

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ АКТИВНОГО РАДІОМАСКУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ У ОПЕРАТИВНОМУ РАЙОНІ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ПОВІТРЯНИХ ЗАСОБІВ РАДІОРОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА

Розглядається варіант захисту від повітряних засобів радіорозвідки противника інформаційного обміну підрозділів НГУ, розташованих у визначеному операційному районі, шляхом постановки навмисних радіоперешкод спеціальними мобільними засобами радіомаскування. Побудована комп'ютерна модель взаємодії таких засобів з каналом радіозв'язку між підрозділами НГУ.

Ключові слова: радіоелектронне маскування, засоби активного радіомаскування, канал радіозв'язку, діаграма спрямованості.

Вступ

Постановка проблеми. Серед сучасних тенденцій розвитку радіоелектронної боротьби активності набувають технічні рішення, що використовують повітряні засоби радіорозвідки на БПЛА, а також розробки щодо протидії таким засобам [1-3].

Аналіз застосування системи радіозв'язку Національної гвардії України (НГУ) під час проведення АТО виявив недоліки у забезпеченні захисту радіообміну в умовах дії сучасних засобів радіорозвідки противника, звідки постає задача створення альтернативних організаційно-технічних заходів з підвищення показників розвідзахищеності системи радіозв'язку НГУ.

Це робить актуальним питання ефективного застосування радіоелектронного маскування (РМ) — сукупності заходів і дій, спрямованих на зниження ефективності застосування засобів радіорозвідки [4,5].

Аналіз, проведений у роботі [8], підтверджує, що способи пасивного радіомаскування, засновані на екрануванні, регламентації робіт на випромінювання лише частково вирішують проблеми приховування радіомереж та окремих засобів радіозв'язку від радіоелектронної розвідки, тому для забезпечення розвід захищеності необхідно додатково використовувати засоби активного радіомаскування (ЗРМ). Такі засоби створюють спеціальні поля перешкод, що ускладнюють несанкціонований прийом сигналу засобами радіотехнічної розвідки і виділення повідомлень засобами радіорозвідки. Результатом дії активних шумових перешкод є маскування корисних сигналів в деякому тілесному куті і певному інтервалі відстаней. Внаслідок цього істотно погіршуються характеристики виявлення засобів радіозв'язку, їх роздільна здатність і точність визначення координат. Виключена зі спостереження частина простору називається областю, що маскується [4].

Визначення неповно без істотно важливого обмеження: перешкоди від ЗРМ не повинні заважати роботі радіоелектронних засобів (РЕЗ) у області, що маскується, тобто не повинні знижувати показники їх ефективності і якості нижче деякого прийнятного рівня.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Література за даною тематикою, в основному, присвячена питанням РМ окремих радіостанцій, а не систем радіозв'язку військового призначення в цілому [4-7]. Для отримання кількісних оцінок електромагнітної сумісності використовуються методики, які враховують енергетичні показники, при цьому енергетичні показники характеризуються співвідношенням потужностей сигналів та перешкод на вході приймального пристрою засобів радіорозвідки. Використовуючи аналітичний підхід, автори розглядають взаємодію діаграм спрямованості (ДС) радіоелектронних засобів тільки у горизонтальній площині, часто обмежені у виборі варіантів форми ДС приймача, не розглядають варіанти використання гостро направлених ДС випромінювачів штучних завад. Загальним недоліком цих робіт є відсутність можливості оцінювання впливу кількох ЗРМ на розвідзахищеність радіостанцій підрозділів НГУ від кількох засобів радіоелектронної розвідки противника (ЗРЕРп).

У роботах [9, 10] розроблені імітаційні моделі роботи каналу радіозв'язку (КРЗ) між підрозділами НГУ, які дозволяють оцінити параметри його завадозахищеності відносно стаціонарних наземних засобів радіоелектронної боротьби противника. У цих роботах припускалося, що для забезпечення захищеного радіозв'язку з командним пунктом засоби радіозв'язку підрозділів НГУ та ЗРМ використовують мобільні діаграмо-спрямовуючі пристрої, змонтовані зі штатних засобів активної оборони [9]. Діаграма спрямованості такої антенної системи вважалася двовимірною, тобто задавалася тільки у горизонтальній площині, що робить її непридатною для

роботи з повітряними цілями. Отже, у задачі протидії радіоелектронній розвідці, що базується наБПЛА, необхідно оперувати тривимірною ДС генератора завад, вводючи у перелік параметрів моделі ЗРМ кут місця цілі.

Другий недолік моделей [8, 9], який не дозволяє використовувати їх у задачі боротьби з повітряною радіотехнічною розвідкою, є те, що траєкторія БПЛА являє собою не одну точку, а множину точок, які необхідно придушувати одночасно.

Третій момент, відсутній у моделях [8, 9], полягає у необхідності захищати не окремі точки на мапі, а область, що маскується, межі якої визначаються точками визначення оперативного простору (ТВОП) військових підрозділів.

Така нова постановка задачі потребує доопрацювання зазначених вище моделей.

Метою статті є удосконалення імітаційної моделі активного радіомаскування військових підрозділів шляхом урахування висоти, на якій може знаходитись засіб радіорозвідки та деякої траєкторії його руху.

Виклад основного матеріалу

Враховуючи різноманітність конструкцій антенних систем, яка диктується необхідністю візуального маскування, характеристики просторових ДСЗРМ за наявності відповідних креслень можна обчислити за технологією HFSS [9]. Приклад моделювання такої ДС ЗРМ з парабоциліндричною антеною, який використовувався у роботі [10] для підвищення завадостійкості роботи радіоелектронних засобів військових підрозділів в умовах радіопридушення, наведений на рис. 1.

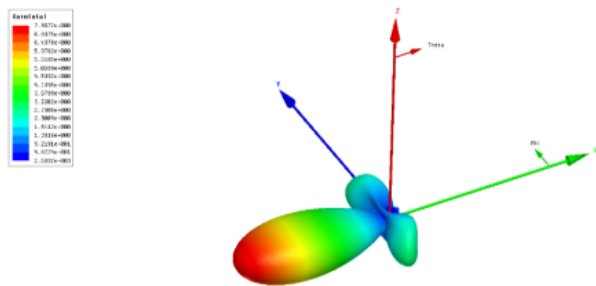


Рис. 1. Моделювання тривимірної ДС антенної системи у HFSS Ansoft

Просторову функцію напруженості поля антенного пристрою у полярних координатах позначимо як $G(\theta, \phi)$, де θ - кут азимуту, а ϕ - кут місця цілі. Зазвичай для опису ДС використовують її перерізи $D_g(\theta)$ та $D_v(\phi)$ у горизонтальній та вертикальній площині відповідно. Використовуючи результати моделювання ДС вищевказаного антенного пристрою у декартових координатах (рис. 2, 3), можна одержати табличні значення функцій $D_g(\theta)$, $D_v(\phi)$.

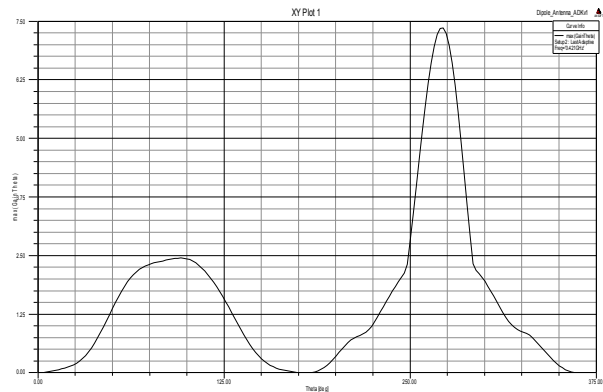


Рис. 2. Діаграма спрямованості в декартовій системі щодо кута θ

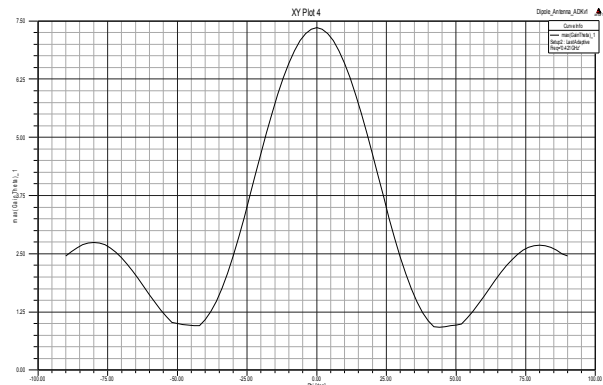


Рис. 3. Діаграма спрямованості в декартовій системі щодо кута ϕ

Аналогічним чином можна одержати значення функцій горизонтального та вертикального перерізу ДС антенного пристрою будь-якої конструкції для $\theta \in [0^0, 360^0]$ та $\phi \in [-90^0, 90^0]$. Маючи табельовані значення функцій $D_g(\theta)$ та $D_v(\phi)$, нормовану ДС антени ЗРМ одержуємо наступним чином:

$$G(\theta, \phi) = D_g(\theta) * D_v(\phi), \quad (1)$$

Перейдемо до опису взаємодії системи ЗРМ з іншими об'єктами моделі. Будемо вважати, що можлива траєкторія пересування повітряного ЗРЕРп у кожній своїй точці є доступною для відповідним чином розташованих ЗРМ (рис. 4).

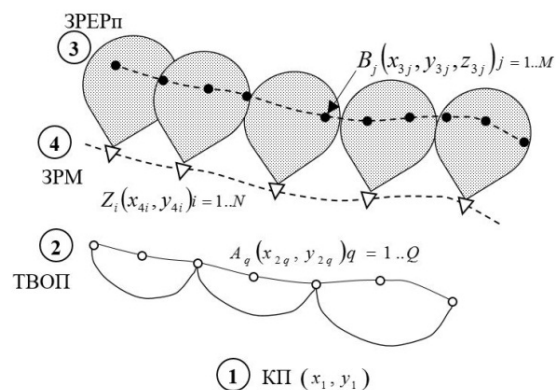


Рис. 4. Складові моделі активного радіомаскування ТВОП в умовах дії повітряного ЗРЕРп

У склад моделі входять такі елементи:

Об'єкт 1. Командний пункт (КП). Характеризується координатами розташування (x_1, y_1) та потужністю передавача P_1 .

Об'єкт 2. $A = \{A_1, A_2, \dots, A_Q\}$ – множина ТВОП військових підрозділів $A_q(x_{2q}, y_{2q})$, $q=1..Q$, у кожній з яких можливе розташування радіоелектронного засобу потужністю P_{2q} , азимут діаграми спрямованості (ДС) якого становить кут θ_{2q} .

Об'єкт 3. $B = \{B_1, B_2, \dots, B_M\}$ – множина точок $B_j(x_{3j}, y_{3j}, z_{3j})$, $j=1..M$ можливої траєкторії пересування повітряного ЗРЕП.

Об'єкт 4. $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_N\}$ – множина точок $Z_i(x_{4i}, y_{4i})$, $i=1..N$ розташування ЗРМ, у кожній з яких розміщується джерело радіоперешкод потужністю P_{4i} , власний азимут ДС якого становить кут θ_{4i} , а кут місця ϕ_{4i} .

Окремий випадок розташування траєкторії пересування повітряного ЗРЕП уздовж лінії фронту, зображений на рис. 4, не є принциповим для роботи моделі, розташування об'єктів якої може бути змінено довільним чином. Схема радіомаскування окремої точки ТВОП A_q одиночним ЗРМ наведена на рис. 5.

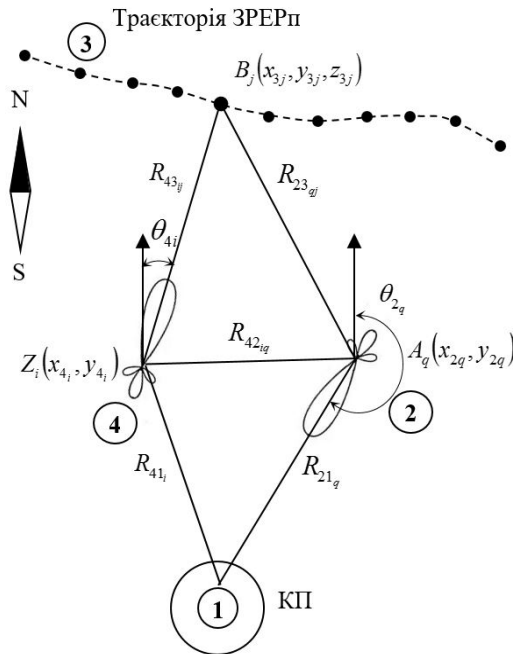


Рис. 5. Схема активного радіомаскування точки визначення оперативного простору

Використовуючи принцип суперпозиції для адитивних завдань від системи ЗРМ $Z = \{Z_1, \dots, Z_N\}$, коефіцієнт придушення K_{12q} сигналу КП у точці A_q за результатами роботи [7] одержимо у такому вигляді:

$$K_{12q} = R_{21q}^2 / \left(P_1 G_{2q} (\theta_{21q} - \theta_{2q}) \right) \times \sum_{i=1}^N P_{4i} G_{4i} (\theta_{42iq} - \theta_{4i}, \phi_{4i}) / R_{42iq}^2, \quad (2)$$

де $R_{21q} = \sqrt{(x_1 - x_{2q})^2 + (y_1 - y_{2q})^2}$ – відстань між КП та точкою A_q ;

$\theta_{21q} = \tan^{-1} \left[|x_{2q} - x_1| / |y_{2q} - y_1| \right]$ – кут азимуту з точки A_q на КП;

$R_{42iq} = \sqrt{(x_{4i} - x_{2q})^2 + (y_{4i} - y_{2q})^2}$ – відстань між точками Z_i та A_q ;

$\theta_{42iq} = \tan^{-1} \left[|x_{4i} - x_{2q}| / |y_{4i} - y_{2q}| \right]$ – кут азимуту з точки Z_i на точку A_q ;

$G_{2q}(\theta)$ – нормована ДС антени РЕЗ, розташованого у точці A_q ;

$G_{4i}(\theta, \phi)$ – нормована ДС антени i -го ЗРМ;

θ – кут напрямку на точку оперативного простору відносно власного азимуту ДС;

ϕ – кут місця ДС.

Коефіцієнт придушення K_{21q} сигналу з точки A_q у точці розташування КП

$$K_{21q} = R_{21q}^2 / \left(P_{2q} G_{2q} (\theta_{21q} - \theta_{2q}) \right) \times \sum_{i=1}^N P_{4i} G_{4i} (\theta_{41i} - \theta_{4i}, \phi_{4i}) / R_{41i}^2, \quad (3)$$

де $R_{41i} = \sqrt{(x_{4i} - x_1)^2 + (y_{4i} - y_1)^2}$ – відстань між точками Z_i та КП;

$\theta_{41i} = \tan^{-1} \left[|x_{4i} - x_1| / |y_{4i} - y_1| \right]$ – кут азимуту з точки Z_i на КП.

Коефіцієнт придушення K_{13j} сигналу передавача КП у точці B_j можливої траєкторії пересування повітряного ЗРЕП одержуємо таким чином:

$$K_{13j} = \frac{R_{13j}^2}{P_1} \sum_{i=1}^N \frac{P_{4i} G_{4i} (\theta_{43ij} - \theta_{4i}, \phi_{43ij} - \phi_{4i})}{R_{43ij}^2}, \quad (4)$$

де $R_{13j} = \sqrt{(x_1 - x_{3j})^2 + (y_1 - y_{3j})^2}$ – відстань між КП та B_j ;

$R_{43ij} = \sqrt{(x_{4i} - x_{3j})^2 + (y_{4i} - y_{3j})^2}$ – відстань між точками Z_i та B_j ;

$\theta_{43_{ij}} = \tan^{-1} \left[\left| x_{4_i} - x_{3_j} \right| / \left| y_{4_i} - y_{3_j} \right| \right]$ – кут ази-
миту з точки Z_i на точку B_j ;

$\phi_{43_{ij}} = \tan^{-1} \left[\left| z_j \right| / R_{43_{ij}} \right]$ – кут місця з точки Z_i
на точку B_j .

Коефіцієнт придушення $K_{23_{qj}}$ сигналу з точки
 A_q у точці B_j можливої траєкторії пересування
повітряного ЗРЕП одержуємо таким чином:

$$K_{23_{qj}} = R_{23_{qj}}^2 / \left(P_{2_q} G_{2_q} (\theta_{23_{qj}} - \theta_{2_q}) \right) \times \sum_{i=1}^N P_{4_i} G_{4_i} (\theta_{43_{ij}} - \theta_{4_i}, \phi_{43_{ij}} - \phi_{4_i}) / R_{43_{ij}}^2, \quad (5)$$

де $R_{23_{qj}} = \sqrt{(x_{2_q} - x_{3_j})^2 + (y_{2_q} - y_{3_j})^2}$ – відстань
між точками A_q та B_j ;

$\theta_{23_{qj}} = \tan^{-1} \left[\left| x_{2_q} - x_{3_j} \right| / \left| y_{2_q} - y_{3_j} \right| \right]$ – кут ази-
миту з точки A_q на точку B_j .

Визначимо припустиме порогове значення ко-
ефіцієнту придушення каналу радіозв'язку військо-
вих підрозділів системою ЗРМ як $K_{пор1}$, а необхід-
не порогове значення коефіцієнту придушення
ЗРЕП – як $K_{пор2}$. Задачу комплексу ЗРМ можна
вважати виконаною, якщо при заданих параметрах
об'єктів оперативної обстановки одночасно вико-
нуються логічні співвідношення

$$\max_q K_{12_q} \leq K_{пор1}, \quad \max_q K_{21_q} \leq K_{пор1} \quad (6)$$

$$\min_j K_{13_j} \geq K_{пор2}, \quad \min_{q,j} K_{23_{qj}} \geq K_{пор2} \quad (7)$$

Співвідношення (6) обумовлюють роботу кана-
лу радіозв'язку між КП та ТВОП у штатному режи-
мі, а корисний сигнал цього каналу радіозв'язку по-
винен бути придушеним в усіх точках можливої
траєкторії пересування повітряного ЗРЕП завдяки
співвідношенням (7). Таким чином, співвідношення
(6) та (7) можна вважати критеріями ефективності
роботи комплексу РМ.

Для обчислення оптимальних параметрів захис-
ту інформаційного обміну підрозділів НГУ, розташо-
ваних у визначеному операційному районі, розробле-
на програма комп'ютерного моделювання, інтерфейс
якої представлений на рис. 6. Центральним елемен-
том інтерфейсу програми є мапа, на якій за допомо-
гою мишки вказується розміщення об'єктів моделі.
Робота з програмою починається із завантаження з
файлу схематичного або супутникового зображення
мапи місцевості. Далі необхідно виконати операцію
калібрування, тобто обчислення масштабу мапи шля-
хом протягування маркера миші уздовж об'єкту на
мапі, довжина якого заздалегідь відома.

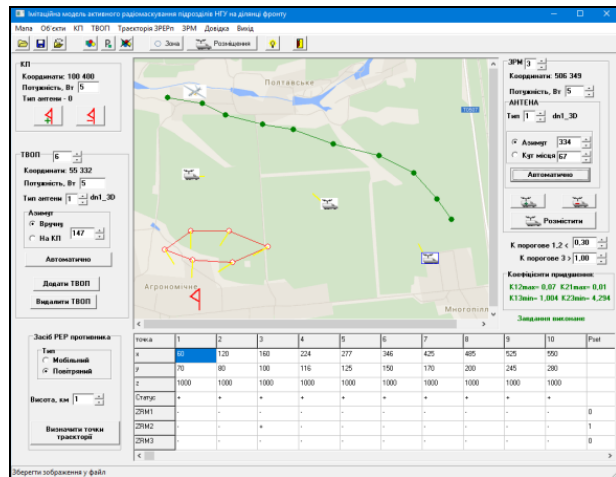


Рис. 6. Програма моделювання захисту ТВОП від
засобів повітряної розвідки

Обчислення коефіцієнтів придушення (2-5) та
аналіз стану виконання бойової задачі за співвідно-
шеннями (6-7) виконуються у інтерактивному ре-
жимі за умови визначення параметрів усіх об'єктів.

Розглянемо формулювання задач пасивного та
активного радіомаскування у термінах моделі, що
пропонується. Оскільки розташування КП та ТВОП
відноситься до параметрів оперативної обстановки і,
як правило, вважається визначеним, задачу пасивно-
го РМ можна розглядати як задачу забезпечення
виконання умов (6-7) за рахунок вибору оптималь-
них значень потужності передавача КП P_1 , множи-
ни потужностей передавачів ТВОП $\{P_{2_1}, P_{2_2}, \dots, P_{2_Q}\}$,
множини кутів орієнтації антен РЕЗ, розташованих
у ТВОП, $\{\theta_{2_1}, \theta_{2_2}, \dots, \theta_{2_Q}\}$, а також форми ДС РЕЗ,
розташованих у ТВОП, що визначається функцією
 $G_{2_q}(\theta)$. Перелічені параметри на головній формі
програми встановлюються у фреймах КП та ТВОП.

Задача активного РМ розв'язується як задача
забезпечення виконання умов (6-9) за рахунок вибо-
ру кількості РЕЗ ЗРМ (параметр N) та координат їх
розташування $Z_i(x_{4_i}, y_{4_i})$; оптимальної орієнтації
антен ЗРМ (множини $\Theta_4 = \{\theta_{4_1}, \theta_{4_2}, \dots, \theta_{4_N}\}$; опти-
мальних значень потужностей передавачів
 $P_4 = \{P_{4_1}, P_{4_2}, \dots, P_{4_N}\}$, а також форми ДС РЕЗ, що
застосовуються у ЗРМ (функція $G_{4_i}(\theta, \phi)$). Перелі-
чені параметри на головній формі програми встано-
влюються у фреймі ЗРМ.

Перемикачами «Вручну» та «Автоматично» у
розділі «Орієнтація» фреймів ПНГ та ГПП можна
змінювати режим вибору орієнтації РЕЗ цих
об'єктів. У ручному режимі кути
 $\Theta_2 = \{\theta_{2_1}, \theta_{2_2}, \dots, \theta_{2_N}\}$, $\Theta_4 = \{\theta_{4_1}, \theta_{4_2}, \dots, \theta_{4_N}\}$ та

$\phi_4 = \{\phi_{41}, \phi_{42}, \dots, \phi_{4N}\}$ визначаються за допомогою відповідних лічильників, розташованих на формі.

У автоматичному режимі кути

$\Theta_2 = \{\theta_{21}, \theta_{22}, \dots, \theta_{2Q}\}$ встановлюються такими, що

відповідають азимутам на КП з відповідних точок

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_Q\}$, а кути $\Theta_4 = \{\theta_{41}, \theta_{42}, \dots, \theta_{4N}\}$

та $\phi_4 = \{\phi_{41}, \phi_{42}, \dots, \phi_{4N}\}$ обчислюються методом координатного спуску такими, щоб забезпечити придушення максимальної кількості точок $B = \{B_1, B_2, \dots, B_M\}$.

Розраховані значення K_{12} , K_{21} , K_{13} або K_{23} , які не задовольняють умовам (6-7), виводяться на форму червоним кольором, а ті, що задовольняють - зеленим кольором. За виконання усіх умов (6-7) на форму виводиться повідомлення «Завдання виконане» зеленим кольором, у іншому випадку - повідомлення «Завдання не виконане» червоним кольором (рис. 6).

Висновки

У результаті дослідження отримала подальший розвиток імітаційна модель активного радіомаскування військових підрозділів, яка на відміну від відомих додатково враховує форму діаграми спрямованості антенних пристроїв при зміні кута місця дозволяє дослідити ступень прихованості радіообміну в усіх точках визначеного оперативного простору з урахуванням можливої траєкторії руху повітряних та наземних ЗРЕРп. Вперше визначено критерій ефективності роботи комплексу радіомаскування який вимагає одночасного виконання умов скритної радіообміну при застосування активного та пасивного радіомаскування та в якості показників використовують коефіцієнти придушення корисного сигналу у відповідних точках оперативного простору.

Програмна реалізація моделі дозволяє визначити стан прихованості каналів радіозв'язку між підрозділами НГУ у заданій бойовій ситуації та обчислити оптимальну орієнтацію ЗРМ.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ РАДИОМАСКИРОВКИ ВОЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В ОПЕРАТИВНОМ РАЙОНЕ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНЫХ СРЕДСТВ РАДИОРАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА

А.Ю. Иохов, К.Н. Ткаченко, В.Г. Малюк

Рассматривается вариант защиты от воздушных средств радиоразведки противника информационного обмена подразделений НГУ, расположенных в определенном операционном районе, путем постановки преднамеренных радиопомех специальными мобильными средствами радиомаскировки. Построена компьютерная модель взаимодействия таких средств с каналом радиосвязи между подразделениями НГУ.

Ключевые слова: радиоэлектронная маскировка, средства активной радиомаскировки, канал радиосвязи, диаграмма направленности.

COMPUTER MODEL OF ACTIVE RADIMASKING OF MILITARY DEPARTMENTS IN OPERATIONAL AREA UNDER THE CONDITIONS OF THE ACTIVITY OF ANTI-RADIO AIRWAYS

A.Yu. Iohov, K.M. Tkachenko, V.H. Maluk

The article deals with the option of protection from the enemy's air reconnaissance aircraft of the information exchange of NSU units located in a certain operational area, by staging intentional radio interference with special mobile radio masquerading means. A computer model for the interaction of such means with the radio communication channel between NGU subdivisions is constructed.

Keywords: radio-electronic masking, means of active radio-masking, radio communication channel, radiation pattern.

Напрямок подальших досліджень може бути створення методу та інформаційної технології обчислення на мапі зони розташовування ГПІ, у якій бойова задача виконується найкращим чином.

Список літератури

1. Комплекс «Леер» с беспилотным летательным аппаратом «Орлан-10». Режим доступу: <http://bastion-opk.ru/orlan-10>.
2. Integrated UAV COMINT/DF System EL/K-7071. Режим доступу: http://www.iai.co.il/sip_storage/FILES/3/27513.pdf
3. Комплекс радиоэлектронной борьбы с малоразмерными БЛА «Репеллент-1». Режим доступу: <http://foto-imir.ru/repellent-1>.
4. Вакин С. А., Шустов Л. Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М., Изд-во «Советское радио», 1968. - 448 с.
5. Куприянов, А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы [Текст]: Учеб. пособие / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. - М.: Вузовская книга, 2007. - 356 с.
6. Палий, А.И. Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) [Текст] / А.И. Палий. - М.: Воениздат, 1981. - 320 с.
7. Цветнов, В.В. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита [Текст] / В.В. Цветнов, В.П. Демин, А. И. Куприянов. - М.: Изд-во МАИ, 1999. - 240 с.
8. Аналіз впливу заходів радіомаскування на розвідувальність радіоелектронних засобів / Ю.В. Журавський, РМ., Жовноватюк, Г.Д. Носова, А.А. Завада //Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ, випуск 10, 2015. - С. 43-50
9. HFSS Ansoft. Режим доступу: <http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>
10. Оцінювання завадостійкості каналу радіозв'язку тактичної ланки управління підрозділами внутрішніх військ методом імітаційного моделювання [Текст] / О.Ю.Іохов, І. В. Кузмініч, В. Г. Малюк, О. В. Северінов //Системи управління, навігації та зв'язку, вип. 3 (27), 2013. - С. 153 – 158
11. Іохов О. Ю., Малюк В. Г., Горбов О. М. Імітаційне моделювання радіоканалів військового призначення //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України, 2015, №1(18). - С. 92-96.

Надійшла до редколегії 12.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Морозов, Національна академія Національної гвардії України. Харків.