

О. П. Гребенюк, М. А. Роговець, О. О. Гребенюк

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ОБРОБКИ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ Й ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ КОМПЛЕКСІВ РАДІОМОНІТОРИНГУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ

У статті досліджено питання щодо покращення рівня завадозахищеності в системах зв'язку і передачі даних комплексів радіомоніторингу.

Актуальність даного завдання обумовлена складністю сучасної радіоелектронної обстановки, яка характеризується високою динамічністю та насиченістю радіоелектронними засобами, що працюють на випромінювання та здійснюють взаємний вплив, а також важливістю завдань, які виконують підрозділи радіомоніторингу військового призначення.

У роботі запропоновано застосування алгоритму багатоканальної вагової просторової обробки сигналів на фоні завад для покращення завадозахищеності систем зв'язку і передачі даних на базі радіорелейної станції «Р-415В». Даний підхід є найбільш раціональним, оскільки компенсація діючих завад здійснюється за умови наявності просторових відмінностей між напрямками приходу корисного сигналу і завади, що є характерним для радіорелейних станцій. Крім того, технічною передумовою реалізації запропонованого рішення є наявність у складі радіорелейної станції «Р-415В» спрямованої антени «ДБІІ», що складається з двох однакових z-випромінювачів і є найпростішою двоелементною антенною решіткою, яку можна використати для реалізації багатоканальної вагової обробки.

У статті наведено алгоритм просторової обробки, обрано показники ефективності та досліджено ефективність його роботи. Розрахунки проводилися з використанням системи комп'ютерної алгебри – Mathcad 15.

Отримано наочні, кількісні та якісні результати показників ефективності залежно від обраної радіоелектронної обстановки для визначених тактико-технічних характеристик засобу передачі інформації без урахування впливу дестабілізуючих факторів на якість обробки.

Ключові слова: радіомоніторинг; завадозахищеність; вагова просторова обробка; компенсація завад; система зв'язку і передачі даних.

Постановка проблеми в загальному вигляді. На системи радіомоніторингу (РМ) цивільного і військового призначення покладається виконання важливих завдань, основними з яких є:

- спостереження та контроль за частотним діапазоном;
- виявлення джерел радіовипромінювання (ДРВп);
- визначення їх місцеположення тощо.

Виконання цих завдань реалізується шляхом управління через системи зв'язку і передачі даних (СЗіПД). Однією з основних характеристик СЗіПД, що обумовлює їх ефективне функціонування в складі комплексів РМ, є завадостійкість системи, яка

забезпечує достовірність інформаційного обміну [1]. Слід зазначити, що сучасна радіоелектронна обстановка (РЕО) є складною, характеризується високою насиченістю радіоелектронних засобів (РЕЗ), що використовують спільний частотний діапазон, розміщуються на обмеженій відстані та, як наслідок, здійснюють взаємний вплив. Крім того, сучасні комплекси РМ функціонують в умовах впливу завад. Усе це призводить до зменшення їх ефективності функціонування [2, 3]. У зв'язку з викладеним вище набуває актуальності завдання покращення рівня завадозахищеності СЗіПД засобів РМ як показника, що визначає здатність функціонування за призначенням без погіршення робочих характеристик у разі дії завад. Відсутність спеціальних технічних рішень щодо компенсації дії завад робить важливим дослідження можливості покращення рівня завадозахищеності радіорелейної станції (РРС) «Р-415В», на основі якої реалізовано СЗіПД сучасних комплексів РМ військового призначення. Актуальності дана проблема набула під час проведення антитерористичної операції (операції Об'єднаних сил).

Отже, є суперечність, пов'язана з необхідністю реалізації надійного зв'язку та достовірної передачі інформації СЗіПД комплексів РМ військового призначення в умовах складної сучасної РЕО при їх низькому рівні завадозахищеності. Один із методів покращення завадозахищеності СЗіПД – застосування вагової просторової обробки сигналів і завад.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню проблеми виконання завдань РМ в умовах складної сигнальної обстановки присвячено значну кількість наукових праць. У контексті даної статті заслуговують на увагу наукові праці [4, 5, 8]. У них розкрито загальні підходи до компенсації завад у РЕЗ та засобах зв'язку. Застосування адаптивної просторової вагової обробки як однієї із сучасних радіотехнологій для забезпечення завадостійкості військової техніки радіозв'язку розглянуто в [6]. Вплив навмисних завад на завадозахищеність СЗіПД комплексів РМ досить повно досліджено в [1], проте наведено розрахунки ефективності СЗіПД для передач на основі сигналів із частотною маніпуляцією із завадостійким кодуванням. Можливості використання просторової обробки в СЗіПД комплексів РМ військового призначення не досліджувалися.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є оцінювання можливості застосування вагової просторової обробки в СЗіПД комплексів РМ для покращення завадозахищеності.

Виклад основного матеріалу. Для надійних умов функціонування системи РМ та її складових створюється СЗіПД. Це сукупність взаємопов'язаних та узгоджених за завданнями, місцем і часом дій вузлів (центрів, пунктів, станцій) і ліній зв'язку, які розгортаються (створюються) за єдиним задумом і планом для забезпечення завдань управління. Слід зазначити, що СЗіПД у ході виконання завдань РМ використовують не тільки для передачі розпоряджень, команд та оперативної інформації, а також як невід'ємну частину засобів (комплексів) радіо- та радіотехнічного моніторингу. Так, наприклад, під час визначення місцеположення ДРВп СЗіПД на базі РРС «Р-415В» здійснюється управління елементами комплексу засобів синхронного пеленгування, яке полягає в синхронізації роботи пеленгаторів у процесі визначення пеленгів на ДРВп [1].

Для покращення завадозахищеності РРС «Р-415В» в умовах дії активних завад (АЗ) заслуговує на увагу дослідження можливості вдосконалення даного зразка шляхом застосування методу просторової компенсації АЗ [4]. Технічною передумовою реалізації

цього підходу є наявність у складі РРС «Р-415В» спрямованої антени «ДБ11», що складається з двох однакових z-випромінювачів. Це найпростіша двоелементна антенна решітка (див. рис. 1а), яку можна використати для реалізації багатоканальної вагової обробки сигналів на фоні дій АЗ без виділеного каналу прийому [7].

Відомо, що багатоканальні системи компенсації забезпечують подавлення АЗ, кількість яких становить $M-1$, де M – кількість каналів обробки [8]. Отже, конструктивне виконання антени «ДБ11» РРС «Р-415В» у вигляді двоелементної антенної решітки (АР) теоретично створює передумови щодо компенсації однієї АЗ. У разі збільшення кількості антенних елементів АР та каналів обробки кількість потенційно компенсованих АЗ також збільшиться. Враховуючи масогабаритні характеристики антени «ДБ11», доцільно розглянути її можливий конструктивний варіант із трьох (див. рис. 1б) та чотирьох антенних елементів, які, відповідно, забезпечать триканальну ($M = 3$) та чотириканальну ($M = 4$) вагову обробку сигналу на фоні дії АЗ.

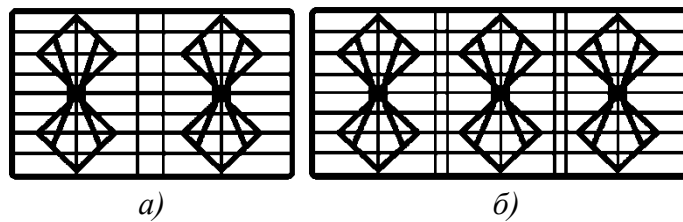


Рис. 1. Антена «ДБ11» РРС «Р-415В»: а) $M = 2$; б) удосконалена, $M = 3$

Схемне рішення повинно забезпечувати компенсацією діючих АЗ шляхом подання суміші сигналу та АЗ із кожного антенного елемента на M відповідних каналів вагової обробки. Після обробки сигнал надходить у блок прийомопередавача РРС «Р-415В».

Просторова оброблення реалізується шляхом вагового складання комплексних амплітуд коливань $Y_m(t)$, прийнятих елементами антенної системи $m = 1, \dots, M$, із комплексними ваговими коефіцієнтами $R_m(\alpha)$, що вводяться поканально за допомогою підсилювачів, атенуаторів та фазообертавачів. В узагальненому векторно-матричному записі

$$Y_{\Sigma}(t) = Y^T(t) R^*(\alpha) \quad (1)$$

це враховується як множення вектора-рядка прийнятих коливань $Y^T(t)$ на комплексно-спряжений ваговий вектор-стовпець $R^*(\alpha)$. На рис. 2 зображено схему просторової обробки сигналів і завад без кола зворотного зв'язку [8].

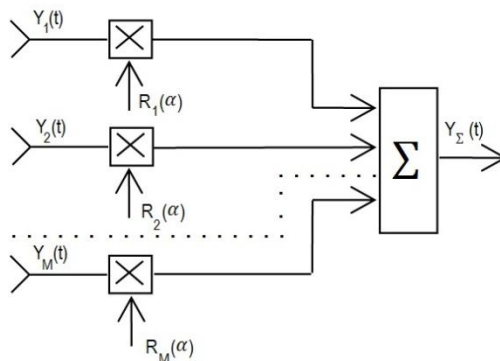


Рис. 2. Структурна схема просторової обробки в багатоканальних приймальних системах

Вважаємо, що фазовий фронт електромагнітних хвиль (ЕМХ), які надходять, можна вважати плоским, тобто ДРВП знаходиться в дальній зоні приймальної апертури, а АР складається з M ідентичних слабкоспрямованих приймальних елементів, тому виконується умова

$$\frac{L}{c} \ll \frac{1}{\Delta f_c},$$

де L – максимальний лінійний розмір приймальної апертури;

c – швидкість світла;

Δf_c – ширина спектра сигналу.

Цей вираз показує, що час затримки сигналів, прийнятих першим і останнім елементами АР, багато менше періоду найвищої гармоніки в спектрі модуляції прийнятого сигналу. Тобто така затримка практично не позначається на комплексній амплітуді прийнятого сигналу.

Власні шуми приймальних каналів стаціонарні, взаємозалежні, розподілені за нормальним законом із нульовим середнім і дисперсією $\sigma_{ш}^2$. Спектральні щільності потужності власних шумів у каналах прийому N_{om} рівномірні в смузі частот Δf (Δf_m – смуга пропускання m -го приймального каналу) [9].

Корисний сигнал подамо у вигляді вектора-стовпця комплексних амплітуд коливань в елементах антени:

$$X(t, \alpha_c) = X(t) X(\alpha_c), \quad (2)$$

де $X(t)$ описує закон зміни в часі комплексних амплітуд сигнальних коливань, загальний для всіх антенних елементів;

$X(\alpha_c)$ описує амплітудно-фазовий розподіл (АФР) сигналу на розкритті антенної системи, що залежить від виду апроксимації (сферична, плоска) і параметрів фронту хвилі, яка надходить. Для плоских хвиль $X(\alpha_c)$ залежить від напрямку надходження.

Вектор-стовпець $X(\alpha_c)$ для лінійної еквідистантної АР зі слабкоспрямованими елементами можна подати в такому вигляді:

$$X(\alpha_c) = \|\exp(-j \alpha_m)\|, \quad m=1, \dots, M, \quad (3)$$

де α_m – просторовий параметр, що характеризує напрямок надходження сигналу:

$$\alpha_m = \frac{(m-1) \cdot 2\pi d \sin Q}{\lambda}, \quad (4)$$

де d – відстань між сусідніми елементами антенної системи (АС);

Q – кутова координата джерела випромінювання відносно нормалі до АР;

λ – довжина хвилі прийнятого коливання.

Позначивши різницю фаз сигналів, прийнятих сусідніми елементами АР, $\Delta\Phi = \frac{2\pi d \sin Q}{\lambda}$, вираз (3) приведемо до такого вигляду: $\alpha_m = (m-1) \cdot \Delta\Phi$.

Заваду вважаємо стаціонарною. Вона створюється взаємно-некорельованими джерелами, а саме незалежними зовнішніми джерелами і внутрішніми шумами приймальних каналів. Вектор-стовпець комплексних амплітуд напруг завад на виходах антенних елементів подамо як

$$Y_p(t) = N_o(t) + \sum_{k=1}^n X(\alpha_{pk}) N_k(t), \quad (5)$$

де $X(\alpha_{pk}) = \|X_m(\alpha_{pk})\|$ – вектор-стовпець АФР, позначення якого узгоджується з позначенням сигнального вектора-стовпця, характер просторового розподілу не залежить від природи випромінюючого джерела;

$N_k(t)$ – комплексна амплітуда напруги завади від k -го джерела на виході довільного m -го антенного елемента за одиничного амплітудно-фазового множника $X_m(\alpha_{pk}) = 1$;

$N_o(t)$ – M -мірний вектор-стовпець, що описує закон зміни в часі власних шумів приймальних каналів.

Результуючий вектор сигналів на вході АР дорівнює

$$Y(t) = X(t, \alpha_c) Y_p(t). \quad (6)$$

Кореляційна матриця завад враховує кореляцію коливань завад за елементами АР [8]:

$$F(t, s) = M [Y(t) Y^*(s)/2];$$

$$F = F_o + \sum_{k=1}^n N_k X(\alpha_{pk})(\alpha_{pk}) X^{*T}(\alpha_{pk}), \quad (7)$$

де $F_o = \text{diag}(N_{om})$ – діагональна матриця розміру M на M -спектральних щільностей потужностей власних шумів приймальних каналів;

N_k – спектральна щільність потужності сигналу k -ї завади прийнятого довільним m -м елементом АС при $X_k(\alpha_{pk}) = 1$.

Співвідношення (7) запишемо в такому вигляді:

$$F = F_o + \Lambda H \Lambda^{*T}, \quad (8)$$

де Λ – матриця M на k векторів-стовпців АФР завад, що створюються зовнішніми джерелами:

$$\Lambda = \| X(\alpha_{p_1}) X(\alpha_{p_2}) \dots X(\alpha_{p_k}) \|;$$

H – діагональна матриця k на k спектральних щільностей потужності діючих завад, $H = \text{diag}(N_k)$.

Ваговий вектор визначається як добуток оберненої кореляційної матриці на АФР корисного сигналу на розкритті антени:

$$R(\alpha_c) = F^{-1} X(\alpha_c). \quad (9)$$

У підсумку результатом просторової обробки є вагова сума:

$$Y_\Sigma(t) = Y^T(t) R^*(\alpha_c). \quad (10)$$

Реалізація алгоритму просторової обробки ґрунтується на використанні багатоканальних за входом систем. При цьому кількість каналів обробки обумовлена кількістю антенних елементів в АР та початковими умовами реалізації алгоритму. Розрахунки ефективності будемо виконувати для лінійної еквідистантної АР із кількістю антенних елементів M . У ході вагової просторової обробки кількість каналів обробки відповідає кількості заданих антенних елементів.

З метою визначення ефективності компенсації АЗ пристроями просторової обробки, виділимо сукупність параметрів і характеристик, що дозволяють оцінити якість роботи алгоритму завадозахисту [9].

Відношенням сигнал / завада + шум, за визначенням, називають відношення сигнал / завада на вході лінійного тракту обробки (за потужністю, за напругою). У ході просторової обробки параметр визначають за таким виразом:

$$q^2 = 2E_0 X^T(\alpha)(F^{-1})^* X^*(\alpha), \quad (11)$$

де $E_0 = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |X(t)|^2 dt$ – енергія сигналу на одиничному вихідному опорі довільного i -го елемента антени при $|X_i(\alpha)| = 1$. За відсутності зовнішньої завади ($F = F_0$) значення $q^2 = q_0^2$ (відношення сигнал / шум) [9].

Коефіцієнт подавлення завади схемою захисту K_{Π} показує в скільки разів зменшилася потужність завади на виході системи компенсації по відношенню до потужності завади на її вході. K_{Π} визначаємо за таким виразом [4]:

$$K_{\Pi} = P_{\Pi ВХ} / P_{\Pi ВИХ}. \quad (12)$$

Якщо ваговий вектор відомий, то можна не тільки реалізувати просторову обробку, але й розрахувати характеристику спрямованості. Остання визначається як залежність комплексної амплітуди вихідної напруги від напрямку надходження α_0 очікуваного сигналу (гармонічної плоскої хвилі) у разі заданих напрямків надходження корисного сигналу $-\alpha_c$ і сигналів активних завод $-\alpha_p$:

$$F_{\Sigma}(\alpha_o | \alpha_c, \alpha_p) = k_0 X^T(\alpha_o) R^*(\alpha_c, \alpha_p), \quad (13)$$

де k_0 – нормуючий коефіцієнт [9].

У разі дії зовнішніх джерел (коли завада корельована за розкритом) в оптимальній характеристиці спрямованості формуються провали в напрямку на них.

Для дослідження роботи схеми просторової обробки сигналів і завад залежно від кількості, а також енергетичних і просторових параметрів АЗ було використано систему комп'ютерної алгебри – Mathcad 15. Було обрано початкові умови та досліджено ефективність компенсації однієї АЗ, що діє в напрямку першої бокової пелюстки ($Qp = 32^\circ$) за триканальної просторової обробки, а також компенсацію двох АЗ, які діють у напрямку першої та другої бокових пелюсток ($Qp_1 = 32^\circ$, $Qp_2 = 60^\circ$) за чотириканальної просторової обробки.

Робота алгоритму компенсації досліджувалася для АЗ із відношенням їх спектральної щільності потужності до спектральної щільності внутрішніх шумів каналів обробки (Np) 20 дБ, 30 дБ, 50 дБ. У результаті роботи алгоритму в напрямку АЗ формується «провал» у характеристиці спрямованості. На рис. 3 проілюстровано компенсацію АЗ, що діє з кутового напрямку $Qp = 32^\circ$ ($Np = 30$ дБ), триканальною схемою обробки.

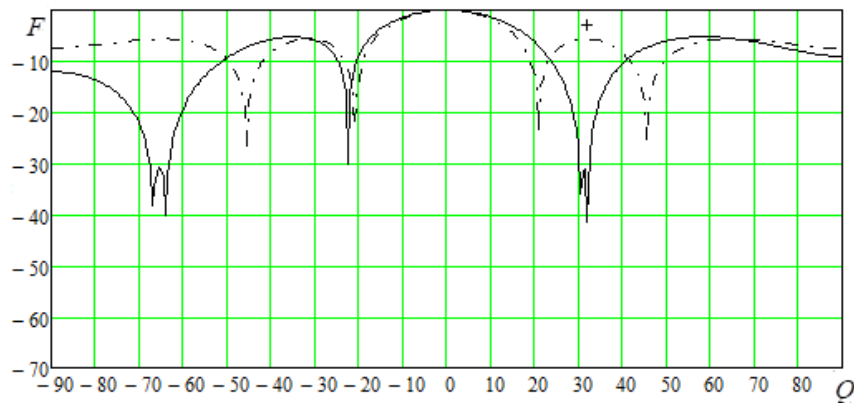


Рис. 3. Характеристика спрямованості в разі просторової компенсації АЗ, що діє в напрямку першої бокової пелюстки

Зменшення значення нормованої характеристики спрямованості в напрямку діючих АЗ забезпечує їх компенсацію, яку чисельно характеризує значення коефіцієнта подавлення завад (K_{Π}) та забезпечує вигреш у відношенні сигнал, завада + шум (Δq^2).

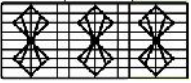
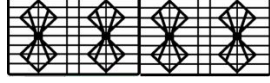
У табл. 1 наведено значення показників ефективності алгоритму просторової обробки, які досліджувалися за різних початкових умов для двох варіантів реалізації в РРС «Р-415В» з одним додатковим антенним елементом та трьома каналами обробки, а також із двома додатковими антенними елементами та чотирма каналами обробки.

Отримані абсолютні (теоретичні) значення показників пояснюються тим, що в ході обчислень не враховано впливу дестабілізуючих факторів: декореляції сигналів у каналах

обробки, кінцевої розрядності за цифрової обробки, кінцевості коефіцієнта накопичення під час оцінювання кореляційної матриці, додаткових апаратурних помилок, що вносяться аналого-цифровими перетворювачами [8].

Таблиця 1

Значення показників ефективності алгоритму просторової обробки

$M_{ел}$	3 			4 		
$N_p, дб$	20	30	50	20, 20	30, 30	50, 50
$Q_p, град$	32			30, 60		
Δq^2	$1,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^6$	$2,7 \times 10^3$	$2,8 \times 10^4$	$2,8 \times 10^6$
$K_{п}$	371	$3,7 \times 10^3$	$3,7 \times 10^5$	715	$7,14 \times 10^3$	$7,14 \times 10^5$

Отже, отримані результати підтверджують ефективність просторової компенсації АЗ багатоканальними приймальними системами. Реалізація обробки в РРС «Р-415В» покращить її заводозахищеність у складній РЕО та в разі дії навмисних АЗ.

Висновки. У статті розглянуто підхід до покращення заводозахищеності СЗіПД комплексів РМ за рахунок використання вагової просторової обробки, який є найбільш раціональним, оскільки компенсація діючих завод здійснюється за умови наявності просторових відмінностей між напрямками надходження корисного сигналу і завади, що є характерним для РРС.

Досліджено показники ефективності алгоритму просторової компенсації завод у ході його застосування в СЗіПД комплексів РМ військового призначення. Отримані результати не суперечать відомим науковим положенням.

Використання просторової обробки в СЗіПД на основі РРС «Р-415В» у складі комплексу засобів синхронного пеленгування та комплексів радіотехнічного моніторингу дозволить покращити заводозахищеність та забезпечить достовірність інформаційного обміну в складній РЕО в разі дії пасивних та АЗ.

У подальшому заслуговує на увагу дослідження питань щодо спільного застосування декількох способів заводозахищеності, наприклад, просторової-поляризаційної селекції, заводостійкого кодування інформації, реалізації СЗіПД на основі технології МІМО.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Гребенюк О. П., Меленський В. Д., Коріненко В. І. Застосування заводостійкого кодування в системах зв'язку і передачі даних комплексів радіомоніторингу для забезпечення достовірності інформаційного обміну // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ ДУТ, 2015. Вип. 11. С. 44–50.
2. Слободянюк П. В., Благодарний В. Г., Ступак В. С. Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П. В. Слободянюка. Ніжин : ТОВ Вид. "Аспект-Поліграф", 2008. 588 с.

3. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А. М. Рембовского. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Горячая линия – Телеком, 2010. 624 с.
4. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю. И. Лосев, А. Г. Бердников, Э. Ш. Гойхман, Б. Д. Сизов; под ред. Ю. И. Лосева. Москва : Радио и связь, 1988. 208 с.
5. Адаптивные антенные решетки : учеб. пособ. / В. А. Григорьев, С. С. Щесняк, Ю. А. Гулюшин, Ю. А. Распаев, О. И. Лагутенко, А. С. Щесняк. Санкт-Петербург : Ун-т ИТМО, 2016. 179 с.
6. Гурський Т. Г. Сучасні радіотехнології у військовій техніці радіозв'язку // Системи управління. Телеком. Військовий зв'язок. 2019. № 8. С. 44–48.
7. Техническое описание: Радиорелейная станция «Р-415». Москва : Воениздат, 1979. 215 с.
8. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. Москва : Радио и связь, 2003. 200 с.
9. Григорьев В. А. Комбинированная обработка сигналов в системах радиосвязи. Москва : Эко-Трендз, 2002. 264 с.
10. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. Москва : Наука, 2004. 560 с.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2021.

REFERENCES

1. Hrebenuk, O. P., Melenskyi, V. D., & Korinenko, V. I. (2015). Zastosuvannia zavadostiikoho koduvannia v systemakh zv'iazku i peredachi danykh kompleksiv radiomonitorynhu dlia zabezpechennia dostovirnosti informatsiinoho obminu [Using of noise-tolerant coding in communication and data transmission systems of radio monitoring complexes to ensure the reliability of information exchange]. *Problemy stvorennia, vyprovovuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 11, 44–50. Zhytomyr : ZhMI DUT [in Ukrainian].
2. Slobodianiuk, P. V., Blahodarnyi, V. H., & Stupak, V. S. (2008). *Dovidnyk z radiomonitorynhu [Handbook of radio monitoring]*. P. V. Slobodianiuk (Ed.). Nizhyn [in Ukrainian].
3. Rembovskii, A. M., Ashikhmin, A. V., & Koz'min, V. A. (2010). *Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva [Radio monitoring: tasks, methods, tools]*. A. M. Rembovskii (Ed.). (2nd ed.). Moscow [in Russian].
4. Losev, Iu. I., Berdnikov, A. G., Goikhman, E. Sh., & Sizov, B. D. (1988). *Adaptivnaia kompensatsiia pomekh v kanalakh sviazi [Adaptive compensation of interference in communication channels]*. Iu. I. Losev (Ed.). Moscow [in Russian].
5. Grigor'ev, V. A., Shchesniak, S. S., Guliushin, Iu. A., Raspaev, Iu. A., Lagutenko, O. I., & Shchesniak, A. S. (2016). *Adaptivnye antennye reshetki [Adaptive antenna arrays]*. Saint Petersburg [in Russian].
6. Hurskyi, T. H. (2019). Suchasni radiotekhnolohii u viiskovii tekhnitsi radiozv'iazku [Modern radio technology at the most advanced radio communication technology]. *Systemy upravlinnia. Telekom. Viiskovyi zv'iazok [Management systems. Telecom. Military communications]*, 8,

44–48 [in Ukrainian].

7. *Tekhnicheskoe opisanie: Radioreleinaia stantsiia «R-415» [Technical description: Radar relay station "R-415"]*. (1979). Moscow [in Russian].

8. Ratynskii, M. V. (2003). *Adaptatsiia i sverkhrazreshenie v antenykh reshetkakh [Adaptation and superresolution in antenna arrays]*. Moscow [in Russian].

9. Grigor'ev, V. A. (2002). *Kombinirovannaia obrabotka signalov v sistemakh radiosviazi [Combined signal processing in radio communication systems]*. Moscow [in Russian].

10. Gantmakher, F. R. (2004). *Teoriia matrits [Matrix theory]*. Moscow [in Russian].

O. P. Hrebenyuk, M. A. Rohovets, O. O. Hrebenyuk

SPATIAL PROCESSING USING IN COMMUNICATION SYSTEMS FOR RADIO MONITORING COMPLEXES TO ENSURE THE NOISE IMMUNITY

The article investigates the issue of improving the level of environmental in communication systems and data transmission of radio monitoring complexes.

The relevance of this task is due to the complexity of the modern electronic environment, which is characterized by high dynamics and saturation with electronic means that work on radiation and have a mutual impact, as well as the importance of tasks performed by military radio monitoring units.

The paper proposes the use of the algorithm of multichannel weight spatial processing of signals against the background of interference to improve the obstruction of communication systems and data transmission on the basis of the radio relay station "R-415V". This approach is the most rational, since the compensation of existing obstacles is carried out subject to the presence of spatial differences between the directions of the arrival of a useful signal and the obstacle that it is typical for radio relay stations.

In addition, the technical prerequisite for the implementation of the proposed solution is the presence in the radio relay station "P 415V" of the directional antenna "DB11", consisting of two identical z-emitters and is the simplest two-element antenna grille that can be used to implement multichannel weight treatment. The article presents the spatial processing algorithm, selected performance indicators and investigated the effectiveness of its work. The calculations were carried out using the computer algebra system – Mathcad 15.

Were obtained visual, quantitative and qualitative results of performance indicators depending on the selected electronic situation for certain tactical and technical characteristics of the means of transmitting information without taking into account the influence of destabilizing factors on the quality of processing.

Keywords: *radio monitoring; preventability; weight spatial processing; compensation of obstacles; communication and data transmission system.*