

DOI: 10.18372/2310-5461.53.16506

УДК 621.395.721.5

*О. Г. Плющ*, д-р техн. наук, доц.  
Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка  
orcid.org/0000-0001-5310-0660  
e-mail: oplusch@yahoo.com;

*А. С. Савченко*, д-р техн. наук, доц.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0001-8205-8852  
e-mail: a.s.savchenko@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АДАПТИВНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ПРИ БАГАТОПРОМЕНЕВОМУ РОЗПОВСЮДЖЕННІ

### Вступ

Адаптивні антенні решітки (ААР) широко використовуються для поліпшення характеристик застосувань у різних галузях радіотехніки та телекомунікацій [1; 2]. Телекомунікаційні мережі загалом і мобільні зокрема отримають суттєве поліпшення від технології. Серед усіх добре відомих критеріїв функціонування ААР в телекомунікаціях найважливішим є критерій середньоквадратичної помилки (СКП) [3]. Багато простих і тим не менш ефективних алгоритмів роботи ААР у телекомунікаційних мережах згідно з критерієм СКП було синтезовано для забезпечення збігу до оптимального рішення. Ретельне вивчення цього критерію та відповідних алгоритмів показало, що ці алгоритми потребують наявності опорного сигналу для їх практичного застосування [3; 4]. Під час розробки і вивчення цих систем та алгоритмів, припускається, що корисний сигнал є відомим, і це знання дозволяє створити опорний сигнал, який є точною копією корисного сигналу. Деякі автори припускають, що це припущення є неможливим повністю задовольнити на практиці, виходячи з того, що комунікаційний сигнал передає деяку корисну (і, таким чином, невідому) інформацію [3]. Ця проблема може бути вирішена або шляхом приблизного представлення корисного сигналу [1; 3] або синтезом алгоритму, який не потребує формування цього опорного сигналу взагалі [4]. Ці два підходи мають свої переваги та недоліки і можуть бути застосовані в різних ситуаціях розгортання ААР.

Для вирішення зазначеної проблеми з опорним сигналом, в цій статті пропонується поєднати технологію ААР в телекомунікаційних мережах з технологією сигналів з прямим розширенням спектру для отримання

інструменту формування потрібного опорного сигналу любого різновиду. Ця синергія є особливо корисною в багатопрореневому середовищі, у якому проблема опорного сигналу є найбільш вираженою. Необхідно нагадати, що широкосмугові сигнали з прямим розширенням спектру за допомогою псевдовипадкових кодових послідовностей (ПКП) мають багато інших переваг при застосуванні в телекомунікаціях не пов'язаних з ААР.

Таким чином, ця стаття присвячена вивченню використання сигналів з прямим розширенням спектру, які можуть бути корисними для поліпшення характеристик функціонування ААР в телекомунікаційних мережах в умовах значного багатопрореневого розповсюдження шляхом сприяння процесу створення опорних сигналів.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Існує певна кількість джерел присвячених дослідженню ААР [1; 2; 3]. Це пов'язано з тим, що ці антенні технології спроможні суттєво поліпшувати характеристики різних застосувань від телекомунікаційних мережах до радіолокації. У праці [1] вважається фундаментальною в галузі адаптивних решіток. В ній широко представлені основні типи таких антен, окреслені їх характеристики в різних режимах. Хоча у праці [1] і розглядається алгоритм СКП, у роботі не приділена увага застосування сигналів з прямим розширенням спектру для формування опорного сигналу. У праці [2] детально викладено підходи до опису стаціонарних та перехідних режимів в ААР і також розглянуто алгоритм СКП налаштування ААР. Але, на жаль, в цій роботі не приділено уваги розробці алгоритмів налаштування, що не потребують наявності опорного сигналу. Джерело [3] довгий час являло собою одну з важливих книжок в

галузі ААР та витримало одне оновлене перевидання. У цій статті ретельно описані різні критерії та алгоритми роботи антенних решіток і їх застосування для різноманітних галузей техніки. Хоча у праці [3] розглядається проблема формування опорного сигналу для ААР з критерієм СКП, на жаль, вона не досліджує можливості застосування широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру для формування опорного сигналу в такій решітці. Також у ній не деталізовано використання ААР в багатопроблемному середовищі.

У джерелі [4] розроблено оригінальний градієнтний алгоритм налаштування для критерію СКП, що не потребує присутності опорного сигналу. Водночас, у цій роботі не запропоновано застосування широкосмугових сигналів для вирішення проблеми отримання опорних сигналів в умовах багатопроблемного розповсюдження.

У працях [5; 7] змістовно відображено застосування широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру для побудови мереж мобільного зв'язку 3-го покоління (CDMA). В них розглядаються різні псевдовипадкові послідовності для розширення спектру та їх застосування. Тим не менш, в цих роботах не приділено уваги застосуванню цих широкосмугових сигналів разом з технологіями ААР.

Праця [6] розглядає модифікований алгоритм СКП для ААР з адаптацією до значних змін заводських сигналів. Але при цьому, в цій праці підходи до використання широкосмугових сигналів для формування опорних сигналів не окреслено. Джерело [8] розглядає, поміж іншого, використання широкосмугових сигналів для керування безпілотними літальними апаратами для підвищення заводо захищеності зв'язку, але при цьому застосування таких сигналів для ААР не розглянуто. Праця [9] залишається фундаментальною працею щодо отримання та використання ПКП для розширення спектру сигналу. В ній також детально окреслені підходи до побудови систем CDMA на основі таких сигналів. Недоліком цієї роботи залишається те, що в ній також не розглядається застосування широкосмугових сигналів в системах з ААР і формування за їх допомогою опорних сигналів.

Загалом, аналіз літературних джерел надає можливість припустити, що проблемі використання сигналів з прямим розширенням спектру для покращення характеристик функціонування ААР в телекомунікаційних

мережах в умовах значного багатопроблемного розповсюдження не приділено належної уваги.

### **Постановка завдання**

Адаптивні антенні решітки широко використовуються в телекомунікаціях. Одним з найбільш розповсюджених критеріїв їх застосування в цьому напрямку є критерій СКП, який потребує формування опорного сигналу. З аналізу літературних джерел є цілком слушним зробити висновок, що питання застосування широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру в ААР, особливо в багатопроблемному середовищі, не приділено достатньої уваги. Як результат, виникає потреба вивчити можливість застосування широкосмугових сигналів в ААР для формування опорного сигналу при реалізації критерію СКП при наявності багатопроблемності розповсюдження.

Ця стаття присвячена вирішенню цього нагального завдання.

### **Мета статті**

*Метою роботи є дослідження використання широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру для формування опорного сигналу в ААР при реалізації критерію СКП при наявності багатопроблемного розповсюдження та перевірка можливості практичної реалізації запропонованих рішень шляхом комп'ютерного моделювання.*

Для досягнення поставленої мети розв'язуються такі наукові задачі:

- синтез широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру на основі псевдовипадкових кодових послідовностей;
- перевірка можливості застосування синтезованих послідовностей для виокремлення сигналів окремих складових багатопроблемного розповсюдження сигналів з використанням цих послідовностей в якості опорного сигналу в ААР що функціонує за критерієм СКП;
- розробка пропозицій щодо практичної реалізації запропонованих рішень.

### **Виклад основного матеріалу**

*Градієнтний алгоритм що оптимізує критерій СКП*

Функціональна схема вузько-смугової ААР з відомим корисним сигналом що реалізує критерій СКО показана на рис. 1 [3], де  $x_i(t)$  — позначає прийнятий сигнал в  $i$  елементі решітки,  $w_i$  — ваговий коефіцієнт в  $i$  елементі,  $d(t)$  — опорний сигнал що є копією корисного сигналу,  $\varepsilon(t)$  — сигнал помилки.

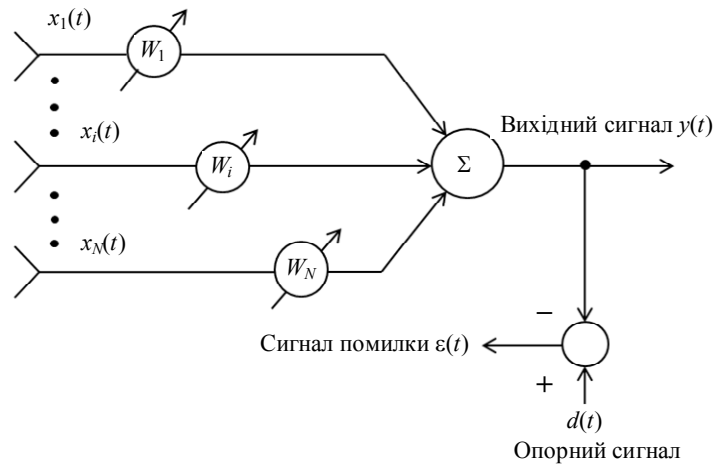


Рис. 1. Структурна схема вузько-смугової антенної решітки за відомого корисного сигналу

Для антенної решітки на рис. 1. математичне очікування квадрата помилки визначається формулою [3]:

$$E\{\varepsilon^2(t)\} = S - 2\mathbf{w}^T \mathbf{r}_{\text{xd}} + \mathbf{w}^T \mathbf{R}_{\text{xx}} \mathbf{w} \quad (1)$$

де  $\mathbf{r}_{\text{xd}}$  — вектор кореляції прийнятих сигналів решітки  $x_i(t)$  та опорного сигналу  $d(t)$ ;  $\mathbf{R}_{\text{xx}}$  — кореляційна матриця прийнятих сигналів;  $S$  — потужність корисного сигналу.

Відомо [2], що задача налаштування антенної решітки на рис. 1 полягає в мінімізації (1) за рахунок вибору вагового вектору  $\mathbf{w}$ , при цьому мінімум (1) досягається коли градієнт середньоквадратичної помилки дорівнює нулю.

Із літературних джерел є добре відомою рекурентна формула що здатна мінімізувати (1) і тим самим виконати налаштування антенної решітки:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + 2\Delta_s \varepsilon(k) \mathbf{x}^*(k) \quad (2)$$

де  $*$  означає комплексне спряження;  $\Delta_s$  — константа, що визначає крок налаштування (2).

Рівняння (2) є добре відомим як алгоритм адаптації найшвидшого спуску і цей підхід має певну кількість переваг завдяки яким формула (2) широко застосовується для налаштування ААР в телекомунікаціях. Однак, як було підкреслено вище, цей алгоритм вимагає наявності опорного сигналу, що є певним недоліком та звужує можливості його застосування [4]. Ці проблеми, пов'язані з опорним сигналом, стають більш вираженими в ситуаціях коли антенна решітка застосовується в середовищі розповсюдження з багатьма променями між передавачем та приймачем. Це пов'язано з тим, що компоненти багатопроменевого розповсюдження хоча і подібні одна до одної, але вони мають різні затримки що постійно змінюються.

З іншого боку є добре відомим що широкосмугові системи з прямим розширенням спектру, що базуються на псевдовипадкових кодових послідовностях отриманих з примітивних поліномів, можуть вимірювати затримки багатопроменевого розповсюдження за допомогою RAKE приймача. Ця властивість сигналів з прямим розширенням спектру виглядає перспективною для використання в області ААР і заслуговує на подальші дослідження.

*Вибір сигналу з прямим розширенням спектру для дослідження в ААР*

Як зазначалося вище, припускається що характеристики ААР можуть бути суттєво покращені з використанням широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру (DSS). Дійсно, є добре відомим, що широкосмугові сигнали отримані з ПКП що базуються на примітивних поліномах певного ступеню мають унікальні і добре досліджені автокореляційні властивості [5; 7; 9]. Наприклад, невеликого зсуву в часі є достатнім, щоб розділити дві або три копії однієї і тієї самої послідовності одна від одної в RAKE приймачі. Ця властивість виглядає дуже багатообіцяючою для виділення багатопроменевих компонент одного і того самого сигналу в складному середовищі розповсюдження. Однак, для досягнення цього ефекту, потрібно мати опорні сигнали з відповідними затримками для ААР, що показана на рис. 1. Отримання опорних сигналів може бути реалізовано за рахунок використання саме RAKE приймача, як складової частини CDMA систем, для обчислення цих затримок з великою точністю.

Невирішеним питанням залишається те, як у випадку обчислення всіх затримок за допомогою Rake приймача у часовій області з

використанням унікальних автокореляційних властивостей ПКП, ці властивості продемонструють свої можливості при просторовому розділенні сигналів різних променів.

Для дослідження цього питання візьмемо типову ПКП, що широко використовується в CDMA системах для розширення спектру. Така послідовність тривалістю 32768 чіпів може бути сформована за допомогою наступного примітивного поліному 15 ступеня:

$$F(x) = 1 + x^2 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{15}. \quad (3)$$

Процедура отримання зазначеної послідовності добро висвітлена в роботі [9]. При подальших дослідженнях вважається що вхідними для ААР є сигнали сформовані за рахунок модуляції несучої ПКП, що отримана згідно з виразом (3), і які надходять під різними кутами і з різними потужностями на розкрив антени.

*Комп'ютерне моделювання ААР з сигналами з прямим розширенням спектру*

Дослідження властивостей сигналів з прямим розширенням спектру за допомогою ПКП здійснюється шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання. Комп'ютерне моделювання виконується для ААР з 9 елементів, що розташовані на одній лінії горизонтально з між-

елементними відстанями півтривалості хвилі. Припускається, що є три багатопробієві компоненти одного і того самого сигналу з різними затримками, кутами падіння та потужностями і зазначені затримки визначені з точністю до одного чіпа RAKE приймачем, і за рахунок цього сформовані відповідні опорні сигнали для кожної з компонент.

Перша компонента, або промінь, є компонента прямого бачення, що, відповідно, має кут падіння 0 градусів і відносну потужність 100 одиниць.

Другий промінь потрапляє на ААР під кутом  $45^\circ$  з відносною потужністю 150 одиниць. Третя, і остання, компонента, що розглядається, має кут падіння  $-60^\circ$  та відносну потужність 200 одиниць. Всі потужності компонент вимірюються відносно власного шуму каналів ААР, що дорівнює 1 одиницю.

Рис. 2, 3 та рис. 4 ілюструють діаграму направленості в кінці процесу адаптації для, відповідно, першої (прямого бачення), другої (с затримкою на 4 чіпи) і третьої (с затримкою на 7 чіпів) багатопробієвих компонент прийнятого сигналу для умов імітаційного комп'ютерного моделювання зазначених вище.

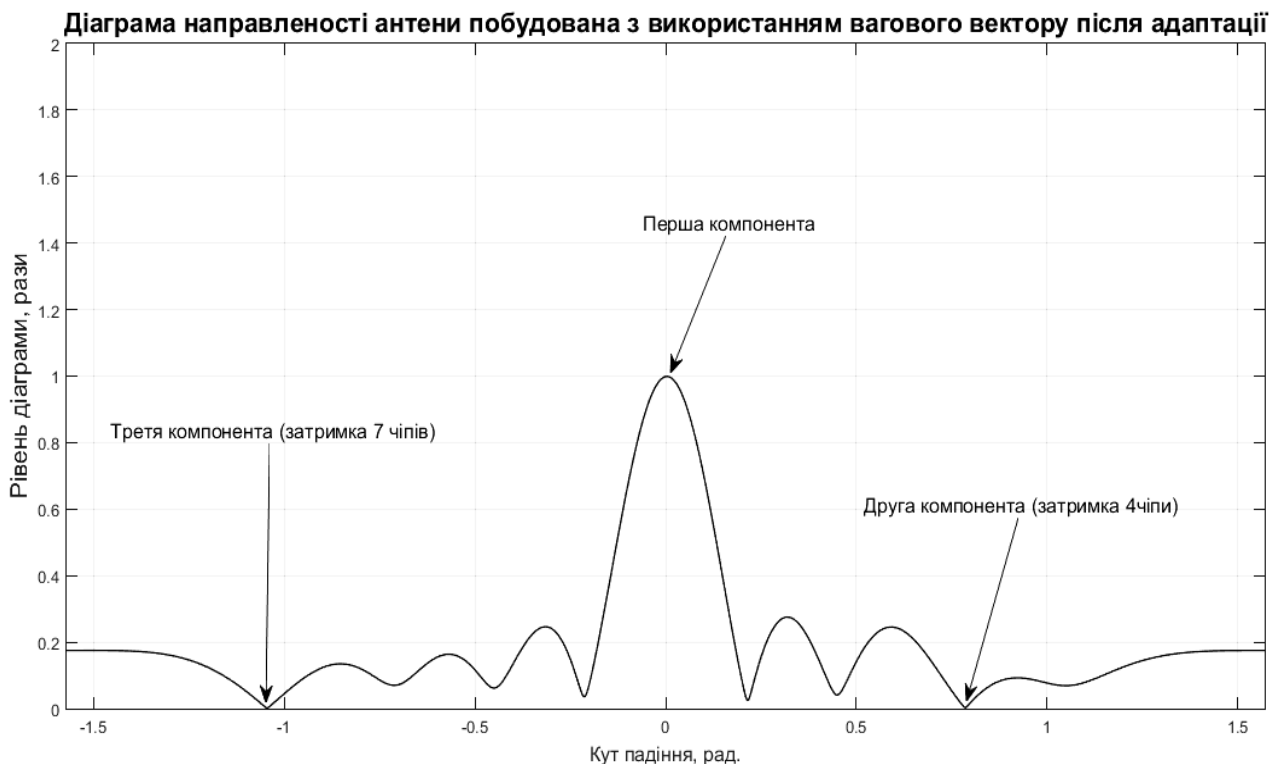


Рис. 2. Діаграма направленості в кінці процесу адаптації для першої багатопробієвої компоненти (прямого бачення)

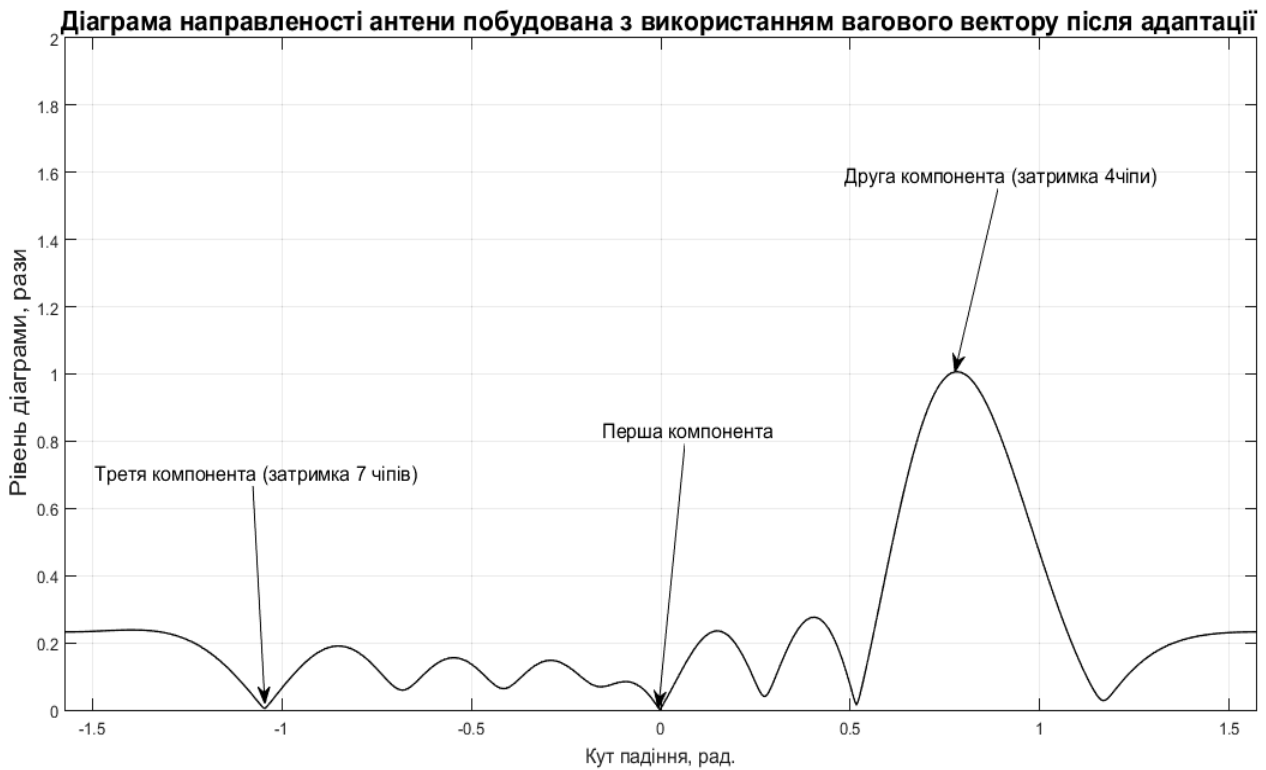


Рис. 3. Діаграма направленості в кінці процесу адаптації для другої багатопроменевої компоненти

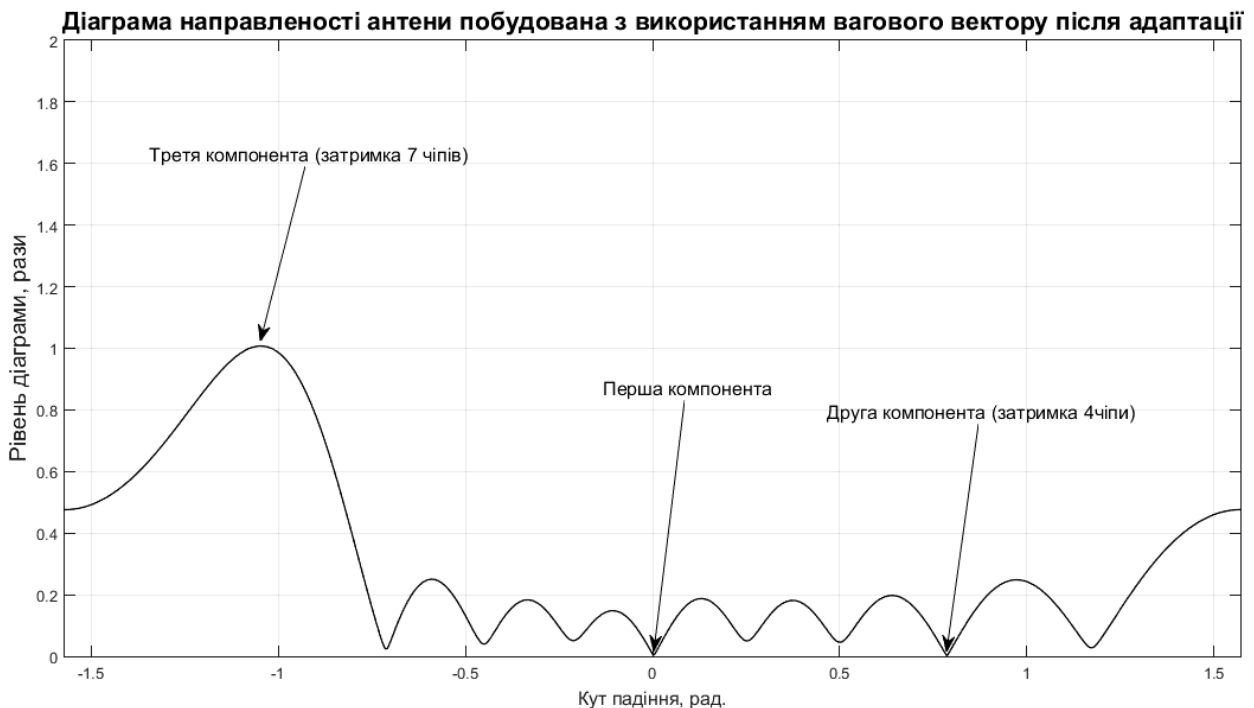


Рис. 4. Діаграма направленості в кінці процесу адаптації для третьої багатопроменевої компоненти

Аналіз даних наведених на рис. 2, 3 та 4 дозволяє прийти висновку, що якщо опорний сигнал в ААР (див. рис. ) є відомим або винайденим RAKE приймачем, особливо що стосується його відповідних затримок, кожна компонента може бути виділена з суміші. Є підстави вважати, що ця важлива якість виникає завдяки унікальним автокореляційним властивостям ПКП отриманих з примітивних

поліномів, одним з яких є вираз (3). Додатково потрібно зауважити, що ААР наведена на рис. 1 формує у кожному випадку максимуми діаграми направленості на відповідну багатопроменеву компоненту та нулі у напрямку всіх інших компонент, як впливає з рис. 2, 3 та 4.

Важливим є також дослідити характеристики перехідного процесу в ААР для наведених випадків,

так само як і ті що отримуються в стаціонарному режимі (по закінченню налаштування). Рис. 5, 6 та 7 демонструють залежність вихідного SNR від кількості ітерацій під час налаштування для всіх трьох багатопробових компонент що надходять на ААР.

На цих рис. 5, 6 та 7, одна компонента вважається як корисний сигнал, в той час як інші дві розглядаються як завади.

Детальний аналіз даних наведених на рис. 5, 6 та 7 встановлює, що перехідні процеси є дуже добрими (час збігання до оптимального значення вагового вектору не перевищує 100 ітерацій) і характеристики в стаціонарному режимі (після закінчення налаштування) є близькими до оптимального SNR, що визначається середовищем розповсюдження та конфігурацією ААР.

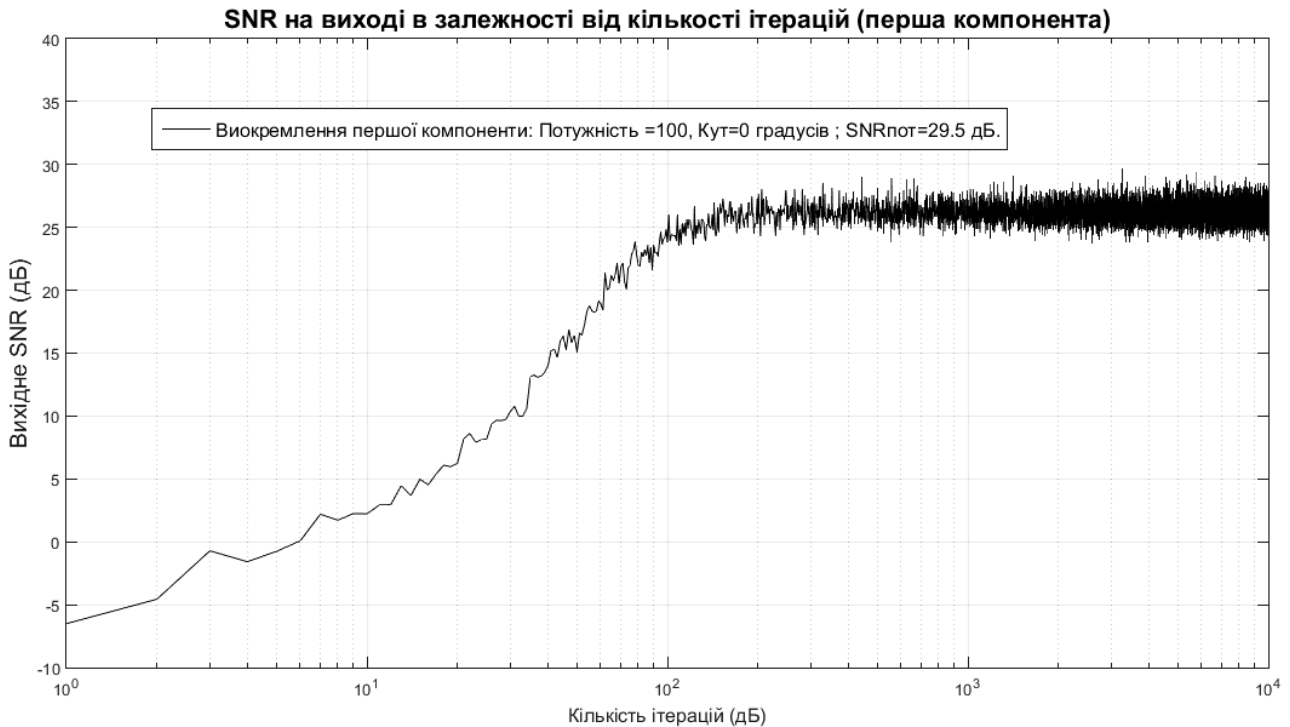


Рис. 5. Залежність вихідного SNR від кількості ітерацій для першої багатопробової компоненти

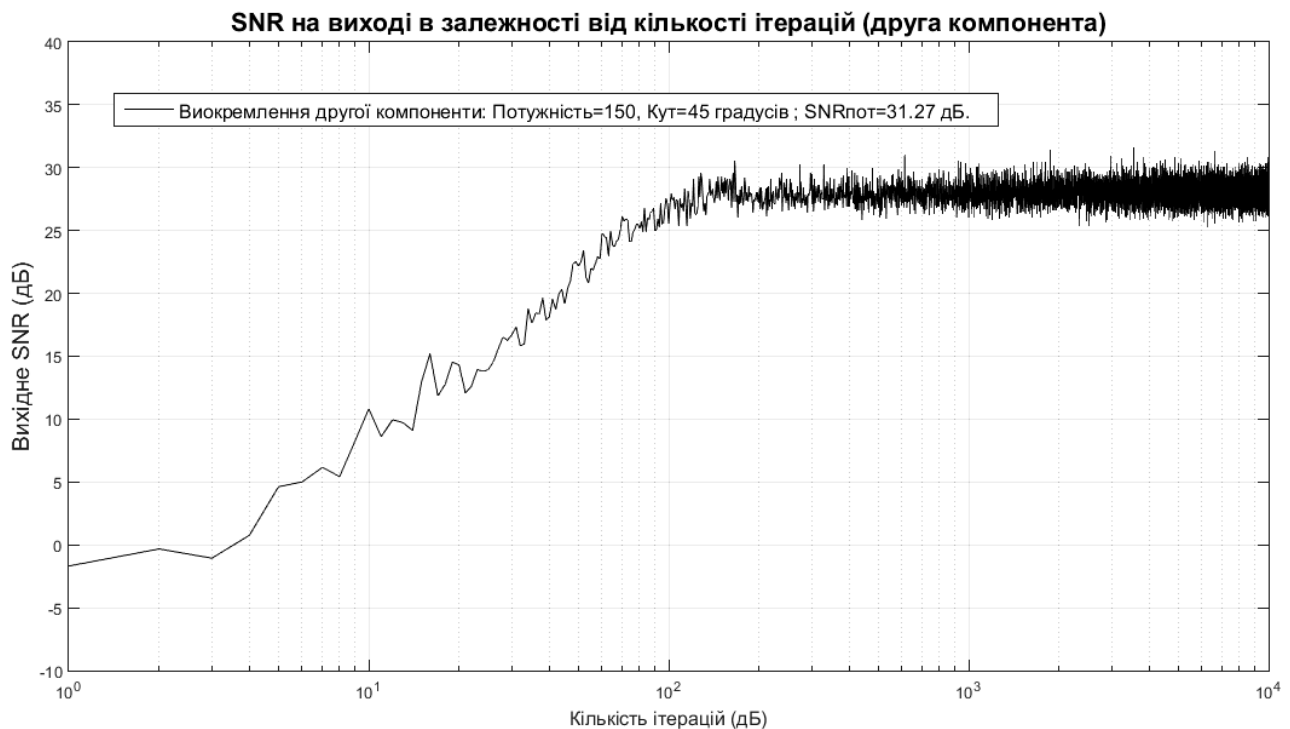


Рис. 6. Залежність вихідного SNR від кількості ітерацій для другої багатопробової компоненти



Рис. 7. Залежність вихідного SNR від кількості ітерацій для третьої багатопроменевої компоненти

Деякі інші важливі характеристики також заслуговують на уважне вивчення. Однією з них є мінімальна затримка однієї компоненти багатопроменевого розповсюдження відносно компоненти прямого бачення, для якої критична властивість відділяти одну компоненту від іншої зберігається. Виходячи з автокореляційних властивостей ПКП тривалістю 32768 чіпів можливо припустити, що навіть затримки на один чіп буде достатньо для досягнення цього ефекту, але це припущення потребує верифікації шляхом проведення комп'ютерного експерименту. Рис. 8 ілюструє гіпотетичний випадок в якому всі три багатопроменеві компоненти мають той самий час затримки, або, іншими словами, надходять до ААР одночасно.

Цікаво зазначити, що задіяна ААР формує три максимуми для кожної з цих компонент і сумарний рівень максимумів дорівнює одиниці. Цей факт має логічне пояснення.

Це спостереження просто підтверджує наочне розуміння, що ААР формує копію опорного сигналу з усіх трьох компонент з максимальним відношенням корисний сигнал/внутрішній шум; частка кожної компоненти в результуючому сигналі визначається потужністю (або SNR в каналі, якщо потужності власних шумів є однаковими) з якою вона надходить до ААР.

Рис. 9 ілюструє ситуацію, на відміну від тієї на рис. 8, в якій тільки друга багатопроменева компонента має затримку, що складає 1 чіп.

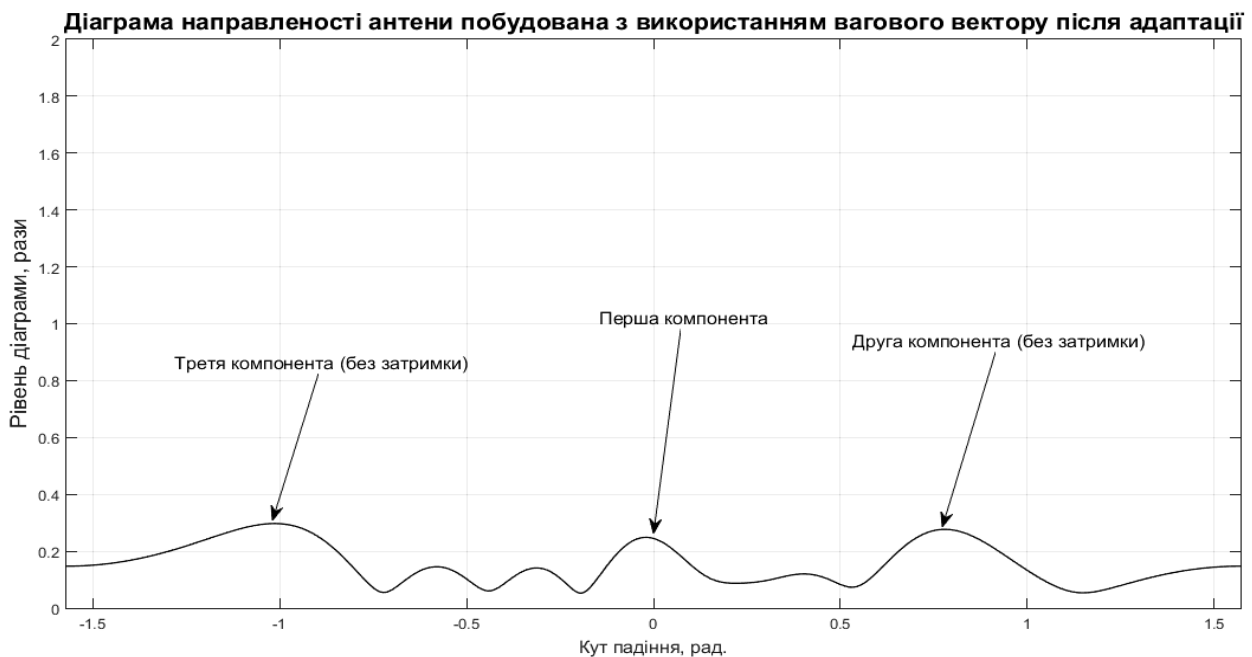


Рис. 8. Діаграма направленості в кінці процесу адаптації у випадку коли всі багатопроменеві компоненти надходять до ААР одночасно

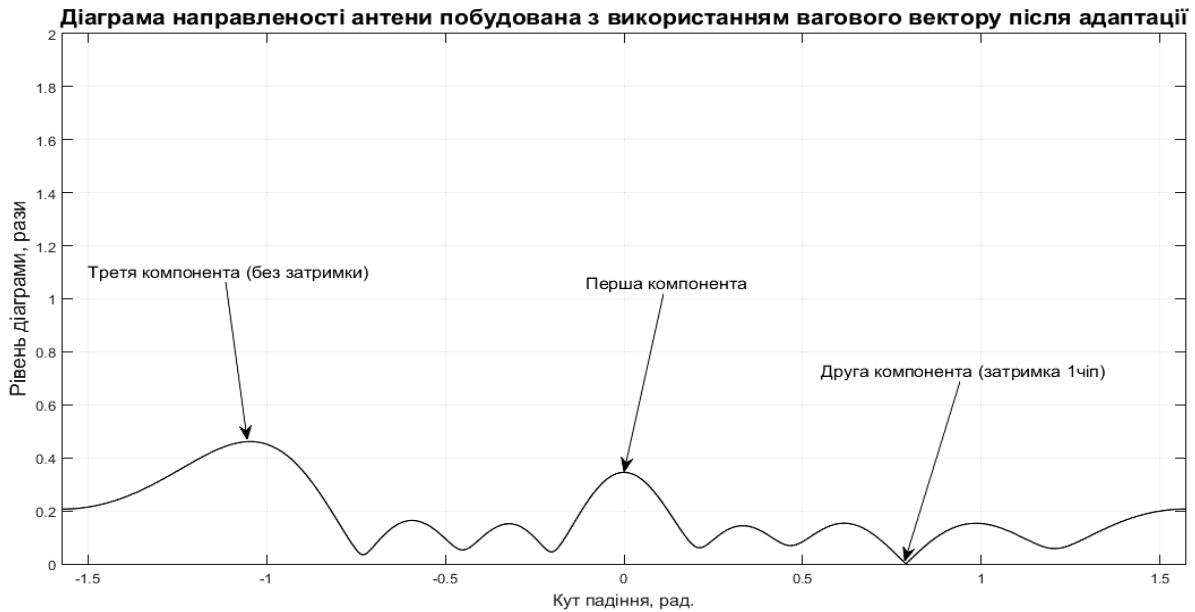


Рис. 9. Діаграма направленості в кінці процесу адаптації у випадку коли тільки друга багатопробенева компонента має затримку, що складає один чіп

Аналіз наведених вище рисунків однозначно доводить, що навіть зсуву в часі на один чіп, як впливає з рис.9, є повністю достатнім для ААР щоб почати розглядати цю компоненту як заваду і почати формувати провали в діаграмі направленості у напрямку її приходу. Вочевидь, ця якість пояснюється автокореляційними властивостями ПКП, що отримані з примітивних поліномів і описані раніше.

Рис. 10 ілюструє ситуацію в якій друга багатопробенева компонента має затримку в один чіп відносно компоненти прямого бачення, в той час як третя компонента розташована ще на один чіп позаду другої.

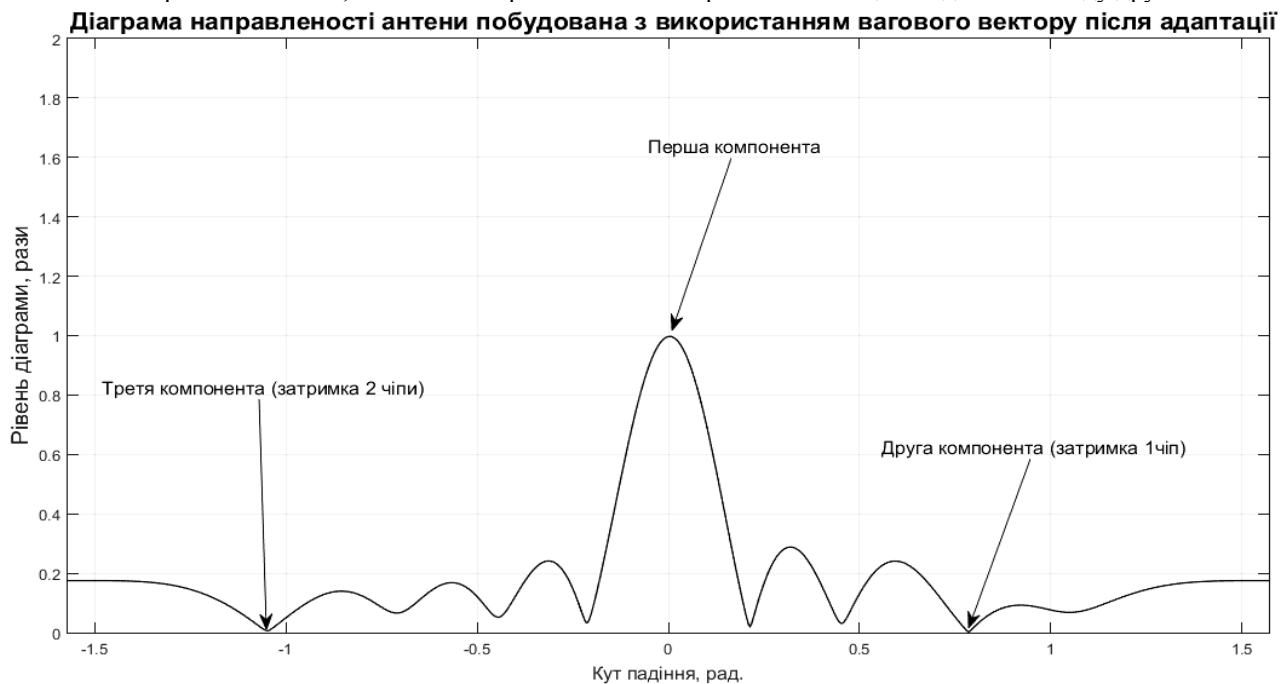


Рис. 10. Діаграма направленості в кінці процесу адаптації у випадку коли друга компонента має затримку в один чіп і третя компонента має затримку в два чіпи

Отже, за тих самих причин, а саме добрих автокореляційних властивостей послідовностей, ААР формує ідеальні нулі в діаграмі спрямованості для другої та третьої компонент. Загалом, результати досліджень ясно демонструють, що ААР може виокремлювати багатопробеневі компоненти з високим SNR навіть в ситуації яка характеризується часовим зсувом між компонентами в один чіп.

Звичайно, виділені багатопробеневі компоненти можуть потім бути поєднані з компенсацією їх індивідуальних затримок та урахування SNR.

#### Висновки

Телекомунікаційні та мобільні мережі можуть отримати суттєвий вигравш від сумісного використання ААР та сигналів з DSS що генеруються з ПКП отриманих з примітивних поліномів. Таке



використання технологій дозволяє виокремити багатопроменеві компоненти прийнятого сигналу для їх подальшого вагового поєднання з компенсацією затримок.

Результати досліджень доводять, що відмінні автокореляційні властивості псевдовипадкової кодової послідовності тривалістю 32768 чіпів отриманої з примітивного поліному 15 ступеня дозволяють виокремити багатопроменеві компоненти з затримкою навіть на один чіп. У цьому випадку, число виділених багатопроменевих компонент обмежується тільки обчислювальною потужністю системи і може сприяти реалізації концепції прийому яка відома як повне MIMO (total MIMO).

У цій статті розглянуті сигнали, що не передають корисну інформацію, до яких можуть належать пілотні канали мобільних мереж. Тому, напрямком подальших досліджень повинно бути вивчення впливу модуляції несучої корисним сигналом на функціонування ААР в описаних умовах.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Robert J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook, 3rd ed. Boston: Artech House, 2018.
- [2] John Volakis, Antenna Engineering Handbook, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [3] Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. 2nd ed. NC: SciTech Publishing, 2011.
- [4] Pliushch O. Gradient Signal Processing Algorithm for Adaptive Antenna Arrays Obviating Reference Signal Presence. *IEEE International Scientific-Practical Conference PIC S&T* (October 8–11, 2019, Kyiv, Ukraine), 2019, Paper 190. doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061536 (eng).
- [5] Andreas Springer, Robert Weigel. UMTS: The Physical Layer of the Universal Mobile Telecommunications System. USA: Springer Science & Business Media, 2013. 298 p.
- [6] Pliushch O., Vyshnivskiy V., Toliupa S., Rybydajlo A. Utilization of Clipper Circuits to Improve Efficiency of the Gradient Signal Processing Algorithm for Adaptive Antenna Arrays. *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory – IEEE ATIT 2019*. (December 18–20, 2019, Kyiv, Ukraine). Paper 71. doi.org/10.1109/ATIT49449.2019.9030529 (eng).
- [7] Byeong G. Lee, Seok C. Kim. Scrambling Techniques for Digital Transmission. USA: Springer Science & Business Media, 2012. 448 p.
- [8] Edited by Kamesh Namuduri, Serge Chaumette, Jae H. Kim, James P. G. Sterbenz. UAV Networks and Communications. UK: Cambridge University Press, 2017. 242 p.
- [9] Lee Jhong S., Miller Leonard E. CDMA systems engineering handbook. Boston, London: Artech House, 1998. 1228 p.

Плющ О. Г., Савченко А. С.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АДАПТИВНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ПРИ БАГАТОПРОМЕНЕВОМУ РОЗПОВСЮДЖЕННІ

Стаття присвячена дослідженню використання широкосмугових сигналів з прямим розширенням спектру для формування опорного сигналу в адаптивних антенних решітках що працюють за критерієм середньоквадратичної помилки. Показано, що при реалізації критерію середньоквадратичної помилки в антенних решітках в телекомунікаціях виникає проблема формування опорного сигналу, особливо в умовах багатопроменевого розповсюдження. Запропоновано використовувати для отримання опорного сигналу широкосмугові сигнали з прямим розширенням спектру за допомогою псевдовипадкових кодових послідовностей. Зазначено, що такі послідовності можуть бути отримані з примітивних поліномів певного порядку. Запропонована процедура передбачає використання схеми RAKE для визначення затримок багатопроменевих компонент для отримання опорного сигналу для кожної з цих компонент. Методами імітаційного комп'ютерного моделювання підтверджено, що в разі визначення затримок багатопроменевих компонент і, відповідно, формування опорних сигналів для кожної компоненти, адаптивна антенна решітка здібна ефективно виділяти багатопроменеві компоненти з високим SNR, навіть якщо зсув компонент одна від одної складає один чіп кодової послідовності. Підтверджено, що ця властивість пов'язана з унікальними автокореляційними властивостями псевдовипадкових послідовностей отриманих з примітивних поліномів певного порядку.

Пропонується в подальшому виділені за допомогою адаптивних антенних решіток багатопроменеві компоненти піддавати ваговому додаванню з компенсацією відносних затримок з урахуванням SNR окремих компонент. Підкреслено, що запропонований підхід дозволяє ефективно реалізувати технологію відому як повне MIMO. Пропонується подальші дослідження зосередити на вивченні впливу модуляції сигналу, що передається, на функціонування адаптивних антенних решіток при реалізації запропонованих рішень.

**Ключові слова:** адаптивна антенна решітка; широкосмугові сигнали; псевдовипадкові кодові послідовності, примітивні поліноми, імітаційне комп'ютерне моделювання.

**Pliushch O., Savchenko A.**

**RESEARCH OF WIDEBAND SIGNALS USE FOR ADAPTIVE ANTENNA ARRAY PERFORMANCE IMPROVEMENT IN MULTIPATH PROPAGATION**

*The paper deals with research into use of wideband signals with direct spectrum spreading for reference signal formation in adaptive antenna arrays that work according to the mean squared error criterion. It is shown that in implementing the mean squared error criterion for adaptive antenna arrays in telecommunications, a problem arises of reference signal formation, especially in multipath propagation conditions. It is proposed to use for reference signal formation wideband signals with direct spectrum spreading with help of pseudo-noise coding sequences. It is stressed, that such sequences can be derived from a certain order primitive polynomials. Proposed procedure envisions use of RAKE scheme for establishing multipath propagation components delays to generate the reference signal for each of these components. With use of computer simulation methods, it is confirmed that if delays of multipath components are determined and, respectively, reference signals for each component are formed, adaptive antenna array is capable effectively extract multipath components with high SNR, even if shift of components one from the others is only one chip of the coding sequence. It is confirmed that this quality is related to the unique autocorrelative properties of pseudo-noise sequences derived from the primitive polynomials of a certain order. It is further proposed to subject the multipath components, separated due to adaptive antenna array performance, to a weighted addition with compensation of relative delays and with account of the separate components SNR. It is stressed that proposed approach permits effectively implement the technology known as total MIMO. Further research is suggested to be concentrated on studying modulation impact of the transmitted signal on functioning of adaptive antenna arrays that implement proposed solutions.*

**Keywords:** adaptive antenna array; wideband signals; pseudo-noise coding sequences, primitive polynomials, computer simulation.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2022 р.

Прийнято до друку 13.04.2022 р.