії складних сигналів, були написані англійським вченим Р. Бенджаміном, а також американськими авторами Ч.Куком і М. Бернфельдом. Серед вітчизняних авторів істотний внесок у теорію і техніку генерування і обробки складних сигналів внесли Д.В. Агеєв, Л.Є. Варакін, Я.Д. Ширман, В.К. Слока, В.Б. Пестряков, В. Іпатов та багато інших авторів.

В кожній роботі вирішується проблема боротьби із завадами множинного доступу, обумовленими одночасною роботою радіостанцій різних абонентів однієї системи в загальній смузі частот при функціонуванні систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів. Такі завади представлені у вигляді взаємного заважаючого впливу сигналів різних абонентів однієї системи за рахунок неідеальності їх взаємкореляційних характеристик і в значній мірі впливають на кількість обслуговуваних користувачів і якість зв'язку між ними. Існуючу проблему можна вирішити за рахунок застосування ансамблів складних сигналів з великою базою, розробка яких дуже активно ведеться за різними напрямками, але число активних абонентів мережі обмежено кількістю кодових адрес відомих ансамблів.

Таким чином, актуальність теми дисертаційних досліджень визначається необхідністю розробки нових методів формування ансамблів складних сигналів для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з метою збільшення їх об'єму при незмінному рівні завад множинного доступу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження в дисертаційній роботі проводилися у відповідності з наступними нормативними актами:

1. Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р. №75/98 – ВР.

2. Концепція створення Державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 17 липня 2003 р. № 410 - р.

3. Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій».

4. Науково-дослідницька робота «Визначення вимог до рухомих засобів зв'язку тактичної ланки управління ВВ МВС України при виконанні завдань за призначенням» (шифр - «Поляна»), № ДР 0111 У 008896, 2012р.

### **Мета і задачі дослідження.**

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів за рахунок збільшення об'ємів ансамблів складних сигналів із низьким рівнем завад множинного доступу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити загальну науково-

прикладну задачу, яка полягає в розробці методу синтезу ансамблів складних сигналів з великим об'ємом для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів. Щоб вирішити загальну науково-прикладну задачу дисертації необхідно вирішити такі частинні задачі досліджень:

1. Провести аналіз відомих методів формування ансамблів складних сигналів для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів і обґрунтувати вибір напрямку дослідження щодо підвищення ефективності телекомунікаційних мереж за рахунок збільшення об'ємів ансамблів складних сигналів.

2. Удосконалити метод формування кодових послідовностей з покращеними взаємкореляційними властивостями і виконати дослідження їх кореляційних властивостей.

3. Здійснити подальший розвиток методу формування ансамблів послідовностей складних сигналів на основі перестановок часових інтервалів послідовностей з низькою взаємною кореляцією.

4. Розробити метод перестановок часових інтервалів в послідовностях, дослідити ансамблеві та кореляційні характеристики отриманих сигналів.

5. Розробити програмне забезпечення, що реалізує функціонування запропонованих методів і оцінити ефективність отриманих на їх основі рішень.

6. Розробити рекомендації щодо практичного застосування запропонованих методів у сучасних і перспективних телекомунікаційних системах.

**Об'єкт дослідження.** Процес формування ансамблів складних сигналів для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

**Предмет дослідження.** Методи синтезу ансамблів складних сигналів збільшеного об'єму.

**Методи дослідження.** При вирішенні частинних наукових задач дисертації використовувались методи статистичної теорії зв'язку, теорії ймовірностей і випадкових процесів, числові методи обробки емпіричних даних.

Для підтвердження достовірності отриманих теоретичних результатів застосовувались методи імітаційного моделювання. Аналіз результатів експериментальних досліджень проводився з використанням методів математичної статистики.

**Наукова новизна положень, розроблених особисто здобувачем** полягає в наступному:

1. Вперше розроблено математичну модель процесу формування кодових послідовностей коротких відеоімпульсів, яка дозволяє визначити період проходження імпульсів в послідовностях ансамблів складних сигналів з урахуванням кількості та тривалості відеоімпульсів, представлених за допомогою апроксимації функції Хевісайда. Це дозволяє синтезувати ансамблі складних сигналів з малим рівнем взаємної кореляції, що підвищує ефективність телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів.

2. Отримав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів за рахунок збільшення об'єму ансамблю послідовностей при незмінному рівні завад множинного доступу, який відрізняється від відомих введенням процедури перестановки часових інтервалів в кодових послідовностях, що дозволяє підвищити

ефективність телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів.

3. Удосконалено метод перестановок часових інтервалів послідовностей ансамблю складних сигналів за рахунок врахування їх взаємкореляційних властивостей шляхом перестановки часових інтервалів послідовностей коротких відеоімпульсів, що дозволяє підвищити ефективність телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів.

**Практичне значення отриманих результатів** досліджень полягає у створенні програмних засобів [8], які реалізують алгоритми:

- формування переставних ансамблів кодових послідовностей з низьким рівнем завад множинного доступу;

- перестановки часових інтервалів послідовностей ансамблю складних сигналів для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

Розроблено практичні рекомендації щодо вибору параметрів складних сигналів, отриманих на основі кодових послідовностей з покращеними взаємкореляційними властивостями для забезпечення заданого рівня завад множинного доступу.

Результати дисертаційних досліджень були використані в науково-дослідній роботі Академії внутрішніх військ МВС України за темою: «Визначення вимог до рухомих засобів зв'язку тактичної ланки управління ВВ МВС України при виконанні завдань за призначенням» (шифр - «Поляна»), № ДР 0111 У 008896, 2012р.

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці методу синтезу ансамблів складних сигналів з великим об'ємом для систем радіозв'язку з КРК. Отримані наукові результати забезпечують вирішення поставлених у дисертації частинних задач досліджень. Усі основні наукові та практичні результати дисертації отримані особисто автором. Робота [4] опублікована без співавторів. У наукових статтях, які були опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: у роботі [1] – розроблена математична модель процесу формування кодових послідовностей коротких відеоімпульсів, що дозволяє розраховувати період проходження імпульсів в послідовностях ансамблів складних сигналів з малим рівнем взаємної кореляції; у роботі [2] – удосконалений метод формування складних сигналів на основі перестановок часових інтервалів послідовностей з низькою взаємною кореляцією; у роботі [3] – результати досліджень взаємкореляційних властивостей послідовностей з низьким рівнем внутрішньосистемних завад; у роботі [5] – статистичний аналіз кореляційних та енергетичних властивостей послідовностей з малою взаємодією у часовій області; у роботі [6] – удосконалений метод перестановки часових інтервалів в послідовностях ансамблів складних сигналів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися та були схвалені на наступних науково-технічних конференціях:

- 5-та міжнародна науково-технічна конференція «Гарантоздатні системи, сервіси та технології» 12-15 травня 2010 року: Матеріали конференції. - Харків-Полтава-Кіровоград.: НВП «Радій», 2010р.;

- 72 міжнародна науково-технічна конференція кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн 21-23 квітня 2010 року: Матеріали конференції. - Х.: УкрДАЗТ, 2010р.;

- міжнародна науково-технічна конференція в рамках 8<sup>th</sup> Summer School Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering Sozopol'10, Технічний Університет «Софія», Болгарія, 2010р.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи викладені в 7 наукових статтях, з яких 6 статей опубліковані у наукових фахових виданнях України (3 – у наукових журналах, 3 – у збірниках наукових праць), 1 стаття опублікована у закордонному збірнику наукових праць, 3 тезах доповідей та свідоцтві про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Комп'ютерна програма для формування ансамблів послідовностей складних сигналів «Корреляція»» № 43130 від 06.04.2012р.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Повний обсяг дисертації складає 147 сторінок, у тому числі 4 додатки на 27 сторінках, 30 рисунків, 7 таблиць, перелік використаних літературних джерел складається з 105 найменувань на 10 сторінках. Дисертація написана російською мовою.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми роботи, зв'язок роботи з науковими програмами, формулюється мета і задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження. Наведено перелік результатів дисертаційного дослідження, які становлять наукову новизну, зазначено практичне значення отриманих результатів, а також перелік наукових статей та конференцій, на яких було проведено апробацію результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз основних характеристик мереж радіозв'язку з кодовим розділенням каналів, а також визначено причини виникнення завад множинного доступу і можливі шляхи збільшення об'єму ансамблів кодових послідовностей в системах з кодовим розділенням каналів.

При кодовому розділенні в асинхронних адресних системах зв'язку множинного доступу мають місце взаємні завади, які є наслідком одночасної роботи абонентів у загальній смузі частот. Для забезпечення заданої завадостійкості необхідно так вибрати параметри сигналів, щоб рівень завад множинного доступу був досить малим. Тому в цей час залишається актуальною проблема побудови систем широкосмугових сигналів (ШСС). Сигнали, що входять у систему, повинні забезпечувати мінімально можливий рівень взаємних завад, який в основному визначається допустимим рівнем максимальних піків взаємокореляційних функцій

$$R_{\max} = \frac{\alpha}{\sqrt{B}}, \quad (1)$$

де  $\alpha = 1 \div 5$  і визначається методом синтезу кодової послідовності.

Для існуючих ансамблів складних сигналів характерним є рівень максимальних викидів бічних пелюсток взаємокореляційних функцій (ВКФ), обумовлений співвідношенням (1). Відомі класи складних сигналів, як правило, формуються на основі послідовностей відеоімпульсів, синтезованих за певним правилом. Наприклад, М-Послідовності, псевдовипадкові послідовності Голда, псевдовипадкові нелінійні послідовності, сигнали Баркера й інші.

У системах радіозв'язку із множинним доступом сигнали абонентів передаються в загальній смузі частот і перекриваються випадковим чином у часі. Кожний приймальний пристрій системи множинного доступу з асинхронним кодовим розділенням (МДАКР) отримує на вході суму сигналів  $\sum_{i=1}^{l_a} S_i(t)$ , один з яких може бути корисним сигналом, адресованим даному абонентові й  $(l_a - 1) = l_m$ , що заважають при  $l_a \gg 1$ ,  $l_m = l_a$ . У результаті дії сигналів, що заважають, на виході пристроїв виділення корисного сигналу виникають завади множинного доступу (ЗМД), вплив яких у значній мірі перевищує вплив власних шумів.

Допустимо, що завада множинного доступу розподіляється за нормальним законом. Тоді завадостійкість МДАК можна характеризувати відношенням сигнал/ЗМД на вході вирішального пристрою приймача:

$$h_{\text{нмд}}^2 = \frac{\sqrt{B}}{\alpha_{\text{max}} \beta_{\text{cp}} (l_a - 1)}, \quad (2)$$

де:

$$\beta_{\text{cp}} = \frac{1}{P_c (l_a - 1)} \sum_{l=1}^{l_a-1} P_{lj} - \text{середнє значення перевищення завадою сигналу};$$

$B = FT$  - база сигналів системи;

$P_c$  - потужність корисного сигналу;

$P_{lj}$  - потужність сигналу, що заважає в радімережі;

$\alpha_{\text{max}}$  - максимальне значення поправочного коефіцієнта, що характеризує взаємкореляційні властивості сигналів.

Проведений аналіз говорить про необхідність вибору шляхів зменшення завад множинного доступу з метою підвищення кількості абонентів, що обслуговуються. Застосування частотного й часового розділення сигналів обмежене частотно-часовим ресурсом при обслуговуванні великої кількості одночасно працюючих радіозасобів, а застосування антен з вузькими діаграмами спрямованості приводить до ускладнення їх конструкції й не завжди прийнятно при побудові повнодоступних мереж радіозв'язку. Зупинимо вибір на застосуванні ансамблів складних сигналів, взаємкореляційні властивості яких мінімізують рівень завад множинного доступу, і оберемо імпульсні сигнали як найбільше часто використовувані в сучасних радіоелектронних системах.

У другому розділі вдосконалено метод формування великих ансамблів кодових послідовностей з покращеними взаємкореляційними властивостями; був розроблений метод формування великих ансамблів складних сигналів на основі синхронних перестановок часових інтервалів, на які розбиваються послідовності ансамблів складних сигналів, забезпечуючи збільшення об'єму ансамблів, досліджені ансамблеві та кореляційні властивості отриманих сигналів.

Послідовність коротких відеоімпульсів представимо у вигляді формули:

$$u_i(t) = \sum_{k=1}^{n_i} U_{k_i} \Pi[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u], \quad (3)$$

де  $k=1, \dots, n_i$ , - кількість імпульсів в  $i$ -й послідовності,  $i=1, \dots, L$ ;

$\Pi[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u]$  – прямокутна функція;

$U_{ki}$  – амплітуда  $n$ -го імпульсу  $i$ -ої кодової послідовності, дорівнює  $[-1, 1]$ ;

$\tau_i$  – тривалість імпульсу;

$Q_i = T_i / \tau_i$  – шпаруватість  $i$ -ої послідовності імпульсів;

$T_i$  – період проходження імпульсів в  $i$ -й послідовності;

Функція  $\Pi[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u]$  у виразі (3), має вигляд

$$\Pi[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u] = \begin{cases} 1, & \text{при } (kQ_i - 1)\tau \leq t \leq kQ_i\tau_i; \\ 0, & \text{при } (kQ_i - 1)\tau_i > t > kQ_i\tau_i. \end{cases} \quad (4)$$

Стикова функція взаємної кореляції (ФВК) послідовностей визначається виразом:

$$R_{ij}(\tau) = \frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \int_{-T}^T u_i(t) u_j(t - \tau) dt, \quad (5)$$

де  $u_i(t)$ ,  $u_j(t)$  –  $i$ -а й  $j$ -а кодові послідовності відеоімпульсів, при цьому  $i \neq j$ ;

$E_i$  і  $E_j$  – значення енергій відповідно  $i$ -ї і  $j$ -ї послідовностей;

$T$  – інтервал, на якому визначені функції  $u_i(t)$  і  $u_j(t)$ .

Мінімальна подоба двох послідовностей, полягає в тому, що незалежно від зсуву у часі можливий збіг не більш, ніж по одному імпульсу в кожній послідовності. Для виконання цієї умови ФВК  $i$ -ї та  $j$ -ї послідовностей не повинна перевищувати значення:

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{n_i}, \quad (6)$$

де  $n_i \geq n_j$  – кількість імпульсів у послідовностях.

Якщо послідовності мають однакову тривалість, але різну кількість елементів ( $n_i \neq n_j$ ), то для визначення ФВК будемо використовувати наступний вираз

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \quad (7)$$

Для виконання умов (6), (7) пропонується використовувати послідовності відеоімпульсів, які задовольняють наступним вимогам:

- кількість коротких імпульсів ( $n_i$ ,  $n_j$ ) у послідовностях  $u_j(t)$  повинна бути неоднаковою ( $n_i > n_j$ );
- тривалості імпульсів у кожній послідовності рівні ( $\tau_{ui} = \tau_{uj}$ );
- періоди проходження імпульсів ( $T_i$ ,  $T_j$ ) у кожній послідовності підібрані таким чином, що  $n_i T_i \approx n_j T_j \approx T$ , причому шпаруватість кожної послідовності  $Q_j > Q_i > 1$ , при  $n_i > n_j$ .

На підставі вищевказаних обмежень була складена їхня система (8), до складу якої увійшли вирази (3, 5, 7) при нульовому зсуві двох сигналів у часі відносно один одного ( $R_{ij}(0)$ , тобто  $\tau=0$ ).



$$\left\{ \begin{array}{l} u_i(t) = \sum_{k=1}^{n_i} U_{k_i} \Pi[t - (k \cdot Q_i - 1) \cdot \tau_u], \\ u_j(t) = \sum_{k=1}^{n_j} U_{k_j} \Pi[t - (k \cdot Q_j - 1) \cdot \tau_u], \\ Q_i = \frac{T_i}{\tau_u}, \\ Q_j = \frac{T_j}{\tau_u}, \\ R_{ij}(0) = \frac{1}{2\sqrt{E_i E_j}} \int_{-T}^T u_i(t) u_j(t) dt, \\ R_{ij}(0) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Вирішуючи дану систему (8), визначимо періоди проходження імпульсів ( $T_i$ ,  $T_j$ ) у послідовностях. Для цього представимо прямокутну функцію  $\Pi[t - (k \cdot Q_j - 1) \cdot \tau_u]$  таким чином, щоб було можливе розв'язання системи відомими математичними методами.

Апроксимуємо прямокутну функцію за допомогою функції Хевісайда

$$\Pi\left[\frac{t}{\tau_u} - (k \cdot Q_j - 1)\right] = H\left([t - (k \cdot Q_j - 1) \cdot \tau_u] + \frac{\tau_u}{2}\right) - H\left([t - k \cdot Q_j - 1) \cdot \tau_u] - \frac{\tau_u}{2}\right), \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \Pi\left[\frac{t}{\tau_u} - \left(k \cdot \frac{n_j}{n_i} \cdot T_i - 1\right)\right] = \\ & = H\left([t - \left(k \cdot \frac{n_j}{n_i} \cdot T_i - 1\right) \cdot \tau_u] + \frac{\tau_u}{2}\right) - \\ & - H\left([t - k \cdot \frac{n_j}{n_i} \cdot T_i - 1) \cdot \tau_u] - \frac{\tau_u}{2}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

Аналітична форма апроксимації функції Хевісайда має вигляд

$$H(x) \approx \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot th(kx) = \frac{1}{1 + e^{-2kx}}. \quad (11)$$

Перетворимо прямокутну функцію, використовуючи вирази (10) і (11). Тоді її можна записати в експоненціальній формі:

$$\begin{aligned} & \Pi\left[\frac{t}{\tau_u} - \left(k \cdot \frac{n_j}{n_i} \cdot T_i - 1\right)\right] = \\ & = \frac{1}{1 + e^{-2k\left([t - \left(k \cdot \frac{n_j}{n_i} \cdot T_i - 1\right) \cdot \tau_u] + \frac{\tau_u}{2}\right)}} - \frac{1}{1 + e^{-2k\left([t - k \cdot \frac{n_j}{n_i} \cdot T_i - 1) \cdot \tau_u] - \frac{\tau_u}{2}\right)}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Підставивши отримане значення прямокутної функції у вираз, що описує послідовності коротких відеоімпульсів  $u_j$ ,  $u_i$ , розв'яжемо систему (8), причому, в  $i$ -й і  $j$ -й послідовностях максимальне значення приймаємо рівним одиниці, а мінімальне нулю,  $U_k=1$  у певний момент часу для кожної послідовності імпульсів.

У результаті інтегрування з використанням модуля символьних перетворень MathCad, було отримано результуюче співвідношення періоду проходження

коротких відеоімпульсів у послідовностях з покращеними взаємкореляційними властивостями в  $j$ -й послідовності:

$$T_j = \frac{T_i n_i}{n_j} = \frac{n_i \tau_u Q_i}{T}, \quad (13)$$

де  $T$  – тривалість послідовностей ансамблю;

$n_i$  – кількість елементів у послідовності  $i=1 \dots L, (n_i \neq n_j, i \neq j)$ ;

Таким чином, була розроблена математична модель для формування ансамблів кодових послідовностей з малою енергетичною взаємодією, що дозволяє синтезувати послідовності коротких відеоімпульсів, використовуючи вираз (13).

Сучасний стан і перспективи розвитку систем множинного доступу вимагають підвищення пропускної здатності мереж. Цього можна досягти шляхом збільшення об'єму ансамблів сигналів, що використовуються для передачі інформації. Інтерес викликає синтез ансамблів сигналів за рахунок синхронної перестановки часових інтервалів, у послідовностях коротких відеоімпульсів з низькою взаємною кореляцією. Відомо, що для послідовностей із приблизно однаковою тривалістю, але з різною кількістю елементів ( $n_i \neq n_j$ ), для визначення ФВК може бути використаний вираз:

$$R_{ij}(\tau) \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}. \quad (14)$$

Для виконання умови (14) пропонується використовувати послідовності відеоімпульсів, які задовольняють вимогам, сформульованим раніше. На основі таких послідовностей, шляхом розбиття їх часу проходження на  $a$  рівних часових відрізків і наступної перестановки всіх цих інтервалів між собою, було синтезовано ансамблі послідовностей коротких відеоімпульсів також з низьким рівнем взаємної кореляції. Пропонується здійснити ще одне розбиття довжини нових послідовностей на  $b$  рівних часових інтервали, причому  $a \neq b$  і здійснити перестановку цих часових ділянок способом, що описаний вище.

Алгоритм синтезу переставних ансамблів послідовностей коротких відеоімпульсів з нарощуванням об'єму послідовностей коротких відеоімпульсів з малою взаємодією включає виконання наступних операцій:

1) визначаються вихідні дані для формування ансамблю послідовностей коротких відеоімпульсів з малою взаємодією;

2) при виконанні умови (1), отримані послідовності використовують для формування систем сигналів з мінімальною енергетичною взаємодією;

3) для нарощування кількості ансамблів сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями прийняті послідовності розбиваються на  $a$  рівних часових відрізки;

4) отримані ділянки переставляються синхронно у всіх послідовностях ансамблю, формуючи при цьому новий ансамбль;

5) виконують розрахунки попарних ВКФ для всього переставного ансамблю утворених послідовностей;

6) здійснюють перевірку ВКФ переставного ансамблю сформованих послідовностей на виконання умови мінімальної подоби (14);

7) якщо умова мінімальної подоби не виконується, то з ансамблю виключається послідовність, взаємодія з якою дає найбільшу кількість порушень умови мінімальної подоби з іншими послідовностями ансамблю, після чого виконуються пункти 5 і 6, поки не виконається дана умова;

8) послідовності нового прийнятого ансамблю розбивають на  $b$  рівні часові ділянки;

9) отримані ділянки переставляються синхронно у всіх послідовностях ансамблю, формуючи при цьому новий ансамбль;

10) виконують розрахунки попарних ВКФ для всього переставного ансамблю утворених послідовностей;

11) здійснюють перевірку ВКФ переставного ансамблю сформованих послідовностей на виконання умови мінімальної подоби (14).

Якщо умова мінімальної подоби не виконується, то з ансамблю виключається послідовність, взаємодія з якою дає найбільшу кількість порушень умови мінімальної подоби з іншими послідовностями ансамблю, після чого виконуються пункти 10 і 11, поки не буде виконана умова (14).

Працездатність запропонованого методу перевірена на прикладі, у якому використовувались чотири послідовності  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ ,  $s_4(t)$  з кількістю елементів  $n_1=17$ ,  $n_2=19$ ,  $n_3=23$ ,  $n_4=29$ , довжинами сигналів  $T \approx 460$  мкс, довжинами імпульсів  $\tau_i=10$  нс. Періоди проходження імпульсів у кожній послідовності були обрані відповідно:  $T_1=27.1$  мкс,  $T_2=24.2$  мкс,  $T_3=21.9$  мкс і  $T_4=20$  мкс.

Розбиваючи їх на рівні часові ділянки (наприклад п'ять) для першого разу й синхронно їх переставляючи на осі часу, отримуємо послідовності  $s'_1(t)$ ,  $s'_2(t)$ ,  $s'_3(t)$ ,  $s'_4(t)$ . Потім розбиваємо нові послідовності аналогічним способом на 4 рівні часові відрізки, здійснюємо нову перестановку. У такий спосіб отримуємо новий ансамбль послідовностей  $s''_1(t)$ ,  $s''_2(t)$ ,  $s''_3(t)$ ,  $s''_4(t)$ .

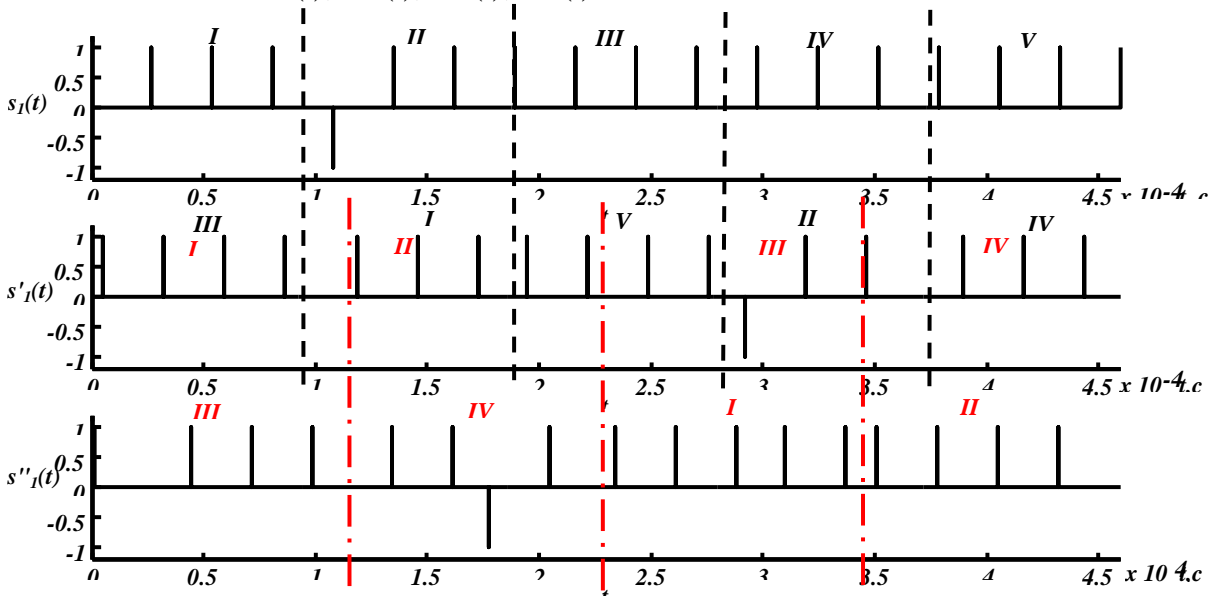


Рис. 1. Вид послідовностей  $s_1(t)$ ,  $s'_1(t)$ ,  $s''_1(t)$

Отримані послідовності забезпечують виконання умови мінімальної подоби (14).

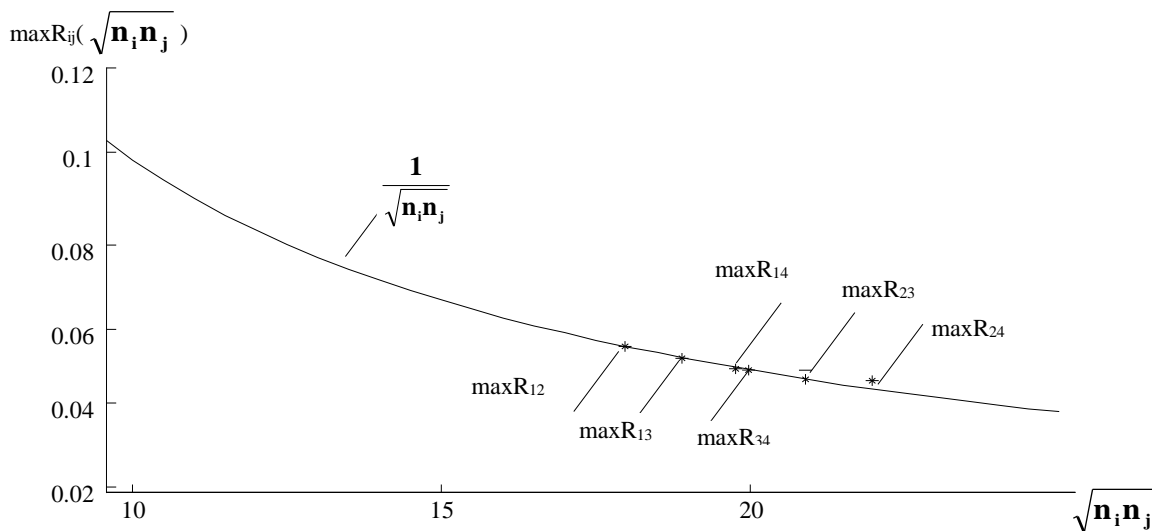


Рис. 2. Зміна коефіцієнта взаємної кореляції послідовностей залежно від кількості елементів при двох розбиттях

На рис. 2 зіставляються результати розрахунків максимумів ВКФ для синтезованих послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, що відповідають умові мінімальної подоби, зі значеннями максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції взаємодіючих сигналів переставного ансамблю –  $\max R_{12}$ ,  $\max R_{13}$ ,  $\max R_{14}$ ,  $\max R_{23}$ ,  $\max R_{24}$ ,  $\max R_{34}$ .

**Третій розділ** присвячено розробці методу перестановок часових інтервалів для формування послідовностей коротких відеоімпульсів.

При формуванні сигналів шляхом перестановок часових інтервалів, на які поділені послідовності з малою взаємодією, з'явилася необхідність розробки методу перестановки часових інтервалів, що забезпечує низький рівень завад множинного доступу при збільшеному об'ємі ансамблю сигналів.

Було розроблено алгоритм, який реалізує метод перестановки й складається з наступних операцій:

1. Визначаються вихідні дані: кількість послідовностей; кількість часових інтервалів, на які розбиваються всі послідовності одночасно.

2. У кожній послідовності проведемо попарний розрахунок значення максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції, усереднимо розраховані значення для кожного часового інтервалу, і потім створимо ряд, у якому отримані значення будуть ранжирувані по зростанню значення максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції ( від меншого до більшого (максимального) значення).

3. Обираються два часові інтервали, у яких значення максимальних викидів бічних пелюсток ФВК має найменше значення. Ці послідовності й займуть дві перші позиції A1 і A2. Для того, щоб визначити номер наступного часового інтервалу, визначимо з рейтингового ряду значень максимальних викидів бічних пелюсток ФВК наступне найменше значення МВБП ФВК із інтервалом, який займає позицію A2. Якщо найменше значення МВБП ФВК визначається з інтервалом, який уже зайняв A-Позицію, то береться наступне по зростанню значення МВБП ФВК і відповідно вибирається сусідній елемент для даної позиції.

4. Така вибірка здійснюється до останнього часового інтервалу, що залишився.

Таку ж перестановку можна здійснити помінявши вихідні позиції A1 і A2 місцями, і потім провести аналогічну процедуру розміщення часових інтервалів послідовностей вищезазначеним шляхом.

Згідно із запропонованим алгоритмом було побудовано ансамбль, що складається з 50-ти сигналів ( $st1(t), \dots, st50(t)$ ) з кількістю елементів 100-149 імпульсів відповідно. Тривалість інтервалу розбиття становить від 1% до 50% від загальної тривалості послідовностей з низькою взаємодією в часовій області. Для оцінки статистичних характеристик кореляційних і енергетичних властивостей складних сигналів, отриманих шляхом перестановок часових інтервалів послідовностей коротких імпульсів з малою взаємодією в часовій області, скористаємося методикою оцінки статистичних характеристик сигналів, яка розроблена на основі методики розрахунків статистичних характеристик випадкових величин: математичного очікування (МО) максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ сигналів  $m_{\max R}(\Delta t)$  і МО пік-фактора кожного сигналу  $m_{\Pi}(\Delta t)$  з ансамблю при зміні значень тривалості часових інтервалів перестановки послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємодією в часовій області; середніх квадратичних відхилень (СКВ) максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції  $\sigma_{\max R}(\Delta T)$  сигналів відносно їхніх математичних очікувань; асиметрії розподілу максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції  $S_{\max R}(\Delta t)$  сигналів залежно від тривалості інтервалу розбиття; ексцесу розподілу максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції  $E_{\max R}(\Delta t)$  сигналів залежно від тривалості інтервалу розбиття послідовностей. Результати розрахунків статистичних характеристик значень максимальних викидів ВКФ сигналів наведені в табл. 1, залежно від тривалості часових інтервалів розбиття  $\Delta t$ .

Таблиця 1

Результати розрахунків статистичних характеристик значень максимальних викидів ВКФ сигналів на основі перестановок часових інтервалів

|                             | $\Delta t, \%$ |         |         |         |         |            |
|-----------------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|------------|
|                             | 1              | 2       | 4       | 10      | 25      | 50         |
| $m_{\max R}(\Delta t)$      | 0.0248         | 0.0244  | 0.024   | 0.022   | 0.02    | 0.012      |
| $\sigma_{\max R}(\Delta t)$ | 0.00045        | 0.00030 | 0.00025 | 0.00021 | 0.00019 | 0.00000138 |
| $S_{\max R}(\Delta t)$      | 0.802          | 0.582   | 0.365   | 0.383   | 0.493   | 0.7246     |
| $E_{\max R}(\Delta t)$      | 2.754          | 2.045   | 1.109   | 1.193   | 1.357   | 1.6695     |

Розрахунки показали, що при заданих обмеженнях оптимальною тривалістю інтервалу перестановок буде тривалість, не менш ніж 5 % від загальної довжини послідовностей.

Визначимо як  $k$ , кількість послідовностей у вихідному ансамблі з низьким рівнем взаємної кореляції, на основі якого формуються інші дочірні ансамблі,  $p$  - кількість інтервалів, на які розбиваються послідовності. Тоді, кількість ансамблів, які можна сформувати за рахунок перестановок часових інтервалів, буде визначатися факторіалом кількості інтервалів, а саме  $(p!-1)$ . Таким чином, у найпростішому випадку кількість інтервалів розбиття буде: на першому кроці алгоритму  $a=2$ , на

другому кроці -  $b=3$ , на третьому -  $c=4$ , на четвертому -  $d=5$  і так далі.

Тому, можна зробити припущення, що сумарна кількість утворених послідовностей першого етапу з кожного наступного ансамблю буде визначатися виразом:

$$V = k + k(a!-1) + k(a!-1)(b!-1) + k(a!-1)(b!-1)(c!-1) + k(a!-1)(b!-1)(c!-1)(d!-1) + k \prod_{1}^p (p!-1), \quad (15)$$

де  $a, b, c, d$  – кількість часових інтервалів розбиття послідовностей;  
 $p$  - максимальна кількість інтервалів розбиття.

Була побудована математична модель ансамблів, утворених за рахунок перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем максимальних викидів бічних пелюсток ФВК.

На рис.3 показано, що об'єм ансамблю переставних сигналів на основі послідовностей з низькою взаємодією в часовій області задовольняє вимозі до великого ансамблю й значною мірою перевищує значення об'єму ансамблю нелінійних послідовностей при інших рівних умовах. Крім того, враховуючи, що утворюючими послідовностями для отримання таких сигналів є нелінійні послідовності з досить великими об'ємами ансамблів, можна стверджувати, що об'єм ансамблю сигналів, отриманих на основі перестановок часових інтервалів послідовностей з малою взаємодією в часовій області, буде перевищувати об'єм ансамблю нелінійних послідовностей у  $p$  раз.

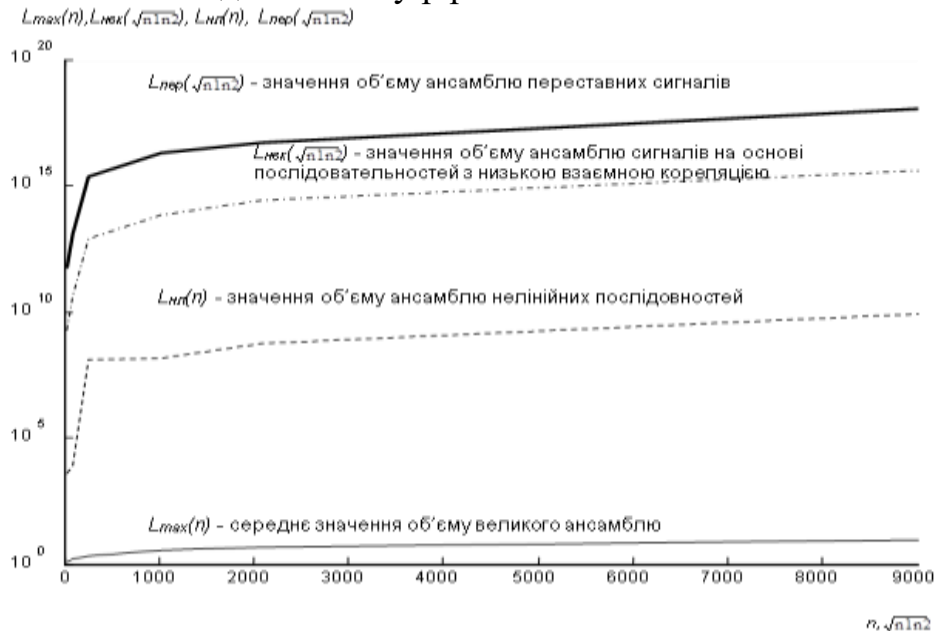


Рис.3. Об'єм ансамблю сигналів при зміні кількості імпульсів у послідовностях

Сигнали, що входять в ансамблі, отримані шляхом перестановок часових інтервалів кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємодією в часовій області мають трохи гірші взаємкореляційні властивостями, ніж сигнали, отримані за методом, запропонованим у [4], однак, їхній об'єм значно перевищує

необхідне значення об'єму великої системи. При цьому об'єм ансамблю можна збільшити пропорційно кількості використовуваних інтервалів кодових послідовностей з низькою взаємодією в часовій області.

У четвертому розділі розроблено практичні рекомендації з вибору параметрів переставних сигналів на основі кодових послідовностей з низькою взаємодією в часовій області, виконана порівняльна характеристика вземокореляційних властивостей сигналів на основі використання переставних ансамблів, виконана порівняльна оцінка об'ємів відомих ансамблів з розробленим.

Для практичної реалізації алгоритму формування ансамблів складних сигналів, утворених на основі перестановок часових інтервалів кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з низьким рівнем завад множинного доступу, необхідно розробити метод оптимального вибору наступних параметрів кодових послідовностей: кількості імпульсів у послідовностях, кількості інтервалів розбиття вихідних послідовностей з низьким рівнем взаємної кореляції. Вибору параметрів сигналів відповідає наступний алгоритм:

1. Визначають кількість часових інтервалів при заданих значеннях максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ залежно від кількості елементів у взаємодіючих послідовностях з урахуванням впливу періоду проходження імпульсів на кількість інтервалів розбиття.

2. Визначають оптимальні значення кількості інтервалів розбиття ансамблів і елементів у послідовностях при відомій кількості імпульсів у послідовностях.

3. Визначають порядок перестановок часових інтервалів послідовностей, з урахуванням кількості елементів при необхідних значеннях максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ.

4. Параметри сигналів, що визначені при розрахунках, приймаються для формування ансамблів сигналів з покращеними вземокореляційними властивостями.

Як приклад були розглянуто 50 послідовностей, сформованих згідно з розробленим алгоритмом. Для визначення оптимальної кількості часових інтервалів розбиття побудована залежність значень максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції  $\max R(\sqrt{n_i n_j}, \Delta t)$  від кількості елементів у взаємодіючих послідовностях  $(\sqrt{n_i n_j})$  та від кількості часових інтервалів  $(\Delta t)$  - (рис.4). З рис.4 видно, що для задоволення вимоги до граничного значення  $\max R_{\text{пор}}(\sqrt{n_i n_j}, \Delta t) = 0.02$ , оптимальна кількість часових інтервалів повинна бути  $\Delta t \geq 20\%$ , при заданих значеннях  $\sqrt{n_i n_j}$ .

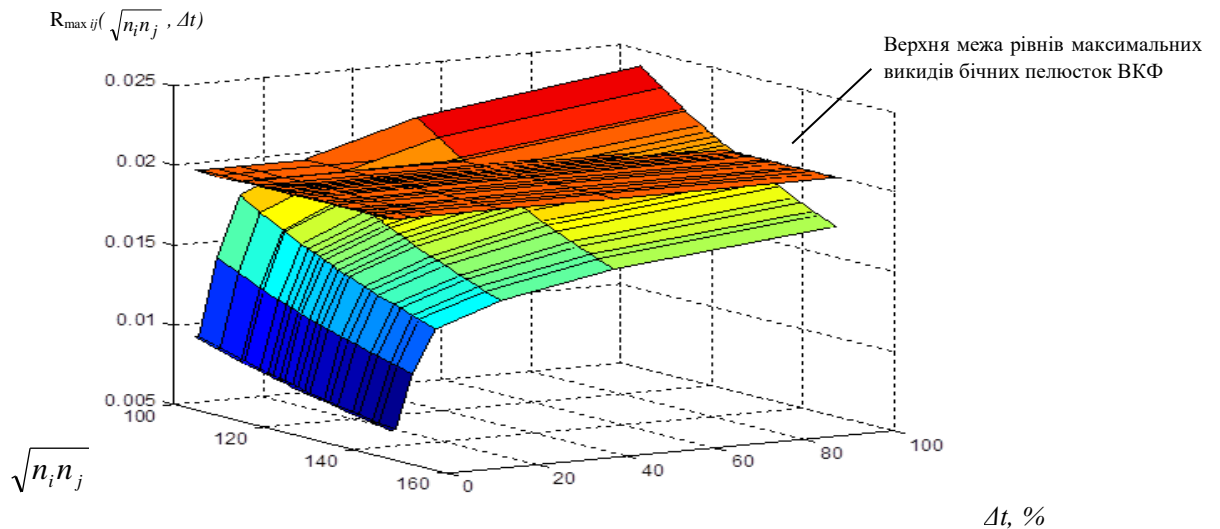


Рис. 4. Визначення оптимальної кількості часових інтервалів послідовностей з малою взаємодією в часовій області

Таким чином, розроблена методика формування переставних послідовностей з метою збільшення об'єму ансамблів складних сигналів дозволяє визначати кількість інтервалів розбиття, при яких значення рівнів максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції не буде перевищувати необхідного значення.

Результати аналізу взаємкореляційних властивостей, представлені на рис 5, показують що розроблені переставні послідовності коротких відеоімпульсів з низьким рівнем завад множинного доступу мають не гірші взаємкореляційні властивості при рівному об'ємі ансамблю – рівень максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції переставних послідовностей близько в  $\sqrt{N}$  менше ніж у відомих сигналів.

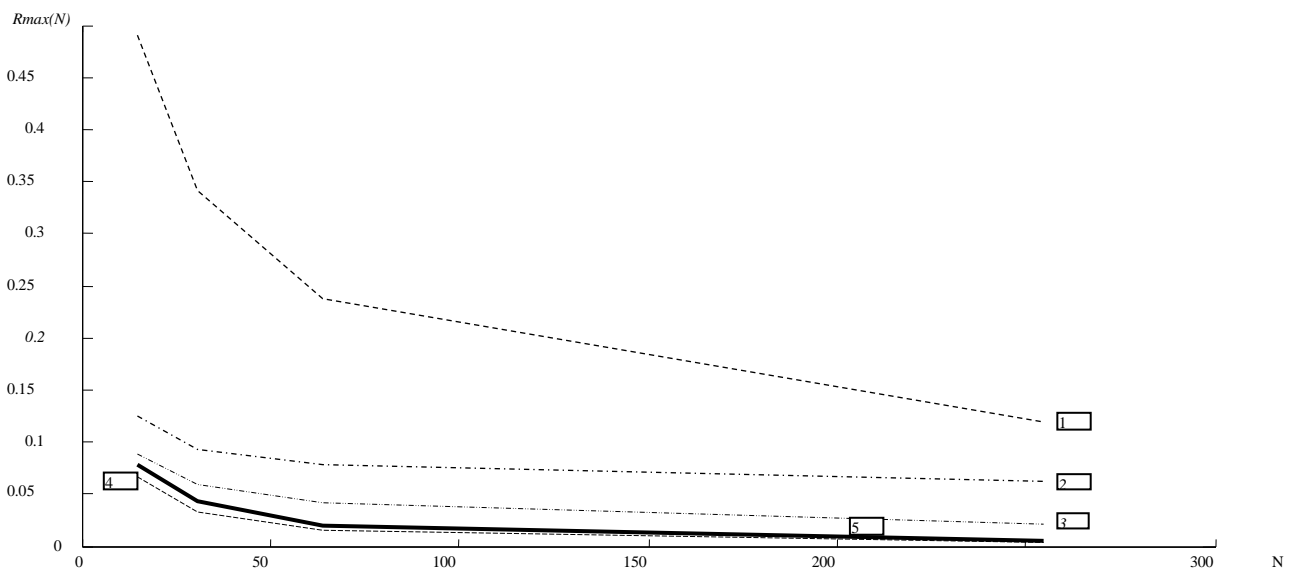


Рис. 5. Зміна максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції різних сигналів (1 -  $R_{\max}$  М-Послідовностей; 2 -  $R_{\max}$  нелінійних послідовностей; 3 -  $R_{\max}$  багатозафазних сигналів; 4 -  $R_{\max}$  послідовностей з малою взаємодією в часовій області; 5 -  $R_{\max}$  послідовностей на основі перестановок часових інтервалів послідовностей з низьким рівнем ЗМД)



Рівень максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції сигналів, отриманих на основі перестановок часових інтервалів послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємодією в часовій області на 20-25% менше аналогічних показників інших сигналів, крім вихідних сигналів.

У табл.2 наведені результати розрахунків об'єму ансамблю сигналів на основі нелінійних послідовностей.

Таблиця 2

Об'єм ансамблю нелінійних послідовностей і переставних послідовностей на їхній основі

| <i>N</i>               | <b>40</b>             | <b>100</b>            | <b>256</b>            | <b>1032</b>           | <b>2088</b>          | <b>9000</b>           |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| <i>L<sub>нл</sub></i>  | $3.8 \times 10^3$     | $8 \times 10^3$       | $1.3 \times 10^8$     | $1.5 \times 10^8$     | $5.4 \times 10^8$    | $8 \times 10^9$       |
| <i>L<sub>нво</sub></i> | $1.9 \times 10^9$     | $4.0 \times 10^{10}$  | $7.5 \times 10^{12}$  | $6.5 \times 10^{13}$  | $2.7 \times 10^{14}$ | $4.0 \times 10^{15}$  |
| <i>L<sub>нпр</sub></i> | $5.47 \times 10^{11}$ | $1.15 \times 10^{13}$ | $2.16 \times 10^{15}$ | $1.87 \times 10^{16}$ | $4.9 \times 10^{16}$ | $1.15 \times 10^{18}$ |

З табл.3 видно, що об'єм ансамблю сигналів на основі послідовностей з низькою взаємодією в часовій області задовольняє вимозі до великого ансамблю й значною мірою перевищує значення об'єму ансамблю нелінійних послідовностей при інших рівних умовах.

У **додатках** представлено результати моделювання й програмна реалізація алгоритмів формування великих ансамблів складних сигналів на основі синхронних перестановок часових інтервалів, які реалізовані в системі математичного моделювання MATLAB 6.5, акт реалізації в НДР «Поляна» та свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма для формування ансамблей последовательностей сложных сигналов», («Корреляция») № 43130, Державна служба інтелектуальної власності України, 06.04.2012р.

## ВИСНОВКИ

Сукупність отриманих у дисертаційній роботі результатів вирішує актуальну науково-прикладну задачу, що полягає в розробці методу синтезу ансамблів складних сигналів з великим об'ємом для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів, який забезпечує підвищення ефективності телекомунікаційних мереж. На основі проведених досліджень і результатів вирішення частинних задач отримані нові наукові та практичні результати, які є істотним внеском у подальший розвиток теорії й практики підвищення ефективності телекомунікаційних систем в умовах множинного доступу.

Результати досліджень, представлені у роботі, дозволяють зробити наступні загальні висновки.

1. Проведений аналіз методів формування ансамблів складних сигналів для систем радіозв'язку з кодовим розділенням каналів показав, що відомі методи не забезпечують зниження рівня завад множинного доступу до прийнятного значення при випадковому часовому зсуві і мають обмежену кількість кодових адрес, які присвоюються активним абонентам мережі. При цьому оцінка впливу завад множинного доступу на роботу мережі радіозв'язку з кодовим розділенням каналів показала, що основним фактором,

який впливає на їх рівень є взаємкореляційні властивості сигналів однієї системи, погіршення яких призводить до зменшення кількості обслуговуваних абонентів.

2. У ході виконання дисертаційної роботи отримані наступні наукові результати:

- вперше розроблено математичну модель процесу формування кодових послідовностей коротких відеоімпульсів, що дозволяє визначити період проходження імпульсів в послідовностях ансамблів складних сигналів з урахуванням кількості та тривалості відеоімпульсів, представлених за допомогою апроксимації функції Хевісайда. Це дозволяє синтезувати ансамблі складних сигналів з малим рівнем взаємної кореляції, що підвищує ефективність телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів;

- отримав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів, за рахунок збільшення об'єму ансамблю послідовностей при незмінному рівні завад множинного доступу, який відрізняється від відомих введенням процедури перестановки часових інтервалів в кодових послідовностях, що дозволяє підвищити ефективність телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів;

- удосконалено метод перестановок часових інтервалів послідовностей ансамблю складних сигналів за рахунок врахування їх взаємкореляційних властивостей шляхом перестановки часових інтервалів послідовностей коротких відеоімпульсів, що дозволяє підвищити ефективність телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів.

3. При вирішенні частинних задач дисертації отримані наступні практичні результати:

- розроблені алгоритми формування переставних ансамблів складних сигналів на основі кодових послідовностей з низьким рівнем взаємної кореляції, що дозволяють, у порівнянні з відомими алгоритмами формування, збільшити в 15-20 разів об'єм ансамблів при незначному збільшенні завад множинного доступу;

- розроблена програмна реалізація алгоритмів формування переставних ансамблів кодових послідовностей з низькою взаємодією в часовій області;

- розроблені практичні рекомендації з вибору параметрів складних сигналів, отриманих на основі кодових послідовностей з покращеними взаємкореляційними властивостями для синтезу великих ансамблів складних сигналів із обмеженим рівнем завад множинного доступу.

4. Дослідження властивостей переставних ансамблів складних сигналів показали, що рівень максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції сигналів, отриманих на основі перестановок часових інтервалів послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємодією в часовій області на 20-25% менші за аналогічні показники інших сигналів.

5. Достовірність отриманих результатів підтверджується збіжністю теоретичних й експериментальних досліджень, які були отримані шляхом математичного моделювання з використанням середовища MATLAB для розробки методу синтезу ансамблів складних сигналів з великим об'ємом.

6. Наукові й практичні результати, отримані в дисертаційній роботі, доцільно використовувати:

- при проведенні науково-дослідних робіт з розробки методів і засобів підвищення ефективності телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів;

- при модернізації існуючих систем, а також при створенні перспективних інтелектуальних радіомереж з кодовим розділенням каналів;
- при проведенні конструкторських робіт зі створення нових програмних, апаратних і програмно-апаратних засобів і виробів, спрямованих на підвищення ефективності телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Степаненко Ю.Г. Метод визначення періоду проходження коротких відеоімпульсів в кодових послідовностях на основі апроксимації функції Хевісайда [Текст] / Ю.Г. Степаненко, В.П. Лисечко, С.І. Приходько // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС –2009. – Вип. 4(20). – С. 170-173.
2. Степаненко Ю.Г. Метод наращивання об'єма ансамбля послідовностей коротких відеоімпульсов с низким уровнем взаимной корреляции [Текст] / Ю.Г. Степаненко, В.П.Лысечко, Г.Н.Качуровский // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х.: УкрДАЗТ – 2010. – Вип. 116. – С. 100-106.
3. Степаненко Ю.Г. Метод боротьби із внутрішньосистемними завадами в системах зв'язку з кодовим розділенням каналів [Текст] / Ю.Г. Степаненко, В.П.Лисечко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал – Х.: «ХАІ»–2010. – Вип. 5(46). – С. 277-281.
4. Степаненко Ю.Г. Метод формування ансамблів складних сигналів шляхом перестановки часових інтервалів [Текст] / Ю.Г. Степаненко // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління –2010. – Вип. 4 (16). – С.183-186.
5. Степаненко Ю.Г. Кореляційні та енергетичні властивості ансамблів складних сигналів [Текст] / Ю.Г. Степаненко, В.П. Лисечко, К.А. Трубчанінова // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління –2009. – Вип. 2 (10). – С.166-169.
6. Степаненко Ю.Г. Метод перестановки часових інтервалів шляхом поетапного перебору [Текст] / Ю.Г. Степаненко, Жученко С.С., Чигрин Д.С.// Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал – Х.: ХУПС –2012. – Вип. 3(31). – С. 235-238.
7. Stepanenko Yuliya Metod of determination of short videoimpulses passing period in code sequences on the basis of Heaviside step function approximation [Текст] / Yuliya Stepanenko, Volodymyr Lysechko // Summer School Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering Sozopol'10, TU Sofia, Bulgaria.
8. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма для формування ансамблей послідовностей складних сигналів», («Корреляция») № 43130, Державна служба інтелектуальної власності України, 06.04.2012р.

## АНОТАЦІЯ

**Степаненко Ю.Г.** Метод синтезу ансамблів складних сигналів для телекомунікаційних систем з кодовим розділенням каналів. – **Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2013.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу синтезу ансамблів складних сигналів з великим об'ємом з метою підвищення ефективності телекомунікаційних мереж з кодовим розділенням каналів.

В дисертаційній роботі розроблена математична модель процесу формування кодових послідовностей коротких відеоімпульсів, що дозволяє розраховувати період проходження імпульсів в послідовностях ансамблів складних сигналів з малим рівнем взаємної кореляції. В роботі отримав подальший розвиток метод формування ансамблів складних сигналів, що дозволяє значно збільшити об'єм ансамблів за рахунок перестановки рівних часових інтервалів, на які розбиті послідовності коротких відеоімпульсів з низькою взаємною кореляцією. Механізм формування кодових послідовностей визначає удосконалений метод перестановок часових інтервалів, який враховує їх взаємкореляційні властивості.

**Ключові слова:** кодові послідовності, складні сигнали, завада множинного доступу, максимальні викиди бічних пелюсток функції взаємної кореляції, період проходження, об'єм ансамблю.

## АННОТАЦИЯ

**Степаненко Ю.Г.** Метод синтеза ансамблей сложных сигналов для телекоммуникационных систем с кодовым разделением каналов. – **Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена разработке метода синтеза ансамблей сложных сигналов с большим объемом с целью повышения эффективности телекоммуникационных сетей с кодовым разделением каналов.

Известны различные методы формирования сложных фазоманипулируемых сигналов с удовлетворительными взаимными корреляционными свойствами, которые основаны на использовании линейных и нелинейных рекуррентных последовательностей. Но объем ансамблей таких сигналов ограничен количеством образующих последовательностей. Разработка новых методов синтеза ансамблей сложных сигналов для систем радиосвязи с кодовым разделением каналов, позволяющих увеличить их объем при низком уровне помех множественного доступа, является актуальной задачей.

Для формирования кодовых последовательностей коротких видеоимпульсов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами была разработана математическая модель, с помощью которой можно рассчитать периоды следования коротких видеоимпульсов в последовательностях ансамбля сложных сигналов. На ее основе был разработан алгоритм формирования ансамблей кодовых последовательностей, позволяющий синтезировать последовательности коротких видеоимпульсов.

Вызывает интерес синтез ансамблей сложных сигналов за счет перестановки равных временных интервалов, на которые разбиты последовательности коротких видеоимпульсов с низкой взаимной корреляцией. Был разработан алгоритм синтеза перестановочных ансамблей последовательностей коротких видеоимпульсов, позволяющий значительно увеличить объемы ансамблей.

Механизм формирования кодовых последовательностей определяется порядком перестановок временных интервалов, на которые разбиты последовательности. В работе усовершенствован метод перестановки временных интервалов путем поэтапного перебора с учетом взаимокорреляционных свойств интервалов.

Для определения оптимального значения максимальных выбросов боковых лепестков функций взаимной корреляции сигналов, полученных путем перестановки временных интервалов последовательностей с низким уровнем взаимного подобия, были рассчитаны статистические характеристики взаимокорреляционных свойств разработанных сигналов. Учитывая тот факт, что значение уровней максимальных выбросов боковых лепестков функций взаимной корреляции сигналов зависит от количества интервалов разбиения и их длительности, оптимальная длительность интервала перестановок составит не менее 20 % от общей длины последовательностей при значении максимальных выбросов боковых лепестков ФВК, равном 0,02.

Разработаны практические рекомендации по выбору параметров сложных сигналов. Результаты показали, что перестановочные последовательности обладают лучшими взаимокорреляционными свойствами, чем существующие сложные сигналы, применяемые в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов, при одинаковом объеме ансамбля. Сравнивая ансамблевые свойства перестановочных и других сложных сигналов, можно сказать о том, что перестановочные ансамбли обладают значительно большим объемом. Это позволяет строить системы радиосвязи с кодовым разделением каналов большой абонентской емкости при низком уровне помех множественного доступа.

**Ключевые слова:** кодовые последовательности, сложные сигналы, помеха множественного доступа, максимальные выбросы боковых лепестков функции взаимной корреляции, период следования, объем ансамбля.

## ABSTRACT

**Stepanenko Y.G. The synthesis method of wideband signals ensembles for telecommunication systems with code division multiple access. - The manuscript.**

Dissertation for the scientific degree of candidate of the technical sciences on the specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks. Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2013.

The thesis is devoted to the development of the wideband signals ensembles with high volume synthesis method in order to increase the efficiency of telecommunication networks with code division multiple access.

In the dissertation it was developed mathematical model of the short code sequences of pulses formation that can calculate the period in the sequences of wideband signals ensembles with low cross-correlation. It was improved the method of wideband signals forming ensembles, which can significantly increase the volume of ensembles due to rearrangement of equal time intervals in short pulses sequences with low cross – correlation. The mechanism of code sequences forming is represented by the improved method of time intervals rearrangement that takes into account their cross-correlation properties.

**Keywords:** code sequences, wideband signals, multiple access noise, maximum value of cross-correlation function emission, the period, the volume of the ensemble.

СТЕПАНЕНКО ЮЛІЯ ГЕННАДІЇВНА

УДК 621.391

**МЕТОД СИНТЕЗУ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ  
ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

зав. лаб. В.М. Головка

---

Підписано до друку «11» квітня 2013р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Папір офсетний  
Умовн.-друк. арк. 0,9. Тираж 100. Замовлення № \_\_\_\_\_

---

Видавництво УкрДАЗТ.  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 2874 від 12.06.2007 р.  
61050, м.Харків, пл. Фейєрбаха, 7  
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м.Харків, пл. Фейєрбаха, 7