

к.т.н. Гурський Т.Г. (ВІТІ)  
д.т.н. Сова О.Я. (ВІТІ)  
Гриценко К.М. (ВІТІ)  
Гай Ю.І. (ГУЗІС ГШ ЗСУ)

## АНАЛІЗ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ РАДІОМЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОВІТРЯНИХ РЕТРАНСЛЯТОРІВ В УМОВАХ НАВМИСНИХ ШУМОВИХ ЗАВАД

*Проведено розрахунки очікуваних рівнів корисного сигналу з ППРЧ та шумової загороджувальної завади на входах приймачів наземної радіостанції та повітряного (на борту БЛА) ретранслятора при постановці завад наземними та повітряними (з БЛА) засобами радіоелектронної боротьби. Визначено напрямки підвищення завадозахищеності радіомереж з повітряними ретрансляторами.*

*Гурський Т.Г., Сова О.Я., Гриценко К.М., Гай Ю.І. Анализ помехозащищенности радиосетей с использованием воздушных ретрансляторов в условиях шумовых помех. Проведены расчеты ожидаемых уровней полезного сигнала с ППРЧ и шумовой заградительной помехи на входах приемников наземной радиостанции и воздушного (на борту БЛА) ретранслятора при постановке помех наземными и воздушными (с БЛА) средствами радиоэлектронной борьбы. Определены направления повышения помехозащищенности радиосетей с воздушными ретрансляторами.*

*T.Hurskyi, O.Sova, K.Gritsenok, Y.Hai Analysis of anti-jammingness of radio networks using air repeaters in the conditions of jamming by noise interference. The calculations of the expected levels of the useful FHSS signal and the noise barrier interference at the entrances of the receivers of the terrestrial radio and the airborne (aboard the UAV) repeater during jamming from ground and airborne (from UAV) means of electronic warfare have been performed. The directions of increase of anti-jammingness of radio networks, using air repeaters, are determined.*

**Ключові слова:** повітряний ретранслятор, наземна радіостанція, постановник завад, шумова загороджувальна завада, енергетична перевага, завадозахищеність.

**Вступ.** Сучасні тенденції ведення бойових дій, що підтверджується і досвідом Операції об'єднаних сил (ООС), передбачають широке застосування малогабаритних безпілотних літальних апаратів (БЛА), квадрокоптерів тощо. В першу чергу, вони широко застосовуються для ведення розвідки. У той же час, розміщення ретрансляторів на борту БЛА є перспективним напрямком підвищення ефективності систем радіозв'язку [1, 2]. Воно дозволяє значно збільшити зону покриття ретранслятора, підвищити зв'язність радіомережі, забезпечити роботу зі зниженими значеннями потужності передавачів за рахунок забезпечення прямої радіовидимості між ретранслятором та практично усіма радіостанціями в мережі. Крім цього, в останні десятиріччя відстежується тенденція розвитку безпілотних літальних апаратів радіоелектронної боротьби (РЕБ) [3, 4]. До них, наприклад, можна віднести комплекси „Мошкара” та „Мошкарець” (РФ), MQ-9 та ADM-160 MALD (США). Очевидно, що постановники завад з БЛА можуть значно підвищити ефективність радіоелектронного подавлення систем радіозв'язку.

**Аналіз останніх публікацій.** В літературі широко висвітлені питання, присвячені бойовому застосуванню розвідувальних та ударних БЛА [5 – 10] та протидії ним, зокрема – радіоелектронному подавленню каналів управління та навігації (прийому GPS-сигналів) [11 – 14].

Очевидно, що повітряний ретранслятор (ПР) доцільно розміщувати віддалено від противника, щоб ускладнити завдання радіоелектронного подавлення його приймачів. Тому традиційні способи боротьби з розвідувальними та ударними БЛА можуть виявитись недостатньо ефективними. Для радіоелектронного подавлення радіомереж з ПР можуть застосовуватися як наземні, так і повітряні засоби РЕБ, які можуть впливати на приймачі як повітряного ретранслятора, так і наземних радіостанцій.

Одним з основних засобів забезпечення високої завадозахищеності радіоліній є використання режиму псевдовипадкової перебудови робочої частоти (ППРЧ). При цьому

ефективне радіоелектронне подавлення може бути забезпечене з використанням широкосмугових шумових завод [3, 15, 16]. Шумова загороджувальна завада (ШЗЗ) перекриває усю смугу частот, в межах якої здійснюється стрибкоподібна зміна частоти (хопсет). Підвищити ефективність постановки шумових завод можна за рахунок не повного, а часткового перекриття хопсету, але з більшою спектральною щільністю потужності. При цьому, існує деяка оптимальна стратегія постановника шумової завади в частині смуги [16], яка, при достатній енергетичній перевазі над радіолінією, зводиться до постановки ШЗЗ.

*Метою статті є аналіз заводозахищеності радіомереж з використанням повітряних ретрансляторів в умовах шумових завод, що створюються як наземними, так і повітряними (на БЛА) засобами РЕБ, та визначення напрямків її підвищення.*

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо два сценарії радіоелектронного подавлення (РЕП): перший – до складу мережі входять лише наземні радіостанції (рис. 1); другий – мережа з повітряним ретранслятором.

**Сценарій 1.** Радіомережа працює в режимі ППРЧ з шириною хопсета  $\Delta f_{\text{х}}$ . Постановник завод (ПЗ) формує ШЗЗ у вказаній смузі частот ( $\Delta F_{\text{Ш}} = \Delta f_{\text{х}}$ ). Спектральна щільність потужності завади дорівнює

$$S_{\text{ПЗ}} = P_{\text{ПЗ}} / \Delta F_{\text{Ш}},$$

де  $S_{\text{ПЗ}}$  – випромінювана спектральна щільність потужності завади, Вт/Гц;  $P_{\text{ПЗ}}$  – вся випромінювана ПЗ потужність, Вт;  $\Delta F_{\text{Ш}}$  – смуга частот шумової завади, Гц.

Далі під *випромінюваною потужністю* будемо розуміти добуток вихідної потужності передавача  $P_{\text{ПД}}$  на коефіцієнт підсилення антени  $G$ .

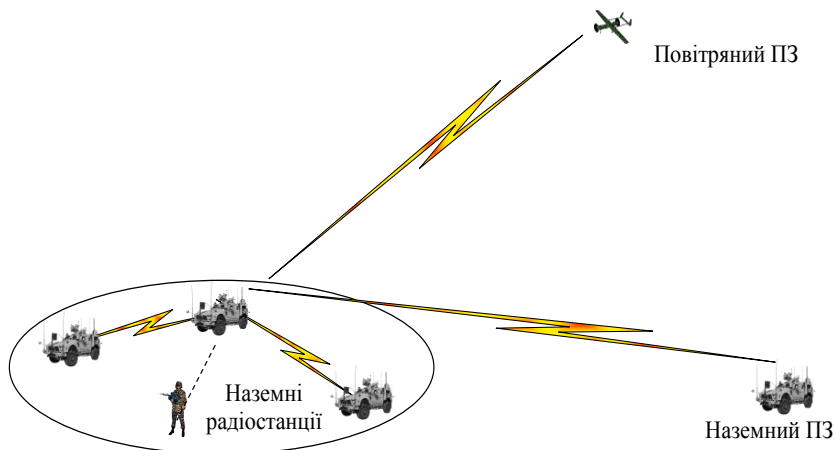


Рис. 1. Варіанти постановки навмисних завод радіомережі без повітряного ретранслятора

Введемо поняття умовного елементарного каналу з шириною смуги  $\Delta f_{\text{к}}$ . У смузі завади шириною  $\Delta F_{\text{Ш}}$  міститься

$$N = \Delta F_{\text{Ш}} / \Delta f_{\text{к}} \quad (1)$$

умовних елементарних каналів. Випромінювана на один умовний елементарний канал потужність завади дорівнює:

$$P_{\text{ПЗ0}} = S_{\text{ПЗ}} \cdot \Delta f_{\text{к}} = P_{\text{ПЗ}} / N. \quad (2)$$

У режимі ППРЧ радіолінія (РЛ) в кожен момент використовує один з умовних елементарних каналів і має потужність випромінювання  $P_{\text{рл}}$ .

*Вихідні дані.* Потужність передавача повітряного ПЗ (ППЗ)  $P_{\text{ПД}} = 5$  Вт,  $G = 0$  дБі, тоді випромінювана потужність  $P_{\text{ПЗ}}^{\text{п}} = 5$  Вт; для наземного ПЗ (НПЗ)  $P_{\text{ПД}} = 1$  кВт,  $G = 13$  дБі, тоді  $P_{\text{ПЗ}}^{\text{н}} = 20$  кВт. Висота підйому антени НПЗ  $h_{\text{НПЗ}} = 10$  м. Відстань від повітряного ПЗ до радіостанцій  $R_{\text{ПЗ}}^{\text{п}} = 2$  км, від наземного –  $R_{\text{ПЗ}}^{\text{н}} = 10$  км. Ширина хопсета  $\Delta f_{\text{х}} = 10 \dots 400$  МГц.

Ширина каналу  $\Delta f_{K1} = 25$  кГц,  $\Delta f_{K2} = 1$  МГц (типів значення, які відповідають режимам роботи УКХ радіозасобів виробництва компаній Aselsan та Hartsis з підтримкою ППРЧ [17]). Тоді потужність завади, що приходить на один умовний елементарний канал, складатиме  $P_{ПЗ0}^n = 1,25 \cdot 10^{-3}$  Вт для повітряного та  $P_{ПЗ0}^H = 5$  Вт для наземного ПЗ, відповідно. Для наземних радіостанцій  $P_{ПД} = 10$  Вт,  $G = 0$  дБі, тоді  $P_{РЛ} = 10$  Вт. Середня частота радіолінії  $f = 300$  МГц ( $\lambda = 1$  м). Висота підйому антен наземних радіостанцій (НР)  $h_{НР} = 10$  м.

Початкову енергетичну перевагу радіолінії над ПЗ визначимо, як відношення потужностей випромінювання:

$$\zeta_{РЛ} = P_{РЛ} / P_{ПЗ0}.$$

Отримуємо,  $\zeta_{РЛ}^n = 8 \cdot 10^3$  (39 дБ),  $\zeta_{РЛ}^H = 2$  (3 дБ). При такій енергетичній перевазі радіолінії повітряний ПЗ, на перший погляд, не має жодних шансів на її ефективне подавлення. Проте, в реальній обстановці, важливу роль відіграють чинники дальності зв'язку й умов розповсюдження радіохвиль.

Антенні наземних радіостанцій встановлюються на легких невисоких щоглах, даху рухомих наземних об'єктів, або безпосередньо на корпусі. При цьому висота підйому антени виявляється приблизно рівною з довжиною хвилі і антени не можна віднести ні до низькорозташованих, ні до високопіднятих. Тоді при розповсюдженні радіохвиль вздовж поверхні землі напруженість електричного поля, що створюється передавачем радіолінії на антені приймача, може бути оцінена за формулою Введенського з заміною реальних висот підйому антен на еквівалентні [18]:

$$E_{РЛ} = \frac{4\pi\sqrt{30P_{РЛ}}h_1h_2}{\lambda R_{РЛ}^2}, \quad (3)$$

де  $P_{РЛ}$  – випромінювана потужність передавача радіолінії,  $R_{РЛ}$  – відстань між передавальною та приймальною антенами (довжина радіолінії),  $h_1$  і  $h_2$  – висоти підйому приймальної та передавальної антен, відповідно,  $\lambda$  – довжина хвилі. З формули видно, що підйом антени ( $h_1$  або  $h_2$ ) набагато ефективніший за збільшення потужності передавача  $P_{РЛ}$ . Скорочення відстані  $R_{РЛ}$  є ще більш ефективним. Слід зазначити, що формулу (3) можна використовувати при виконанні умови  $R_{РЛ} > \frac{18h_1h_2}{\lambda}$ .

Напруженість поля сигналу наземного ПЗ на вході приймачів наземних радіостанцій при виконанні умови  $R_{ПЗ} > \frac{18h_1h_{ПЗ}}{\lambda}$ , необхідно також розраховувати за формулою Введенського:

$$E_{ПЗ} = \frac{4\pi\sqrt{30P_{ПЗ0}}h_1h_{ПЗ}}{\lambda R_{ПЗ}^2}, \quad (4)$$

де  $h_{ПЗ}$  – еквівалентна висота підвісу антени наземного ПЗ,  $P_{ПЗ0}$  – випромінювана потужність завади, що приходить на умовний елементарний канал,  $R_{ПЗ}$  – відстань від ПЗ до приймальної антени радіолінії.

Для спрощення розрахунків будемо вважати, що еквівалентні висоти підйому антен у формулах (3), (4) дорівнюють реальним.

Повітряний ПЗ знаходиться на значній висоті (декілька сотень метрів) та невеликій відстані від радіостанцій. Тому можна наближено вважати, що розповсюдження радіохвиль між ними відбувається у вільному просторі. Тоді напруженість електричного поля, що створюється ПЗ, може бути наближено оцінена за наступною формулою [18]:

$$E_{ПЗ} = \frac{\sqrt{30P_{ПЗ0}}}{R_{ПЗ}}. \quad (5)$$

Енергетичну перевагу завади над сигналом можна оцінити, як

$$\zeta = (E_{ПЗ}/E_{РЛ})^2. \quad (6)$$

Обернена величина відповідає відношенню сигнал/завада (ВСЗ) на вході приймача. Очевидно, що для забезпечення можливості передачі інформації (в залежності від її виду та сигнально-кодових конструкцій, які використовують радіостанції) необхідно забезпечити ВСЗ від декількох одиниць (низькошвидкісна передача даних, короткі текстові повідомлення, голос) до більше десяти (передача даних, файли великого розміру, відео).

Результати розрахунків енергетичної переваги завади над сигналом в залежності від довжини радіолінії наведено на рис. 2. Видно, що для прийнятих вихідних даних малопотужний повітряний ПЗ значно ефективніший (приблизно на 10 дБ), ніж потужний наземний з ефективною антеною. Крім цього, завадозахищеність радіоліній з шириною каналу 1 МГц набагато нижча, що пояснюється тим, що коефіцієнт розширення спектра сигналу з ППРЧ для широкого інформаційного каналу стає значно меншим.

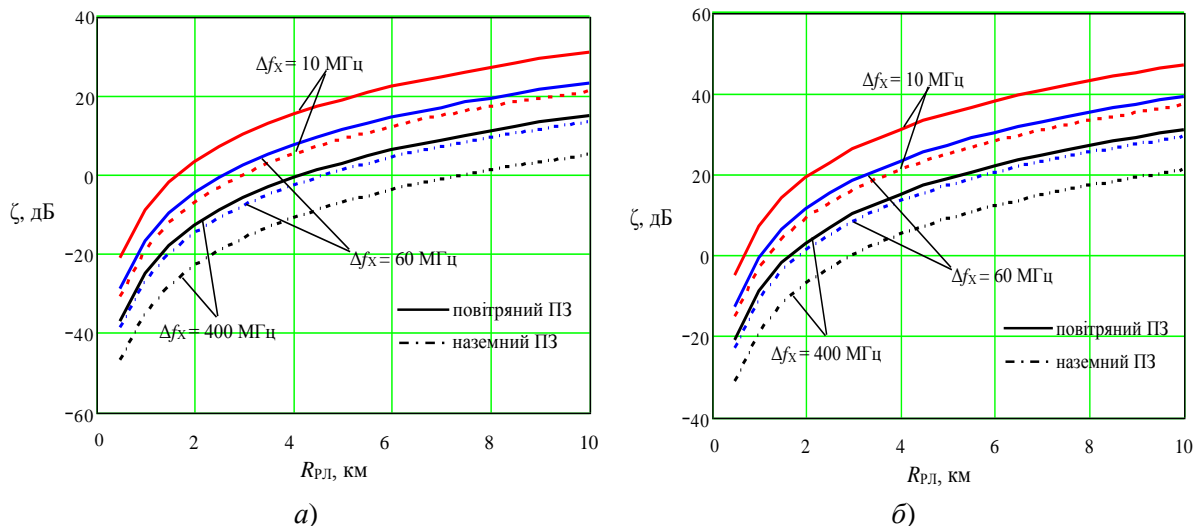


Рис. 2. Залежність величини енергетичної переваги постановника завад від дальності радіолінії:  
а)  $\Delta f_k = 25$  кГц; б)  $\Delta f_k = 1$  МГц

З графіків на рис. 2 видно, що для підвищення завадозахищеності радіолінії необхідно збільшувати ширину хопсета та зменшувати відстань між радіостанціями кореспондентів. Останнє може бути реалізовано за рахунок використання режимів з підтримкою MANET (Mobile Ad Hoc Network).

**Сценарій 2.** З погляду системи РЕП противника можна розглянути чотири варіанти впливу на радіомережі з використанням повітряних ретрансляторів (рис. 3), що передбачають подавлення приймача ПР або наземних радіостанцій наземною, або повітряною станцією РЕБ:  $J_G - R_A$ ;  $J_A - R_G$ ;  $J_A - R_A$ ;  $J_G - R_G$ , де  $J$  (Jammer) – постановник завад,  $R$  (Receiver) – приймач радіостанції або ретранслятора, індекс  $A$  (Air) позначає повітря, індекс  $G$  (Ground) – землю.

*Вихідні дані* для проведення розрахунків ті ж самі, що і для сценарію 1. Крім цього, прийемо для повітряного ретранслятора  $P_{ПД} = 5$  Вт,  $G = 0$  дБі, тоді для лінії „вниз” випромінювана потужність  $P_{РЛ} = 5$  Вт. Висота підйому антени ПР  $h_{ПР} = 50$  м.

При використанні в радіомережі повітряного ретранслятора наземна радіолінія між двома радіостанціями ( $НР_1$  і  $НР_2$ ) перетворюється на дві:  $НР_1 - ПР$ ;  $ПР - НР_2$ . Якщо забезпечується пряма радіовидимість між антенами, то можна вважати, що радіохвилі на цих радіолініях розповсюджуються, як у вільному просторі:

$$E_{\text{рл}} = \frac{\sqrt{30P_{\text{рл}}}}{R_{\text{рл}}}, \quad (7)$$

у іншому разі, для розрахунку напруженості необхідно використовувати формулу (3).

Враховуючи, що при підйомі БЛА на висоту  $h_{\text{ПР}} = 50 \dots 100$  м відстань прямої видимості  $r_{\text{ПР}}$  між ПР та наземною радіостанцією, що визначається за формулою

$$r_{\text{ПР}}, \text{ км} = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_{\text{ПР}}}),$$

складає до 30 – 40 км, будемо вважати за доцільне віддалення ПР від підрозділів у тил на відстань не менше 20 км.

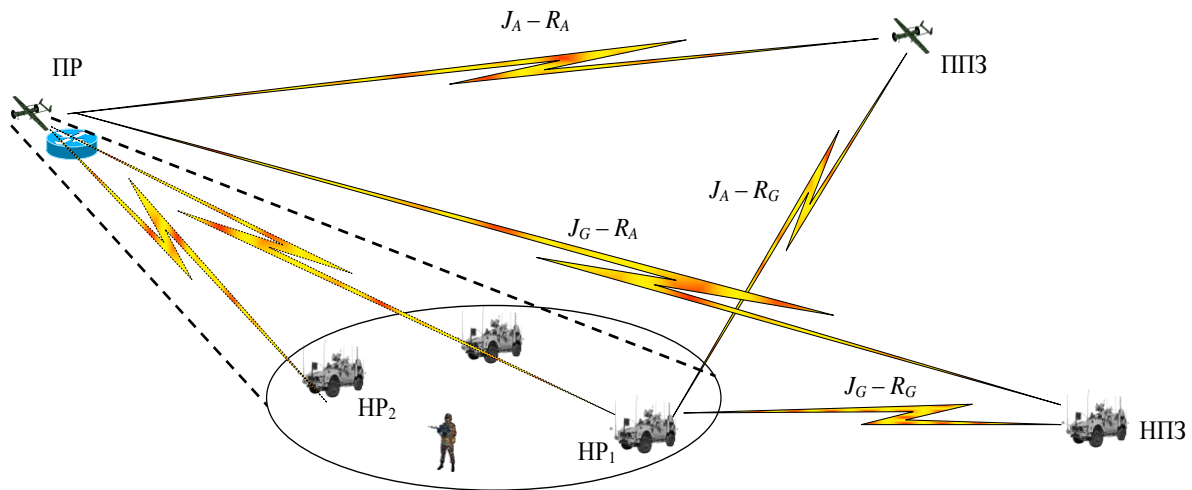


Рис. 3. Варіанти постановки навмисних завдань радіомережі з використанням повітряного ретранслятора

Якщо постановка завдання здійснюється з БЛА, розрахунок напруженості електричного поля завдання на вході приймачів як ПР, так і НП, необхідно проводити за формулою (5). У випадку наземних засобів РЕБ, віддалених від радіостанцій мережі, не менше, ніж на 10 км, відстань між ПР та НПЗ буде не менше 30 км.

Тому при мінімально необхідній висоті підйому ПР та використанні екрануючих властивостей рельєфу місцевості можна вважати, що напруженість поля завдання на вході приймачів як для НП, так і ПР, необхідно розраховувати за формулою (4) (у випадку подавлення приймача ПР замість  $h_1$  необхідно підставити  $h_{\text{ПР}}$ ). Якщо виникають умови прямої видимості між ПР та наземним ПЗ, то розрахунок напруженості поля завдання на вході приймача ПР слід проводити за формулою (5).

У той же час, при забезпеченні прямої видимості між НП та ПР напруженість поля корисного сигналу на входах приймачів як НП, так і ПР, слід розраховувати за формулою (7). У разі відсутності прямої видимості між наземними радіостанціями та ПР розрахунок напруженості поля корисного сигналу на вході приймача ПР будемо проводити за формулою (3) з підстановкою  $h_{\text{ПР}}$  замість  $h_2$ .

Варіанти радіоелектронного подавлення радіомережі з ПР з використанням наземних та повітряних засобів РЕБ, та формули, які використовувались для розрахунку енергетичної переваги завдання/сигнал, наведено у табл. 1. Результати розрахунків енергетичної переваги постановника завдання представлені на рис. 4, 5.

Видно, що за наявності у радіомережі ретранслятора на борту БЛА енергетична перевага як повітряного, так і наземного постановника ПЗЗ при подавленні наземних радіостанцій значно зменшується, порівняно з радіомережами без повітряного ретранслятора (графіки 2, 4 на рис. 4, 5).

## Варіанти радіоелектронного подавлення радіомережі з ПР

| Формула для розрахунку<br>напруженості поля | Варіанти подавлення |             |             |             |                |                |                |
|---|---------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
|   | 1                   | 2           | 3           | 4           | 5 <sup>1</sup> | 6 <sup>2</sup> | 7 <sup>2</sup> |
|   | $J_A - R_A$         | $J_G - R_G$ | $J_G - R_A$ | $J_A - R_G$ | $J_G - R_A$    | $J_G - R_A$    | $J_A - R_G$    |
| $E_{РД}$                                    | (7)                 | (7)         | (7)         | (7)         | (7)            | (3)            | (3)            |
| $E_{ПЗ}$                                    | (5)                 | (4)         | (4)         | (5)         | (5)            | (4)            | (5)            |

Примітки:

- 1) якщо не забезпечено відсутність прямої видимості між ПР на наземним ПЗ;
- 2) якщо не забезпечено прямої видимості між ПР та наземними радіостанціями.

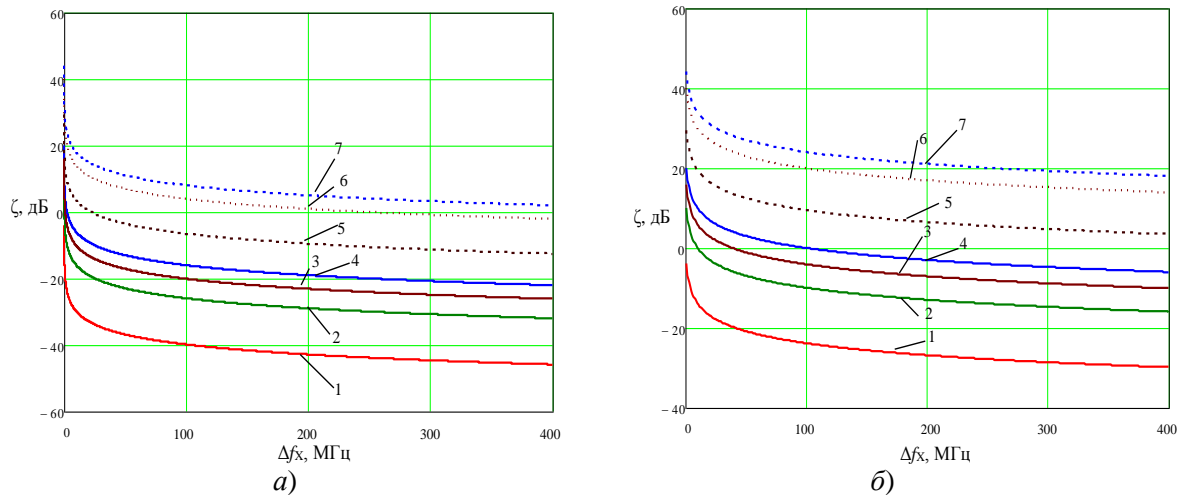


Рис. 4. Залежність величини енергетичної переваги постановника завад від ширини хопсета:  
а)  $\Delta f_k = 25$  кГц; б)  $\Delta f_k = 1$  МГц

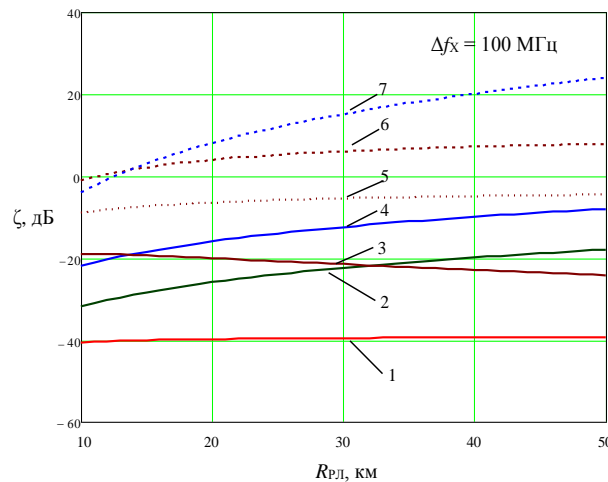


Рис. 5. Залежність величини енергетичної переваги постановника завад від відстані між повітряним ретранслятором та наземними радіостанціями ( $\Delta f_k = 25$  кГц)

Значно вищу ефективність варіанту №4, порівняно з №1, можна пояснити тим, що відстань від ППЗ до НР набагато менша, ніж до ПР. Очевидно, що для підвищення заводозахисності необхідно збільшувати ширину хопсета (рис. 4). Для варіантів №№ 1, 2, 4 підвищити енергетичну перевагу сигналу над заводою можна за рахунок зменшення дальності радіолінії за рахунок наближення ПР до наземних радіостанцій (рис. 5).

Проте, у випадку подавлення ПР наземними засобами РЕБ (варіант № 3) необхідно максимально віддаляти БЛА від противника та, відповідно, наземних радіостанцій. При цьому необхідно обов'язково забезпечувати відсутність прямої видимості між ПЗ та ПР,

оскільки це може призвести до різкого підвищення ефективності радіоелектронного подавлення (варіант № 5). У той же час, надмірне віддалення ПР, або нераціональний вибір траєкторії його польоту, може призвести до відсутності прямої видимості з радіостанціями і ще більшого енергетичного програшу постановнику завад (варіанти №№ 6, 7).

Більшу заводо захищеність для будь-якого з чотирьох варіантів подавлення будуть забезпечувати режими роботи з підтримкою MANET (NBNR, WBNR у радіостанціях Aselsan, ANW2C у радіостанціях Harris [17]), оскільки для них подавлення повітряного ретранслятора не призводить до повної втрати зв'язку в мережі – маршрут передачі може проходити через одну або декілька наземних станцій. Крім того, зменшуються відстані між радіостанціями на окремих наземних радіолініях, а значить – збільшується відношення сигнал/(шум + завада) в точці прийому. У режимах без підтримки MANET доцільно для кожної мережі передбачати запасний ретранслятор, налаштований на інші частоти передачі та прийому, та розташований на іншій траєкторії. Зокрема, це може бути повітряний ретранслятор радіомережі сусіднього підрозділу (наприклад, при подавленні ретранслятора у радіомережі першого батальйону, запасними каналами можуть бути радіомережі інших батальйонів, що використовують інші ПР).

*Основними напрямками підвищення заводо захищеності радіомереж з використанням повітряних ретрансляторів є наступні.*

1. При плануванні траєкторії руху БЛА (точки стояння для мультикоптера або повітряної кулі) необхідно здійснювати аналіз місцевості (побудову профілю, сукупності профілів між точкою знаходження БЛА та точкою встановлення антени станції РЕБ) з метою максимально ефективного використання її захисних властивостей з погляду ослаблення сигналу завади. При цьому необхідно забезпечити:

покриття необхідної географічної зони (усіх кореспондентів мережі, що обслуговується ретранслятором, з урахуванням їх можливого переміщення);

мінімально необхідну висоту підйому БЛА;

необхідне віддалення від постановника завад.

Тому важливим прикладним завданням є розробка програмного забезпечення для розрахунку траєкторії руху повітряного ретранслятора.

2. Планування вибору робочих частот хопсетів та їх ширини, а також віддалення ПР від радіостанцій мережі, необхідно здійснювати виходячи з наявної інформації про технічні характеристики та можливості засобів РЕБ, що можуть застосовуватись противником у районах розгортання радіомереж.

3. Застосування спрямованих антен з мінімальними значеннями коефіцієнта підсилення у напрямках на противника (постановника завад), адаптивних антенних решіток, здатних формувати провали діаграми направленості у напрямках на джерела завад.

**Висновки.** Таким чином, застосування повітряних ретрансляторів значно зменшує ефективність радіоелектронного подавлення радіомереж як наземними, так і повітряними засобами РЕБ. Радіомережі класу MANET володіють більшою заводо захищеністю, порівняно з „класичними” радіомережами, як за наявності повітряного ретранслятора, так і без нього.

Проведені розрахунки показали, що найбільшу ефективність серед варіантів подавлення радіомереж з ППРЧ та використанням повітряного ретранслятора ширококутковою загорджувальною заводо мають:

1) повітряна станція РЕБ (на БЛА) малої потужності – наземні радіостанції;

2) потужна наземна станція РЕБ – повітряний ретранслятор.

Тому найбільш доцільною стратегією з погляду системи РЕП є одночасне застосування наземних постановників завад для подавлення повітряних ретрансляторів (радіостанцій) та повітряних – для подавлення наземних радіостанцій.

При цьому значно зменшити енергетичний виграш як наземного, так і повітряного постановників завад можна за рахунок раціонального вибору траєкторії баражування БЛА, а також шляхом застосування адаптивних антенних решіток. Напрямами подальших

досліджень є розробка методики адаптивного діаграмоутворення у радіомережах класу MANET з використанням телекомунікаційних аероплатформ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Самоорганізуючі радіосети со сверхширокополосными сигналами / [С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк]. – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН України”, 2012. – 444 с.: ил.
2. Літаючі самоорганізуючі радіомережі / [В.А. Романюк, Є.О. Степаненко, І.В. Панченко, О.І. Восколович] // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2017. – № 1. – С. 104 – 114.
3. Гурський Т.Г. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів для радіоелектронного подавлення систем радіозв'язку / Т.Г. Гурський, Л.Л. Бортнік, О.М. Макаруч // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – № 1. – С. 15 – 23.
4. Попов А. О. Загальні тенденції розвитку засобів радіоелектронної боротьби / А. О. Попов, В. В. Твердохлібов // Озброєння та військова техніка. – 2014. – № 4. – С. 4 – 11.
5. Радецький В.Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі: Монографія / В.Г.Радецький, І.С. Руснак, Ю.Г. Даник. – К.: НАОУ, 2008. – 224 с.
6. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: Монография. – К.: Изд. Дом „Румб”, 2008. – 160 с.
7. Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу / [В.І. Ткаченко, Ю.Г. Даник, Г.А. Дробаха та ін.]. – Харків: ХВУ, 2002. – 220 с.
8. Згурец С.Г. Оружие Украины. Беспилотники: призыв на войну. Беспилотные авиационные комплексы: создание и применение / С.Г. Згурец, М.Э. Канарский // Журнал Defence Express, 2015. – 95 с.
9. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: редакционно-издательский центр „Школа”, 2015. – 444 с.
10. Zeng Y. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges / Y.Zeng, R.Zhang, T. J.Lim // IEEE Commun. Mag. – 2008. – Vol. 54. – № 5. – Pp. 36 – 42.
11. Security Analysis of FHSS-type Drone Controller / [H.Shin, K.Choi, Y.Park and oth.] // In International Workshop on Information Security Applications. – 2015. – Springer. – Pp. 240 – 253.
12. Protecting GNSS receivers from jamming and interference / [G.X.Gao, M.Sgammini, M.Lu, N.Kubo] // Proceedings of the IEEE. – 2016. – № 104 (6). Pp. 1327 – 1338.
13. Unmanned aircraft capture and control via GPS spoofing / [A.J.Kerns, D.P.Shepard, J.A.Bhatti, T.E.Humphreys] // Journal of Field Robotics. – 2014. – № 31(4). – Pp. 617 – 636.
14. Farlik J. Detectability and jamming of small UAVs by commercially available low-cost means / J.Farlik, M.Kratky, J.Casar // In Communications (COMM) International Conference. IEEE. – 2016. – Pp. 327 – 330.
15. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев. – М.: РадиоСофт, 2008. – 512 с.
16. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. под общ. ред. А. В. Назаренко. – М.: „Вильямс”, 2003. – 1104 с.
17. Аналіз режимів роботи та перспектив бойового застосування військових УКХ радіостанцій іноземного виробництва / [Кувшинов О.В., Гурський Т.Г., Гриценко К.М., Шишацький А.В.] // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2018. – № 1. – С. 43 – 50.
18. Гряник М. В. Распространение радиоволн. Учебное пособие / М. В. Гряник, В. И. Ломан. – К.: КВВИУС, 1989. – 382 с.