

В.Й. Климченко, С.В. Кукобко, В.О. Тютюнник, Г.В. Рибалка

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ МАЛОПОТУЖНИХ НАЗЕМНИХ ПЕРЕДАВАЧІВ АКТИВНИХ ШУМОВИХ ПЕРЕШКОД ДЛЯ ІМІТАЦІЇ ПЕРЕШКОДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ОГЛЯДОВИМ РАДІОЛОКАЦІЙНИМ СТАНЦІЯМ

*Аналізуються можливості імітації перешкодової обстановки в угрупованнях протиповітряної оборони з використанням спеціальних наземних малопотужних передавачів активних шумових перешкод. Визначені припустимі межі щодо місць встановлення наземних малопотужних передавачів відносно точок стояння РЛС метрового і сантиметрового діапазонів хвиль. Встановлено зв'язок між енергетичними параметрами реальних постановників активних шумових перешкод і наземних малопотужних передавачів з урахуванням впливу підстильної поверхні. Наведена методика використання наземних малопотужних передавачів перешкод для імітації дії реальних постановників активних шумових перешкод на РЛС різних діапазонів хвиль.*

**Ключові слова:** малопотужні наземні передавачі перешкод, радіолокаційні станції, активні шумові перешкоди, спектральна густина потужності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз ходу локальних війн і збройних конфліктів останніх десятиліть показує, що радіоелектронне подавлення (РЕП) є невід'ємною частиною забезпечення бойових дій авіації [1–5]. Радіолокаційні станції (РЛС) контролю повітряного простору, як джерела інформації про повітряну обстановку в системі управління військами та зброєю, є об'єктом першочергового впливу радіоперешкод. Традиційними засобами постановки перешкод є спеціальні літаки радіоелектронної боротьби (РЕБ) та апаратура постановки перешкод, яка встановлюється на літаках зі складу ударних груп. Розвиток та мініатюризація елементної бази обумовило можливості використання малопотужних мініатюрних передавачів перешкод, які доставляються в райони розташування РЛС для подавлення їхньої роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перші спроби використання таких малопотужних передавачів перешкод, що закидаються, (МППЗ) були здійснені армією США в 80-х роках за допомогою передавача перешкод ХМ869, який доставлявся в потрібний район 155-мм артилерійським снарядом [6]. З тих пір використання МППЗ стало надзвичайно поширеним [4–5; 7]. Означені засоби можуть бути використані також для створення необхідної радіоелектронної обстановки в угрупованнях протиповітряної оборони (ППО) при проведенні навчань та тренувань. Перші роботи з використання МППЗ для оцінювання зон виявлення цілей РЛС за умов дії перешкод були проведені в ВІРТА ППО [8]. Але широкого застосування такі заходи не набули через відсутність спеціалізованих для цих цілей передавачів. Використовувались лише епізодично супутні

засоби вітчизняного та іноземного виробництва [9–10]. На сьогодні гостро постало питання щодо розробки таких засобів, визначення їхніх основних характеристик та методики їх використання.

**Метою статті** є розробка методики визначення основних параметрів малопотужних наземних передавачів перешкод (МНПП), які б впливали на роботу РЛС так само, як і реальні постановники активних шумових перешкод (АШП).

### Виклад основного матеріалу

**1. Способи подавлення оглядових РЛС активними шумовими перешкодами та їх вплив на параметри зони виявлення.**

Оцінювання захищеності РЛС від АШП необхідно здійснювати в обстановці, яка б відповідала реальним умовам застосування РЛС. За досвідом бойових дій авіації в локальних війнах та збройних конфліктах використовуються три основні способи застосування бортових засобів постановки АШП при прориві систем ППО [11–12]: колективне прикриття, групове прикриття і самоприкриття (рис. 1). Колективне прикриття (рис. 1, а) використовується для приховування напрямку прориву системи ППО. В цьому випадку АШП створюються потужними бортовими комплексами спеціальних літаків РЕБ, які перебувають в зонах баражування поза межами досягнення вогневих засобів противника. Спектральна густина потужності випромінюваних спеціальними літаками РЕБ перешкод може сягати до 0,1...10 кВт/МГц. Колективне прикриття означає подавлення не окремо взятої РЛС, а всієї системи радіолокаційної розвідки на певному напрямку. Тому АШП випромінюються, як правило, для усіх РЛС в діапазонах їхньої роботи. Ефект подавлення назе-

мних РЛС досягається за рахунок впливу АШП по бічних пелюстках діаграм направленості антен (ДНА) РЛС і оцінюється ступенем стиснення зони виявлення цілей при дії АШП по бічних пелюстках ДНА кожної РЛС.

Характерною особливістю цього способу постановки АШП є те, що просторове положення постановника активних шумових перешкод (ПАП) відносно засобів, що подавляються, змінюється мало. Наприклад, при польоті ПАП на висоті 10 км в зоні баражування розміром 50×100 км та відстані від РЛС 200...250 км кутові координати і відстань змінюються в незначних межах. Незмінною залишається і густина потоку потужності АШП, яка створюється ПАП в точці стояння РЛС.

Групове прикриття (рис. 1, б) використовується для приховування дії окремих груп авіації противника. ПАП в цьому випадку перебуває у складі групи. Це також може бути спеціальний літак РЕБ, але зі значно меншими спроможностями щодо створення АШП. Тому ефект подавлення РЛС досягається тільки за умов дії АШП по головному променю

ДНА РЛС і оцінюється шириною сектора ефективного подавлення РЛС. Бойовий порядок групи літаків формується так, щоб його кутові розміри відносно РЛС, що подавляється, не перевищували сектор ефективного подавлення. Просторові координати ПАП та густина потоку потужності АШП, створювана таким ПАП в точці стояння РЛС, швидко змінюються в значних межах.

Самоприкриття (рис. 1, в) використовується для самостійного приховування дії кожним окремим літаком. Оскільки можливості літаків тактичної авіації щодо створення АШП є значно меншими, ніж можливості спеціальних літаків РЕБ, то ефект подавлення РЛС досягається тільки за умов дії АШП по головному променю ДНА РЛС і тільки до певної дальності, ближче якої ціль уже може спостерігатися на фоні АШП, які вона створює. Цією дальністю, яка називається дальністю самоприкриття, й оцінюється ефект впливу АШП на РЛС. Просторові координати ПАП та густина потоку потужності АШП за такого способу постановки АШП також змінюються швидко і в значних межах.

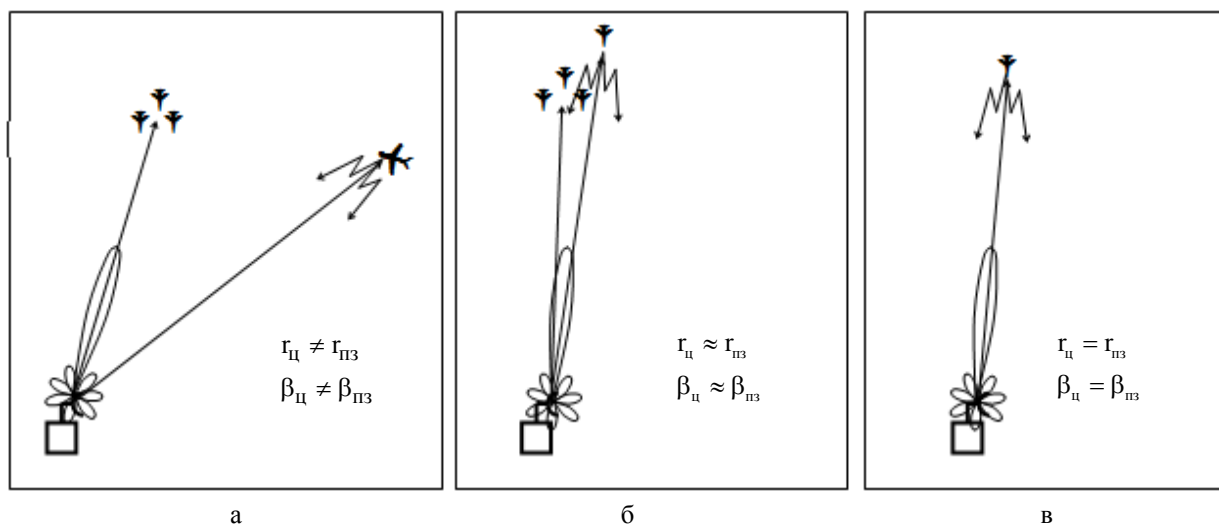


Рис. 1. Способи бойового застосування літакових засобів радіоелектронного подавлення РЛС: а – колективне прикриття; б – групове прикриття; в – індивідуальне прикриття

Отже, із аналізу способів бойового застосування літакових засобів радіоелектронного подавлення РЛС випливає, що за допомогою МНПП можна імітувати дію реальних ПАП лише в режимі колективного прикриття, коли просторове положення реального ПАП відносно точки стояння РЛС залишається майже незмінним.

При цьому необхідно вирішити два основних питання: визначити місце встановлення методики визначення основних параметрів малопотужних наземних передавачів перешкод та розрахувати їх енергетичні параметри.

## 2. Визначення місця встановлення малопотужних наземних передавачів перешкод.

Виходячи з міркувань простоти технічної реалізації використання МНПП, їх необхідно було б встановлювати якомога ближче до РЛС. Проте існують певні теоретичні обмеження щодо розташування МНПП, пов'язані з особливостями формування ДНА у вільному просторі і над поверхнею землі.

При розрахунках поля, створюваного антенами у відкритому просторі, в теорії антен [13–16] оперують двома зонами формування електромагнітного поля: ближня зона (зона Френеля) і дальня зона (зо-

на Фраунгофера). Межею поділу зон [13; 14] є виконання умови:

$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda}, \quad (1)$$

де  $d$  – більший із лінійних розмірів антени;

$\lambda$  – довжина хвилі електромагнітних коливань.

Цілком очевидно, що врахування направлених властивостей антени можливе при встановленні МНПП на відстані не менше (1) від РЛС.

При розташуванні МНПП для РЛС сантиметрового діапазону хвиль (РЛС 35Д6) з урахуванням обмеження (1) при  $d=5$  м і  $\lambda=0,1$  м мінімально припустиме віддалення МНПП становить

$$r_{\min} \geq \left( \frac{2d^2}{\lambda} \right) \approx 500 \text{ м.}$$

В метровому діапазоні хвиль врахування умови (1) недостатньо, оскільки на формування ДНА РЛС у вертикальній площині суттєво впливає поверхня землі, і на певній відстані від РЛС формується сукупна ДНА, яка являє собою добуток ДНА у вільному просторі і множника землі.

Тому, щоб виключити вплив поверхні землі на формування ДНА РЛС, МНПП необхідно встановлювати, не виходячи за межі площадки, яка суттєво впливає на формування ДНА. Розмір означеної площадки визначається, в основному, першою зоною Френеля [13–14]. Для випадку, коли висота встановлення фазового центра антени над поверхнею землі значно менше висоти польоту цілі  $h_a \ll h_{ц}$ , розмір великої (поздовжньої) півосі першої зони Френеля  $a_1$  та відстань центра еліпса зони від точки стояння РЛС  $x_{01}$  визначаються співвідношеннями [17]:

$$a_1 = \frac{1}{\sin \varepsilon} \sqrt{\frac{\lambda \cdot h_a}{\sin \varepsilon} \left( 1 + \frac{\lambda}{4h_a \sin \varepsilon} \right)}; \quad (2)$$

$$x_{01} = \frac{h_a}{\operatorname{tg} \varepsilon} \left( 1 + \frac{\lambda}{2h_a \sin \varepsilon} \right), \quad (3)$$

де  $\lambda$  – довжина електромагнітних хвиль;

$\varepsilon$  – кут місця спостереження.

Тобто в метровому діапазоні наземний передавач АШП має бути встановлений в межах

$$\frac{2d^2}{\lambda} \leq r \leq a_1 + x_{01}. \quad (4)$$

Для РЛС метрового діапазону хвиль (РЛС П-18 “Малахіт”) при  $d=15$  м,  $\lambda=1,9$  м,  $h_a=6$  м і типовому значенні кута місця ПАП  $\varepsilon=2,2^\circ$  МНПП за умовою (4) має бути встановлений в межах від 240...1430 м.

Отже, для РЛС сантиметрового діапазону місце встановлення МНПП визначається умовою (1), а для РЛС метрового діапазону умовою (4).

### 3. Енергетичні співвідношення при дії на РЛС реальних ПАП і МНПП.

При визначенні енергетичних параметрів МНПП завдання полягає в тому, щоб за допомогою МНПП, розташованих на вибраній у відповідності з (1) або (4) відстані від РЛС, створити таку саму перешкодову обстановку, яку створюють реальні ПАП. При цьому необхідно враховувати різницю в розташуванні реального ПАП і МНПП, який його імітує, відносно РЛС. Типовий ПАП здійснює політ на висоті 10 км в зоні баражування, яка знаходиться на відстані приблизно 200 км від РЛС. Кутomisцеве положення ПАП в цьому випадку становить приблизно  $2,2^\circ$ , а імітатор знаходиться на земній поверхні на відстані приблизно 1 км від РЛС (рис. 2, 3), і його кутomisцеве положення відносно фазового центра антени буде мати переважно від’ємне значення.

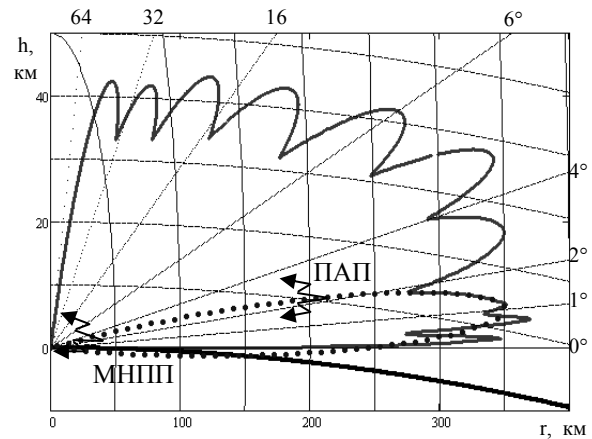


Рис. 2. Вплив реального ПАП і МНПП на РЛС сантиметрового діапазону хвиль

Різний характер впливу земної поверхні на формування ДНА в сантиметровому і метровому діапазонах призводить до певних особливостей при розрахунках енергетичних параметрів МНПП.

В сантиметровому діапазоні впливом поверхні землі можна знехтувати, і при розрахунках енергетичних параметрів МНПП оперувати ДНА у вільному просторі, як для МНПП, так і для реального ПАП, враховуючи їх просторове положення (рис. 2).

В метровому діапазоні (рис. 3) необхідно брати до уваги те, що малопотужні наземні передавачі перешкод знаходяться в межах площадки, яка суттєво впливає на формування ДНА, і через це сукупна ДНА за участю землі ще не сформувалась, а реальний ПАП знаходиться далеко за межами означеної площадки, тобто в зоні дії сукупної ДНА за участю землі.

Це означає, що при розрахунках енергетичних параметрів МНПП необхідно враховувати ДНА у

вільному просторі, а для реального ПАП враховувати сукупну ДНА за участю землі.

Отже, в сантиметровому діапазоні потужність перерахованих на вхід приймального пристрою АШП, створюваних реальним ПАП ( $P_{вхПАП}$ ) і МНПП ( $P_{вхМНПП}$ ), буде визначатися співвідношеннями:

$$P_{вхПАП} = \frac{P_{ПАП} G_{ПАП} \Delta f_{пр}}{\Delta f_{ПАП} 4\pi \cdot r_{ПАП}^2} \cdot A_{эф} F_0^2 (\epsilon_{ПАП} - \epsilon_n); \quad (5)$$

$$P_{вхМНПП} = \frac{P_{МНПП} G_{МНПП} \Delta f_{пр}}{\Delta f_{МНПП} 4\pi \cdot r_{МНПП}^2} \cdot A_{эф} F_0^2 (\epsilon_{МНПП} - \epsilon_n); \quad (6)$$

де  $P_{ПАП}$ ,  $P_{МНПП}$  – потужність передавачів АШП реального ПАП і МНПП;

$G_{ПАП}$ ,  $G_{МНПП}$  – коефіцієнт підсилення антен реального ПАП і МНПП;

$\Delta f_{ПАП}$ ,  $\Delta f_{МНПП}$  – ширина спектра АШП реального ПАП і МНПП;

$\Delta f_{пр}$  – смуга пропускання приймача РЛС;

$r_{ПАП}$ ,  $r_{МНПП}$  – дальність до ПАП і МНПП;

$A_{эф}$  – ефективна площа антени РЛС;

$F_0(\epsilon_{ПАП} - \epsilon_n)$ ,  $F_0(\epsilon_{МНПП} - \epsilon_n)$  – значення ДНА у вільному просторі в напрямках на ПАП і на МНПП;

$\epsilon_n$  – кут нахилу максимуму ДНА відносно горизонтальної площини.

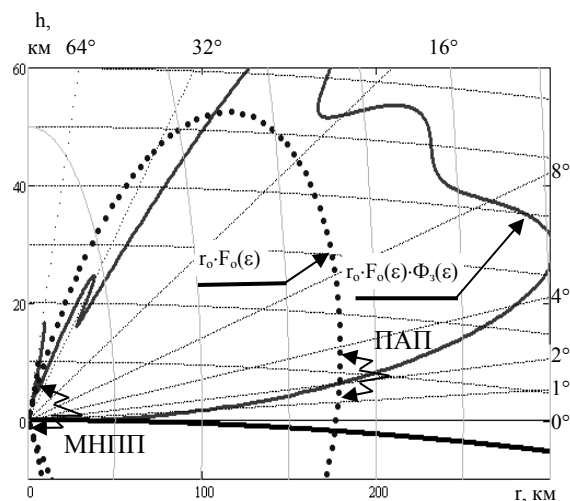


Рис. 3. Вплив реального ПАП і МНПП на РЛС метрового діапазону хвиль

Параметри МНПП необхідно підібрати так, щоб виконувалась умова:

$$P_{вхМНПП} = P_{вхПАП} \cdot \quad (7)$$

З рівності (7) з урахуванням (5) та (6) впливає зв'язок між енергетичними параметрами МНПП і ПАП для РЛС сантиметрового діапазону:

$$\frac{P_{МНПП} G_{МНПП}}{\Delta f_{МНПП}} = \frac{P_{ПАП} G_{ПАП} r_{МНПП}^2 F_0^2 (\epsilon_{МНПП} - \epsilon_n)}{\Delta f_{ПАП} r_{ПАП}^2 F_0^2 (\epsilon_{ПАП} - \epsilon_n)} \quad (8)$$

В метровому діапазоні потужність перерахованих на вхід приймального пристрою АШП, створюваних МНПП ( $P_{вхМНПП}$ ), буде визначатися співвідношенням (6). На величину  $P_{вхПАП}$  буде додатково впливати множник Землі:

$$P_{вхПАП} = \frac{P_{ПАП} G_{ПАП} \Delta f_{пр}}{\Delta f_{ПАП} 4\pi \cdot r_{ПАП}^2} A_{эф} F_0^2 \cdot (\epsilon_{ПАП} - \epsilon_n) \Phi_3^2 (\epsilon_{ПАП} - \epsilon_3); \quad (9)$$

де  $\Phi_3(\epsilon_{ПАП} - \epsilon_3)$  – значення множника Землі під кутом місця  $\epsilon_{ПАП}$ ;

$\epsilon_3$  – кут закриття в напрямку на ПАП.

Отже, з урахуванням (6–7) та (9) зв'язок між енергетичними параметрами МНПП і ПАП для РЛС метрового діапазону буде визначатись співвідношенням:

$$\frac{P_{МНПП} G_{МНПП}}{\Delta f_{МНПП}} = \frac{P_{ПАП} G_{ПАП} r_{МНПП}^2 F_0^2 (\epsilon_{МНПП} - \epsilon_n)}{\Delta f_{ПАП} r_{ПАП}^2 F_0^2 (\epsilon_{ПАП} - \epsilon_n) \Phi_3^2 (\epsilon_{ПАП} - \epsilon_3)} \quad (10)$$

Особливості формування ДНА в метровому діапазоні впливають також і на методику використання МНПП для імітації реальних ПАП, через що означені методики доцільно розглянути окремо для РЛС сантиметрового і метрового діапазонів хвиль.

#### 4. Методика використання МНПП для імітації перешкодової обстановки для РЛС сантиметрового діапазону хвиль.

Перш за все необхідно визначитися з дальністю до центра зони баражування ( $r_{ПАП}$ ) і висотою польоту ПАП ( $h_{ПАП}$ ), який буде імітуватися, та енергетичними параметрами його бортового передавача ( $P_{ПАП}$ ,  $G_{ПАП}$ ,  $\Delta f_{ПАП}$ ). Крім того, повинні бути відомими й паспортні значення енергетичних параметрів МНПП ( $P_{МНПП}$ ,  $G_{МНПП}$ ,  $\Delta f_{МНПП}$ ).

Другим кроком є визначення кута місця ПАП, який з урахуванням нормальної рефракції та кривизни Землі розраховується за співвідношенням:

$$\varepsilon_{\text{ПАП}} = \arcsin \left( \frac{h_{\text{ПАП}} - \frac{r_{\text{ПАП}}^2}{2R_{\text{зе}}}}{r_{\text{ПАП}}} \right), \quad (11)$$

де  $R_{\text{зе}} = 8470$  км – еквівалентний радіус Землі.

Подальші дії залежать від того, регулюється потужність МНПП чи ні.

Якщо потужність МНПП регулюється, то він встановлюється в зручному для розташування місці на відстані  $r_{\text{МНПП}}$  з обов'язковим виконанням вимоги (1), після чого обчислюється його кутomisцеве положення відносно фазового центра антени РЛС:

$$\varepsilon_{\text{МНПП}} = \arctg \left( \frac{h_{\text{МНПП}} - h_a}{r_{\text{МНПП}}} \right), \quad (12)$$

де  $h_{\text{МНПП}}$  – висота встановлення МНПП.

За обчисленими значеннями  $\varepsilon_{\text{ПАП}}$  і  $\varepsilon_{\text{МНПП}}$  визначають, використовуючи формулярні дані про ДНА у вільному просторі  $F_0(\varepsilon)$  і про нахил антени  $\varepsilon_n$ , величини  $F_0(\varepsilon_{\text{ПАП}} - \varepsilon_n)$  і  $F_0(\varepsilon_{\text{МНПП}} - \varepsilon_n)$ . Після чого за відношенням (8) визначають потрібне значення  $R_{\text{МНПП}}$  і встановлюють його відповідним регулюванням.

У випадку нерегульованої потужності МНПП спочатку перевіряється умова, чи достатньо його потужності, щоби, перебуваючи в дальній зоні, імітувати дії реального ПАП.

Для цього за формулами (11–12) обчислюють кути і потім за формулою (8) обчислюється значення  $R_{\text{МНПП}}$  при  $r_{\text{МНПП}} = \frac{2d^2}{\lambda}$ .

Якщо отримане значення перевищує паспортні дані МНПП, то він для імітації непридатний. В противному разі ітераційним способом підбирається положення МНПП так, щоб виконувалось рівняння (8). При цьому на кожній ітерації необхідно обчислювати  $\varepsilon_{\text{МНПП}}$  і  $F_0(\varepsilon_{\text{МНПП}} - \varepsilon_n)$ .

### 5. Методика використання МНПП для імітації перешкодової обстановки для РЛС метрового діапазону хвиль.

Використання МНПП для РЛС метрового діапазону хвиль має певні відмінності, які пов'язані з особливостями вертикальної ДНА РЛС у вільному просторі  $F_0(\varepsilon)$  і наявністю множника Землі  $\Phi_3(\varepsilon)$  в формулі (9).

Дійсно, ДНА у вільному просторі  $F_0(\varepsilon)$  в РЛС метрового діапазону (рис. 3, пунктирна крива) має в кутomisцевій площині ширину на рівні половинної потужності в кілька десятків градусів ( $30^\circ \dots 40^\circ$ ), а її максимум спрямований над лінією горизонту всього

лиш на одиниці градусів ( $3^\circ \dots 4^\circ$ ). Це означає, що в межах кутів місця  $0^\circ \dots 8^\circ$   $F_0(\varepsilon) \approx 1$ . З урахуванням цього вираз (10), який описує зв'язок між енергетичними параметрами МНПП і ПАП для РЛС метрового діапазону, може бути поданий у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{R_{\text{МНПП}} G_{\text{МНПП}}}{\Delta f_{\text{МНПП}}} &= \\ &= \frac{R_{\text{ПАП}} G_{\text{ПАП}} r_{\text{МНПП}}^2}{\Delta f_{\text{ПАП}} r_{\text{ПАП}}^2 \Phi_3^2(\varepsilon_{\text{ПАП}} - \varepsilon_3)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Множник Землі  $\Phi_3(\varepsilon)$  за ідеальної відбиваючої поверхні і ненаправленій ДНА у вільному просторі описується таким рівнянням [17]:

$$\Phi_3(\varepsilon) = 2 \cdot \sin \left( 2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin(\varepsilon - \varepsilon_3) \right), \quad (14)$$

яке є справедливим для усіх кутів місця. Реально в метровому діапазоні хвиль при розташуванні РЛС на місцевості з дрібним рослинним покриттям нижня крайка множника Землі до першого інтерференційного максимуму може бути приблизно описана наступним рівнянням [17]:

$$\Phi_3(\varepsilon) = 0,2 + 1,6 \cdot \sin \left( 2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin(\varepsilon - \varepsilon_3) \right). \quad (15)$$

Саме цим виразом і необхідно користуватись при визначенні множника  $\Phi_3^2(\varepsilon_{\text{ПАП}} - \varepsilon_3)$  в рівнянні (13). В решті питань методика використання МНПП для РЛС метрового діапазону є аналогічна розглянутій вище.

## Висновки

Створення необхідної перешкодової обстановки в угрупованнях ППО при проведенні навчань і тренувань з використанням реальних засобів постановки АШП є досить складним і витратним заходом. Для реалізації альтернативного способу розроблена методика використання МНПП, які імітують перешкодову обстановку таким чином, що створюють ефект подавлення роботи РЛС, аналогічний дії реальних ПАП.

Запропонована методика використання МНПП для імітації перешкодової обстановки поширюється лише на режим колективного прикриття, коли просторове положення ПАП відносно місця розташування РЛС залишається майже незмінним.

Основними питаннями, які вирішує запропонована методика використання МНПП у якості імітаторів реальних ПАП, є визначення місця встановлення МНПП відносно РЛС та їхніх енергетичних характеристик. При використанні МНПП для подавлення РЛС сантиметрового діапазону хвиль вони можуть бути встановлені на позиції РЛС в будь-якій точці за межами ближньої зони. Для РЛС метрового діапазону хвиль точка встановлення МНПП також

має бути розташована в дальній зоні, але не виходячи за межі площадки, яка суттєво впливає на формування ДНА РЛС. При розрахунках енергетичних параметрів МНПП для РЛС сантиметрового діапазону хвиль впливом земної поверхні можна знехтувати і

враховувати тільки форму ДНА у вільному просторі. При розрахунках енергетичних параметрів МНПП для РЛС метрового діапазону навіпаки: формою ДНА у вільному просторі можна знехтувати, а врахування множника Землі є обов'язковим.

## Список літератури

1. Радиоэлектронная борьба в войнах и вооруженных конфликтах / А.И. Палий, В.Н. Гордиенко, И.В. Филиппов [и др.]; под ред. И.В. Филиппова. – М.: Изд. “ВАГШ”, 2007. – 357 с.
2. Перунов Ю.М. Зарубежные радиоэлектронные средства. Системы радиоэлектронной борьбы / Ю.М. Перунов, В.В. Мацукевич, А.А. Васильев; под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2010. – 352 с.
3. Дрожжин А. Воздушные войны в Ираке и Югославии / А. Дрожжин, Е. Алтухов. – М.: Техника молодежи, 2002. – 215 с.
4. Приступок И. Устоять под ударами ВТО / И. Приступок // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 4. – С. 64-68.
5. Підвищення ролі радіоелектронної боротьби за досвідом локальних війн / Я.М. Кожушко, Г.В. Мегельбей, А.І. Резниченко, Ю.А. Олійник // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2012. – № 3(32). – С. 79-81.
6. Афинов В. Состояние и перспективы развития средств РЭБ армии США / В. Афинов // Зарубежное военное обозрение. – 1989. – № 5. – С. 27-29.
7. Житковский В.Д. Концепция создания перспективных радиотехнических средств для вооруженных сил РФ / В.Д. Житковский, В.А. Яцкевич // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – 2007. – № 1(2). – С. 106-108.
8. Литвинов В.В. Обзор работ ВИРТА ПВО по безоблетному контролю зон обнаружения РЛС / В.В. Литвинов, В.Ф. Зюкин, М.Р. Арасланов // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – №4. – С. 469-476.
9. Грызо А.А. Анализ опыта построения имитационных комплексов / А.А. Грызо, Д.А. Гриб, С.П. Лещенко // Системи обробки інформації. – 2006. – № 5(54). – С. 17-24.
10. Белавин А.В. Требования к удалению имитаторов активных помех при полигонных испытаниях РЛС / А.В. Белавин, В.Ф. Зюкин, Д.Ю. Свистунов // Системи обробки інформації. – 2013. – №1(108). – С. 56-60.
11. Куприянов А.И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 354 с.
12. Справочник офицера воздушно-космической обороны / под ред. С.К. Бурмистрова. – Тверь: ВА ВКО, 2006. – 564 с.
13. Справочник по антенной технике: в пяти томах. Т. 1 / под ред. Л.Д. Бахраха. – М.: Радиотехника, 1997. – Т. 1 – 257 с.
14. Корниенко Л.Г. Теория и техника излучающих и направляющих систем СВЧ / Л.Г. Корниенко. – Х.: ХВУ, 1994. – 624 с.
15. Barton D. K. Radar System Analysis and Modeling / D. K. Barton. – Boston-London: Artech House, 2005. – 547 p.
16. Шифрин Я. С. Вопросы статистической теории антенн / Я. С. Шифрин. – М.: Сов. Радио, 1970. – 384 с.
17. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Сов. Радио, 1972. – 464 с.

## References

1. Palij, A.I., Ghordyenko, V.N. and Fylyppov, Y.V. (2007), “Radioelektronnaya borba v vojnah i vooruzhennykh konfliktakh” [A radio electronic fight is in wars and armed conflicts], Military academy of the General staff, Moscow, 357 p.
2. Perunov, Yu.M., Macukevych, V.V. and Vasylyj'ev, A.A. (2010), “Zarubezhnye radioelektronnye sredstva. Sistemy radioelektronnoj borby” [Foreign radio electronic facilities. Systems of radio electronic fight], Radiotekhnika, Moscow, 352 p.
3. Drozhzhin, A. and Altuhov, E. (2002), “Vozdushnye vojny v Irake i Jugoslavii” [Air wars are in Iraq and Yugoslavia], Technique of young people, 215 p.
4. Pristupyuk, I. (2009), “Ustoyat pod udarami VTO” [To withstand under the shots of High-precision weapons ], *The Foreign military review*, No.4, pp. 64-68.
5. Kozhushko, Ya.M., Megheljbej, Gh.V., Reznichenko, A.I. and Olijnyk, Ju.A. (2012), “Pidvishennya roli radioelektronnoyi borotbi za dosvidom lokalnih vijn” [An increase of role of radio electronic fight is after experience of local wars], *Scientific Works of Kharkiv Air Force University*, No. 3(32), pp.79-81.
6. Afinov, V. (1989), “Sostoyanie i perspektivy razvitiya sredstv REB armii SshA” [State and prospects of development of facilities of REB of army of the USA], *The Foreign military review*, No. 5, pp. 27-29.
7. Zhitkovskij, V.D. and Jacekvyeh, V.A. (2007), “Konceptiya sozdaniya perspektivnykh radiotekhnicheskikh sredstv dlya vooruzhen-nyh sil RF” [Conception of creation of perspective radio engineering facilities for military powers of Russian Federation], *Systems and communication, television and broadcast means*, No. 1 (2), pp. 106-108.
8. Litvinov, V.V., Zjukyn, V.F. and Araslanov, M.R. (2009), “Obzor rabot VIRTA PVO po bezobletnomu kontrolyu zon obnaruzheniya RLS” [Review of works of VIRTA PVO on nofly control of areas of discovery RLS], *Applied radio electronics*, No. 4, pp. 469-476.
9. Hryzo, A.A., Hryb, D.A. and Leshchenko, S.P. (2006), “Analyz opyta postroyeniya ymytatsyonykh kompleksov” [Analysis of experience in building simulation systems], *Information Processing Systems*, No. 5(54), pp. 17-24.

10. Ziukyn, V.F., Svystunov, D.Yu. and Belavyn, A.V. (2013), "Требования к удалению умытаторов активных помех при полигонных испытаниях РЛС" [Requirements for the removal of active interference simulators in field tests of radar], *Information Processing Systems*, No. 1(108), pp. 56-60.
11. Kupriyanov, A.I. and Sakharov, A.V. (2007), "Теоретические основы радиоэлектронной борьбы" [Theoretical bases of radio electronic fight], Vuzovskaya kniga, Moscow, 354 p.
12. Burmistrov, S.K. (2006), "Справочник офицера воздушно-космической обороны" [Reference book of officer of aerospace defensive], Tver, 564 p.
13. Bahrah, L.D. (1997), "Справочник по антенной технике" [Reference book on an aerial technique], Radiotekhnika, Moscow, Vol. 1, 257 p.
14. Kornienko, L.G. (1994), "Теория и техника излучающих и направляющих систем СВЧ" [Theory and technician of the radiative and sending systems ultra-high frequency], KAFU, Kharkiv, 624 p.
15. Barton, D.K. (2005), *Radar Sistem Analysis and Modeling*, Artech House, Boston-London, 547 p.
16. Shifrin, Ya.S. (1970), "Вопросы статистической теории антенн" [Questions of statistical theory of aeriels], Sovradio, Moscow, 384 p.
17. Chernyj, F.B. (1972), "Распространение радиоволн" [Distribution of radio waves], Sovradio, Moscow, 464 p.

Надійшла до редколегії 6.11.2018

Схвалена до друку 11.12.2018

#### Відомості про авторів:

##### **Климченко Василь Йонович**

кандидат технічних наук доцент  
провідний науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

##### **Кукобко Сергій Вікторович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідного відділу  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6289-4458>

##### **Тютюнник Владислав Олександрович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідного відділу  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

##### **Рибалка Григорій Валерійович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9359-7982>

#### Information about the authors:

##### **Vasyl Klimchenko**

Candidate of Technical Sciences  
Associate Professor  
Lead Researcher  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

##### **Serhiy Kukobko**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research  
Chief of Scientific  
Research Department of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6289-4458>

##### **Vladyslav Tiutiunyk**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research  
Chief of Scientific  
Research Department of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

##### **Hryghorii Ribalka**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research  
Senior Research  
Associate of Ivan Kozhedub  
Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9359-7982>

### **МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОМОЩНЫХ НАЗЕМНЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ ОБЗОРНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СТАНЦИЯМ**

В.И. Климченко, С.В. Кукобко, В.А. Тютюнник, Г.В. Рибалка

Анализируются варианты имитации помеховой обстановки в группировках противовоздушной обороны с использованием специальных наземных малоомощных передатчиков активных шумовых помех. Определены допустимые

пределы размещения наземных маломощных передатчиков относительно точек стояния РЛС метрового и сантиметрового диапазонов волн. Установлена связь между энергетическими параметрами реальных постановщиков помех и наземных маломощных передатчиков с учетом влияния подстилающей поверхности. Приведена методика использования наземных маломощных передатчиков помех для имитации действия реальных постановщиков помех на РЛС разных диапазонов волн.

**Ключевые слова:** маломощные наземные передатчики помех, радиолокационные станции, активные шумовые помехи, спектральная плотность мощности.

#### PROCEDURE OF THE USE GROUND-BASED LOW POWER JAMMER TRANSMITTERS FOR SIMULATION OF JAMMING ENVIRONMENT FOR SURVEILLANCE RADARS

V. Klimchenko, S. Kukobko, V. Tiutiunnyk, H. Ribalka

*To creation of the real jamming environment for air defense groups needs to use special aircrafts or helicopters, which have powerful jammer transmitters airborne equipment and fly on required track. To create one needs significant financing cost, which depend of cost of aircraft, its maintenance and usage. In this connection the search for other solutions to create of jamming environment by use of special means for imitation of action of real jammers is actual task. Variants of creation of the real jamming environment for air defense groups with the use of the special ground-based low power jammer transmitters are analyzed in article. The limits to place of ground-based low power jammer transmitters relative to placing of radars for meter and centimeter band are defined. It is found out that ground-based low power imitator of jammer for radar of centimeters wave band can be set in any location outside near-field zone of radar antenna, but for radar of meters wave band ground-based low power imitator of jammer have to set both outside near-field zone of radar antenna and into ground zone, which significantly influence on the formation of the antenna diagram. Relation between energy parameters of real jammers and ground-based low power jammer transmitters, which take into account influence of ground, was set. It is found out that for radar of meters wave band the antenna pattern can be ignored and take into account influence of ground only, but that is otherwise for radar of centimeters wave band. Procedures of the use of ground-based low power jammer transmitters with both adjustable and nonadjustable parameters for imitation of action of real jammers on the radars of centimeters and meters wave band are shown.*

**Keywords:** ground-based low power jammer transmitters, radars, jammers, power spectrum density.