



В. Г. Малюк



С. Ю. Тимченко

КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РАДІОКАНАЛУ VHF/UHF ДІАПАЗОНУ З УРАХУВАННЯМ ЗОН ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ

На основі відомих моделей поширення радіосигналу отримані математичні співвідношення для визначення умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання. При цьому враховується чутливість приймача, потужність передавача та форма цифрової діаграми спрямованості його антени, масштаб мапи, втрати потужності сигналу передавача залежно від характеристик місцевості. Розроблено програмний засіб для аналізу умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання з прив'язуванням до топографічної мапи місцевості.

К л ю ч о в і с л о в а : зона електромагнітної доступності, радіоканал, рівняння передачі сигналу Фрііса, модель Еглі.

Постановка проблеми. Під час ведення локальних бойових дій підрозділами тактичної ланки враховування дальності дії джерела радіовипромінювання UHF/VHF діапазону є важливим питанням для задач організації роботи каналу мобільного радіозв'язку (КРЗ) [1 – 4], до яких можна віднести аналіз умов працездатності КРЗ. Для даної задачі важливим є використання поняття зони електромагнітної доступності (ЕМД) джерела радіовипромінювання (ДРВ). Під зоною ЕМД радіопередавача будемо розуміти сукупність точок простору, в яких даний передавач забезпечує на вході відповідного приймача мінімально необхідну потужність радіосигналу, що залежить від чутливості приймача.

На практиці для забезпечення роботи каналу мобільного радіозв'язку актуальною є задача дослідження умов працездатності радіоканалу у парі «передавач–приймач» на топографічній мапі з урахуванням дальності дії радіозасобів, яка залежить від характеристик місцевості.

Об'єкт досліджень – процес радіообміну у КРЗ VHF/UHF діапазону з урахуванням зон ЕМД ДРВ.

Аналіз досліджень та публікацій. Виходячи з окремих положень теорії електромагнітного поля і теорії тензорного обчислення, у статті [5] запропоновано математичну модель ЕМД системи радіозв'язку військового призначення на основі подання об'єкта моделювання квазікристалом. Отримані авторами результати мають теоретичний характер і поки не отримали практичного застосування у вирішенні завдань організації роботи систем мобільного радіозв'язку.

Для випадку сильно пересіченої місцевості у праці [6] запропоновано метод оцінювання зони ЕМД засобів радіомоніторингу, що дозволяє з достатньою для практики точністю моделювати різні варіанти побудови регіональних підсистем радіочастотного моніторингу. Розміри розрахованої зони ЕМД засобів радіомоніторингу суттєво залежать від потужності та діаграми спрямованості (ДС) антени, рельєфу місцевості, відстані між передавачем і приймачем, чутливості приймача. Алгоритм обчислення меж зони ЕМД засобів радіомоніторингу, за яким визначають на мапі місцевості точки перетину ліній рівних висот з поточним азимутом, уточнює межі зони ЕМД ітераційним шляхом, що зумовлює його високу трудомісткість. Так, згідно з даними статті [6] витрачений час на розрахунок однієї зони ЕМД залежно від рельєфу, забудови місцевості та дискретності відліків по азимуту становить від 15 хв до 120 хв.

Під час ведення тактичними підрозділами бойових дій на слабо пересіченій місцевості мобільний канал радіозв'язку зазвичай характеризується малою потужністю передавача (від 1 Вт до 5 Вт) і невеликою дальністю дії (до 5-6 км) [7]. Це дає можливість використовувати більш прості математичні моделі поширення радіосигналу, які дозволяють розрахувати усереднене значення ослаблення радіосигналу залежно від характеристик конкретної місцевості та прискорити розрахунки меж зони ЕМД ДРВ.

В ідеальних умовах вільного простору втрати потужності радіосигналу можна оцінити, використовуючи найпростішу модель поширення Friis [8]:

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2, \quad (1)$$

де P_R – потужність W , яку приймає антена на відстані d , м;

P_T – потужність передавача сигналу, Вт;

G_T та G_R – коефіцієнти посилення антен передавача радіосигналу у напрямку приймача та приймальної антени у напрямку на радіопередавач відповідно;

λ – довжина хвилі, м.

Переходячи до логарифмічного масштабу, для ізотропних антен співвідношення (1) можна подати в такому вигляді:

$$P_R = P_T - L_P, \quad (2)$$

де L_P – це втрати передачі потужності радіосигналу, які у вільному просторі згідно з рекомендаціями [9] становлять

$$L_P = 32.44 + 20 \log F_{MHz} + 20 \log D_{km}, \quad (3)$$

де F_{MHz} – частота радіосигналу, МГц;

D_{km} – відстань між передавачем та приймачем, км.

Під час ведення бойових дій в умовах гладкої горбистої поверхні з середньою висотою нерівностей до 15 м доцільно використовувати відому статистичну модель Egli [10]. Модель не враховує дифракційні втрати, спричинені поширенням радіосигналу пересіченою місцевістю, та наявність деяких рослинних перешкод, як-от: дерева або чагарники. На відміну від виразу (3) втрати потужності радіосигналу тут визначаються так [10]:

$$L_P = 20 \log F_{MHz} + 40 \log D_{km} - 20 \log h_T + \begin{cases} 76,3 - 10 \log h_R, & h_R \leq 10 \\ 76,3 - 10 \log h_R, & h_R > 10 \end{cases}, \text{ dB}, \quad (4)$$

де h_T , h_R – ефективна висота антен передавача та приймача відповідно, м.

Умовам міських забудов та передмість відповідають складніші моделі: Окамура, Хата тощо [11, 12, 13].

Для побудови простого та швидкого методу розрахунку меж зони ЕМД радіозасобів мобільного каналу радіозв'язку доцільно обмежитися найпростішими розрахунковими співвідношеннями втрат потужності радіосигналу (3) та (4). За необхідності, залежно від особливостей конкретної місцевості та факторів, які необхідно враховувати, формули для врахування втрат потужності радіосигналу можуть бути замінені на більш складні.

Метою статті є розроблення методики комп'ютерного аналізу умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон ЕМД ДРВ на топографічній мапі залежно від характеристик місцевості.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання.

1. Розробити математичні співвідношення для визначення умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон ЕМД ДРВ.

2. Розробити програму обчислення стану працездатності КРЗ VHF/UHF діапазону з урахуванням зон ЕМД ДРВ, розташованих на оперативній мапі, та характеристик місцевості.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо модель каналу мобільного радіозв'язку UHF/VHF діапазону з урахуванням дальності дії джерел радіовипромінювання. Позначимо область топографічної мапи з тактичною обстановкою Ω . Модель каналу мобільного радіозв'язку в загальному випадку містить такі об'єкти (рис. 1).

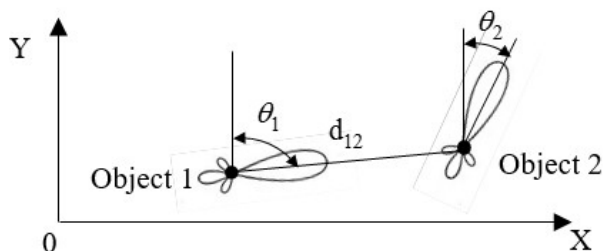


Рисунок 1 – Об'єкти каналу мобільного радіозв'язку

Об'єкт 1 – наземний приймач/передавач радіосигналу UHF/VHF діапазону з потужністю передавача P_1 у точці з координатами $(x_1, y_1) \in \Omega$. Цифрована нормована ДС антени описується функцією $G_1(\theta)$, власний азимут ДС антени становить кут θ_1 .

Об'єкт 2 – наземний приймач/передавач радіосигналу UHF/VHF діапазону з потужністю передавача P_2 у точці з координатами $(x_2, y_2) \in \Omega$. Цифрована нормована ДС антени описується функцією $G_2(\theta)$, власний азимут антени становить кут θ_2 .

Чутливість приймачів обох об'єктів вважатимемо однаковою та рівною E_s , мкВ. Цифровану ДС антени засобів мобільного радіозв'язку $G(\theta)$ можна обчислити за допомогою програми моделювання тривимірних електромагнітних полів [14].

Визначимо умови працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон електромагнітної доступності ДРВ.

Для засобів мобільного радіозв'язку, коли узгоджена антена підключається безпосередньо до входу приймача, що має чутливість E_s і узгоджений активний вхідний опір R_A , має місце співвідношення [15]

$$P_{\min} = \frac{E_s^2}{4R_A}. \quad (5)$$

Значення P_{\min} визначає мінімальну необхідну для якісного прийому потужність корисного сигналу на вході приймача об'єкта 2. Логічно припустити, що на межі зони ЕМД передавача об'єкта 1 потужність радіосигналу на вході приймача об'єкта 2 повинна бути не меншою P_{\min} .

За формулою (1) обчислимо потужність корисного сигналу радіопередавача об'єкта 1 у точці розміщення радіоприймача об'єкта 2, враховуючи функції цифрованих ДС антен:

$$P_{12}(x_2, y_2) = P_1 G_1(\theta_{12} - \theta_1) G_2(\theta_{21} - \theta_2) \left(\frac{\lambda}{4\pi d_{12}} \right)^2, \quad (6)$$

де P_{12} – потужність сигналу, що приймає радіоприймач об'єкта 2, Вт;

P_1 – потужність сигналу передавача (об'єкт 1), Вт;

θ_{12} – кут азимута від об'єкта 1 на об'єкт 2;

θ_{21} – кут азимута від об'єкта 2 на об'єкт 1;

$d_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ – відстань від об'єкта 1 до об'єкта 2;
 λ – довжина хвилі.

Для визначення зони ЕМД передавача об'єкта 1 доцільно зорієнтувати азимут спрямованої антени приймача об'єкта 2 на об'єкт 1, поклавши $\theta_2 = \theta_{21}$. У цьому випадку нормована функція ДС антени приймача набуває максимального значення $G_2(0) = 1$. При переході до логарифмічного масштабу, обчислюючи потужності P_{12} сигналу та P_1 у dВм, отримаємо

$$P_{12}(x_2, y_2) = P_1 + 10 \log[G_1(\theta_{12} - \theta_1)] - L_p, \text{ dВм.} \quad (7)$$

Таким чином, зону ЕМД передавача об'єкта 1 для приймача об'єкта 2 з мінімально необхідною потужністю корисного сигналу можна визначити як

$$\Omega_{E_1} = \{ \forall (x_2, y_2) \in \Omega \mid P_{12}(x_2, y_2) \geq P_{\min} \}. \quad (8)$$

Зону ЕМД передавача об'єкта 2 для приймача об'єкта 1 можна визначити аналогічно:

$$\Omega_{E_2} = \{ \forall (x_1, y_1) \in \Omega \mid P_{21}(x_1, y_1) \geq P_{\min} \}, \quad (9)$$

де

$$P_{21}(x_1, y_1) = P_2 + 10 \log[G_2(\theta_{21} - \theta_2)] - L_p, \text{ dВм.} \quad (10)$$

Загальна умова працездатності каналу мобільного радіозв'язку передбачає одночасне розміщення приймачів об'єктів 1 та 2 суміжних зон ЕМД передавачів радіоканалу:

$$\begin{cases} (x_1, y_1) \in \Omega_{E_2} \\ (x_2, y_2) \in \Omega_{E_1} \end{cases}. \quad (11)$$

З отриманих співвідношень (7) – (10) виходить, що розміри зони ЕМД та виконання умов працездатності каналу мобільного радіозв'язку залежать від їх потужності, орієнтації ДС антени, втрат потужності на трасі поширення сигналу, і чутливості приймача, що приймає радіосигнал.

Межі зони ЕМД (8) передавача об'єкта 1 для приймача об'єкта 2 відповідає ізолінія рівня P_{\min} , тобто геометричне місце точок з координатами (x_2, y_2) , які розташовані на висоті P_{\min} і мають в будь-якій своїй околиці інші точки з відмінною висотою:

$$I_{E_1} = \left\{ \begin{array}{l} \forall (x_2, y_2) \in \Omega \mid P_{12}(x_2, y_2) = P_{\min}, \\ \forall \varepsilon > 0 : \exists (x', y') : |(x', y'), (x_2, y_2)| < \varepsilon, P_{12}(x_2, y_2) \neq P_{\min} \end{array} \right\}. \quad (12)$$

Для обчислення координат точок ізолінії (12) використовується проста і ефективна модифікація хвильового алгоритму, наведена у праці [4].

Для цього піксельна матриця зображення топографічної мапи місцевості з тактичною обстановкою подається як дискретне робоче поле, обмежене координатами $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$. Стан осередків поля визначає масив В: `array[xmin..xmax, ymin..ymax] of boolean`. Вільному осередку поля з координатами (x, y) відповідає стан `В[x, y] = False`. Координати точок старого та нового фронтів хвилі накопичуються відповідно у масивах `Front: array[1..Lf] of record x, y: integer end;` та `Fnew: array[1..Lfnew] of record x, y: integer end.` Координати точок ізолінії, які утворюють межу зони ЕМД, зберігаються у масиві `Izoline: array[1..Li] of record x, y: integer end.`

Алгоритм складається з трьох етапів (рис. 2): ініціалізація, поширення хвилі та формування масиву координат меж зони Ω_{E_1} відповідно до виразу (11).

Етап ініціалізації полягає у визначенні властивостей осередків дискретного робочого поля. Всі осередки ДРП вважаються вільними, всі елементи бітової маски отримують значення `False`. Визначається стартовий осередок (точка розташування передавача на мапі), у відповідному полі бітової маски записується значення `True`, у масив фронтів хвилі `Front` записується точка (x_1, y_1) .

Algorithm. Обчислення меж зони ЕМД джерела радіовипромінювання

Input: (x_1, y_1, z_1) : integer; /*Координати передавача сигналу*/

R_1 : integer; /*Потужність передавача сигналу */

(x_2, y_2, z_2) : integer; /* Координати приймача сигналу */

Output:

Li : integer; /*Кількість точок меж зони ЕМД */

Izoline: array [1..Li] of record x,y:integer end; /* Координати точок ізолінії*/

*/*ініціалізація*/*

1. $B \leftarrow False$;
2. $Lf \leftarrow 1$; $Front.X[1] \leftarrow x_1$; $Front.Y[1] \leftarrow y_1$;
3. $B[x_1, y_1] \leftarrow True$;

*/*розповсюдження хвилі*/*

4. **repeat**
5. $Lf_{new} \leftarrow 0$;
6. $Stop \leftarrow True$;
7. **foreach** $i \in [1, Lf]$ **do**
8. **foreach** $j \in [1, 4]$ **do**
9. $x \leftarrow Front.X[i] + DX[j]$; $y \leftarrow Front.Y[i] + DY[j]$;
10. **if** $B[x, y]$ **then continue**;
11. $d_{12} = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}$; $R_2(x, y) = R_1 + 10 \log[G_1(\theta_{12} - \theta_1)] - L_F$
12. **if** $(x, y) \in \Omega_{E_1}$ **then**
13. $Lf_{new} \leftarrow Lf_{new} + 1$;
14. $F_{new.X}[Lf_{new}] \leftarrow x$; $F_{new.Y}[Lf_{new}] \leftarrow y$;
15. $B[x, y] \leftarrow True$;
16. $Stop \leftarrow False$;
17. **end if**
18. **end for**
19. **end for**
20. $Front \leftarrow F_{new}$; $Lf \leftarrow Lf_{new}$;
21. **until** $Stop$;

*/*ізолінія*/*

22. $Li \leftarrow 0$
23. **foreach** $x \in [x_{min}, x_{max}]$ **do**
24. **foreach** $y \in [y_{min}, y_{max}]$ **do**
25. $Pixels \leftarrow 0$
26. **foreach** $j \in [1, 4]$ **do**
27. $x' \leftarrow x + DX[j]$; $y' \leftarrow y + DY[j]$;
28. **if** $B[x', y']$ **then** $Pixels \leftarrow Pixels + 1$; ;
29. **end for**
30. **if** $(Pixels > 0)$ **and** $(Pixels < 4)$ **then**
31. $Li \leftarrow Li + 1$;
32. $Izoline.X[Li] \leftarrow x$; $Izoline.Y[Li] \leftarrow y$;
33. **end if**
34. **end for**
35. **end for**

Рисунок 2 – Алгоритм обчислення меж зони ЕМД джерела радіовипромінювання

Етап поширення хвилі. У процесі утворення нового фронту для кожної точки-кандидата з координатами (x,y) з параметрами $x=x_2, y=y_2$ виконуються процедури обчислення кута азимута θ_{21} антени приймача та потужності корисного сигналу (7). Потім, якщо умова приналежності точки зоні ЕМД (7) виконується, точка (x,y) включається у новий фронт. Відповідний елемент бітової маски $B(x,y)$ набуває значення True. Процес поширення хвилі закінчується на межі зони ЕМД Ω_{E_1} , коли для будь-яких нових точок-кандидатів перестає виконуватися умова (8).

Етап формування масиву координат точок ізоляції на мапі. Виконується сканування бітової маски B . Якщо для точки на мапі з координатами (x,y) виконується умова $B[x,y]=True$, і хоча б одна з оточуючих сусідніх точок має стан False, робиться висновок, що точка (x,y) належить ізоляції (12), і її координати додаються у масив IZoline.

Підрахувавши кількість осередків бітової маски B зі станом True і прив'язуючись до масштабу мапи, додатково можна оцінити площу отриманої зони Ω_{E_1} . Трудомісткість запропонованого алгоритму зменшується завдяки тому, що аналіз умови приналежності точки зоні ЕМД (8) виконується не у всіх точках мапи, а тільки в точках поширення хвилі. Етап формування масиву координат точок ізоляції на мапі, на якому виконується сканування бітової маски мапи, не вимагає складних обчислень, тому виконується швидко.

Розроблена методика комп'ютерного аналізу умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону за співвідношеннями (7) – (10) реалізована у програмі оперативного забезпечення роботи мобільних засобів радіозв'язку, що використовуються у тактичних ланках управління частинами та підрозділами правоохоронних органів України.

Центральним елементом інтерфейсу програми є мапа, де вказуються розташування радіозасобів об'єктів 1 та 2 та їх технічні характеристики відповідно до параметрів моделі (рис. 3).

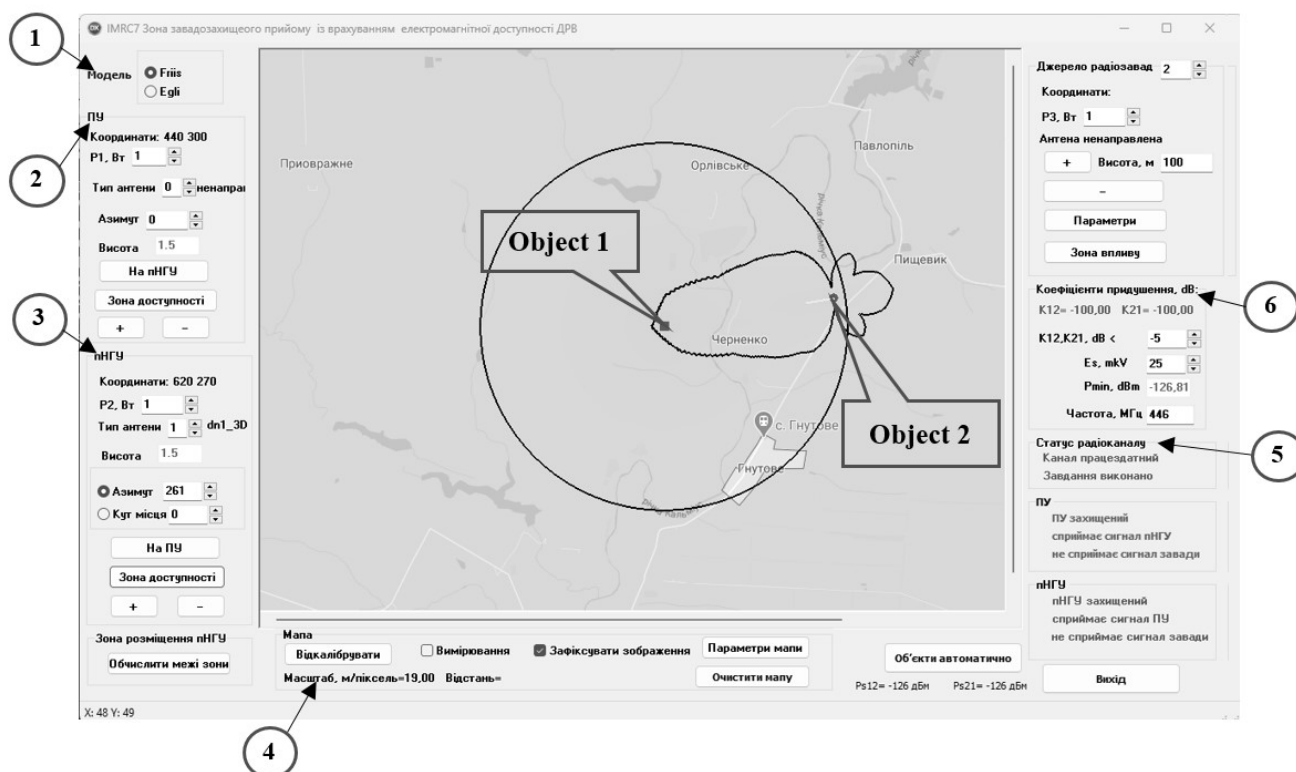


Рисунок 3 – Інтерфейс програми оперативного забезпечення роботи КРЗ

Програмна форма має такі панелі налаштування відповідного призначення (рис. 3).

1. Панель «Модель» – вибір моделей поширення сигналу Friis або Egli.

2. Панель «ПУ» – налаштування параметрів об'єкта 1 (радіозасобу пункту управління), обчислення зони ЕМД радіозасобу пункту управління.

3. Панель «пНГУ» – налаштування параметрів об'єкта 2 (радіозасобу мобільного підрозділу НГУ), обчислення зони ЕМД радіозасобу мобільного підрозділу НГУ.

4. Панель «Мапа» – операції з оперативною картою (калібрування, вимірювання відстаней).

5. Панель «Статус радіоканалу» – визначення умов працездатності радіоканалу.

6. Панель «Коефіцієнти придушення» – визначення мінімальної потужності P_{\min} , частоти радіообміну F_{MHz} , чутливості радіоприймачів E_s .

У режимі калібрування масштаб карти обчислюється шляхом протягування маркера миші уздовж об'єкта на карті, довжина якого заздалегідь відома (рис. 4, а). Після обчислення масштабу на карті можна вимірювати відстані між точками на карті (рис. 4, б).



Рисунок 4 – Режими калібрування та вимірювання

Розрахунок зон ЕМД дає можливість оцінити виконання умов працездатності каналу мобільного радіозв'язку (10) для різних випадків оперативної обстановки. Наведені нижче результати розрахунків отримані на карті місцевості для потужності радіопередавачів 1 Вт на частоті 446 мГц, чутливості радіоприймачів $E_{S1} = E_{S2} = 0,25$ мкВ, що відповідає параметрам радіостанції Mototrbo™ DP4000 [7]. На рис. 5 подані два варіанти розрахунку працездатного (рис. 5, а) та непрацездатного (рис. 5, б) радіоканалів для неспрямованих антенних систем.



Рисунок 5 – Оцінювання працездатності радіоканалу для неспрямованих антенних систем

На рис. 6 подані два варіанти розрахунку працездатного (рис. 6, а) та непрацездатного (рис. 6, б) радіоканалів для спрямованих антенних систем.

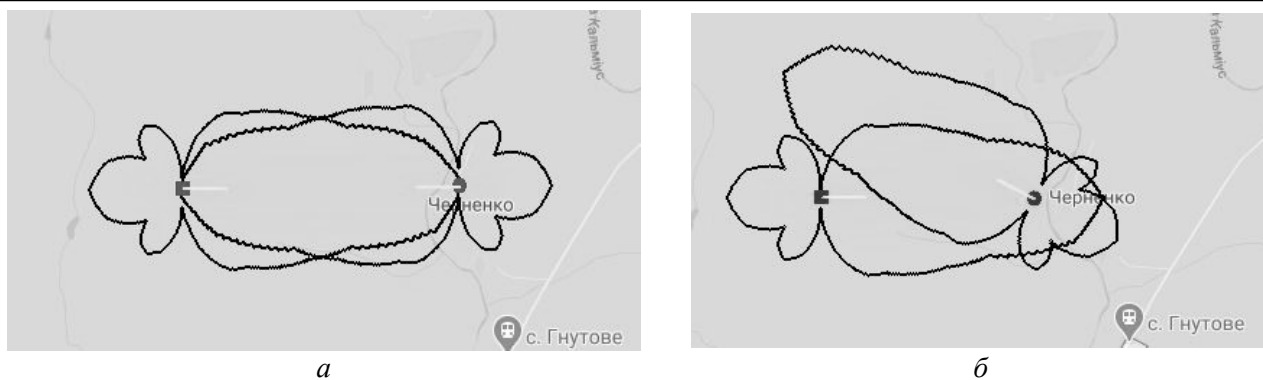


Рисунок 6 – Оцінювання працездатності радіоканалу для спрямованих антенних систем

На рис. 7 подані два варіанти розрахунку працездатного (рис. 7, а) та непрацездатного (рис. 7, б) радіоканалів для комбінованого варіанту неспрямованих та спрямованих антенних систем.



Рисунок 7 – Оцінювання працездатності радіоканалу для комбінованого варіанту неспрямованих та спрямованих антенних систем

Комп'ютерне моделювання умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон ЕМД джерел радіовипромінювання дає можливість проаналізувати, як впливає відстань між об'єктами радіоканалу на допустиму помилку орієнтації ДС направленої антени радіопередавача за кутом азимуту. На рис. 8, а показані два крайні положення направленої антени об'єкта 2 з кутами азимуту θ_{\min} та θ_{\max} . Умови працездатності радіоканалу виконуються тільки всередині діапазону $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$. На рис. 8, б наведена залежність допустимого розкиду кута азимуту ДС радіопередавача $\Delta\theta = \theta_{\max} - \theta_{\min}$ від відстані між об'єктами 1 та 2.

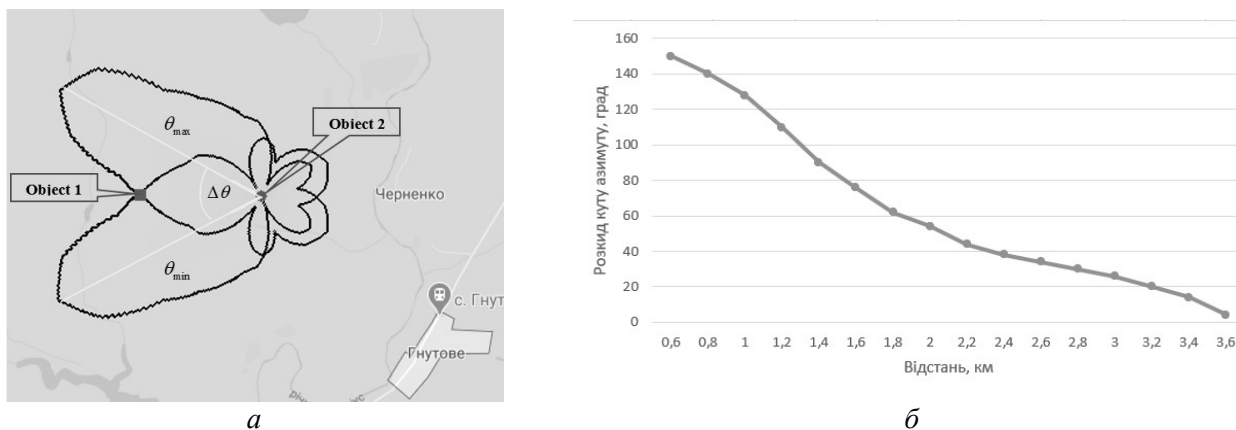


Рисунок 8 – Допустимий розкид кута азимуту ДС радіопередавача

Одержані результати (рис. 8) дозволяють дійти висновку, що на максимальних відстанях між об'єктами 1 та 2 допустимий розкид кута азимуту ДС радіопередавача різко зменшується, вимоги до точності орієнтування стають суттєво жорсткішими і залежать від ширини головної пелюстки ДС спрямованої антени радіопередавача.

Було проаналізовано вплив параметра чутливості радіоприймача на площу зони ЕМД джерела радіовипромінювання. Практичні розрахунки показують, що зі збільшенням чутливості радіоприймача на 0,05 мкВ площа зони ЕМД радіопередавача збільшується у 1,56 разу.

Також була проаналізована залежність площі зони ЕМД джерела радіовипромінювання від частоти сигналу в VHF (від 136 МГц до 174 МГц) та UHF (від 403 МГц до 527 МГц) діапазонах. Розрахунки проводились для моделей поширення сигналу Friis та Egli. Результати моделювання показують, що зі зменшенням частоти радіосигналу як в VHF, так і в UHF діапазонах, розмір зони ЕМД збільшується в 1,7 разу для моделі Friis і в 1,3 разу для моделі Egli. Слід зазначити, що зі збільшенням частоти в діапазоні UHF розміри зони ЕМД, отримані різними моделями, мають тенденцію до зближення.

Висновки

На основі відомих математичних моделей поширення радіосигналу отримано математичні співвідношення для умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання.

Запропоновано практичний метод розрахунку меж зони електромагнітної доступності радіозасобів каналу радіозв'язку, заснований на модифікованому хвильовому алгоритмі. При цьому враховується чутливість приймача, потужність передавача і форма цифрової ДС його антени, масштаб карти і втрати потужності сигналу залежно від характеристик місцевості. Вже відомі прийоми моделювання поширення радіосигналу легко інтегруються в запропонований алгоритм. Метод характеризується простотою, високою швидкістю і надійністю обчислень.

Розроблена методика комп'ютерного аналізу умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону реалізована у програмі оперативного забезпечення роботи мобільних засобів радіозв'язку, що використовуються у тактичних ланках управління частинами та підрозділами правоохоронних органів України. На практичних прикладах показана доцільність розрахунку ЕМД радіозасобів за картою місцевості з тактичною обстановкою в задачах оцінювання працездатності мобільного каналу радіозв'язку.

Перелік джерел посилання

1. Іохов О. Ю. Захист радіомереж підрозділів Національної гвардії України від радіотехнічної розвідки : монографія. Харків : НАНГУ, 2017. 222 с.

2. Проблеми забезпечення радіозв'язку в тактичній ланці управління під час проведення АТО / Федін О. В., Живчук В. Л., Лаврут О. О., Івко С. О. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ : зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф.*, м. Львів, 14-15 трав. 2015 р. Львів, 2015. С. 172.

3. Development of a Method for Boundary Determination of the Noise-resistant Area of the UHF/VHF Band. / O. Yu. Iohov et al. *Advances in Military Technology*. 2020. Vol. 15. No. 2. Pp. 231 – 246. DOI 10.3849/aimt.01376.

4. Bounds Calculation Method Of Electromagnetic Availability Zone Of Radio Emission Source. / V. Maliuk et al. *Advances in Military Technology*. 2022. Vol. 17. No. 2. Pp. 341 – 356. DOI 10.3849/aimt.01739.

5. Volobuev A. P., Jakovlev M. Yu. and Fedin O. V. Method of Mathematical Modelling of Electromagnetic Accessibility of a Promising Mobile Radio Communication System (in Ukrainian). *Weapons and Military Equipment*. 2015. № 2 (6). Pp. 28 – 32.

6. Результаты реализации в виде программного продукта способа построения зон электромагнитной доступности средств радиоконтроля / Калюжный Н. М., Галкин С. А., Коржуков К. Н., Хряпкин А. В. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2015. № 2 (19). С. 111 – 114.

7. MOTOTRBO™ DP4000 Series Digital Two-way Portable Radios. URL: <https://cutt.ly/AYp8rV4> (дата звернення: 06.05.2023).

8. Parsons J. D. *The Mobile Radio Propagation Channel*. 2nd ed. Hoboken : Wiley, 2000. ISBN 0-471-98857-X.

9. Calculation of Free-Space Attenuation. Recommendation ITU-R. P. 525-4. URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525-4-201908-I/en> (дата звернення: 06.05.2023).
10. Egli J. J. Radio Propagation above 40MC over Irregular Terrain. *Proceedings of the IRE*. IEEE. 1957. № 45(10). Pp. 1383–1391. DOI: 10.1109/JRPROC.1957.278224.
11. Delisle G. Y., Lefevre J.-P., Lecours M. and Chouinard J.-Y. Propagation Loss Prediction: A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel. *Transactions on Vehicular Technology*. IEEE. 1985. No 34 (2). Pp. 86–96. DOI: 10.1109/T-VT.1985.24041.
12. Hata M. Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services. *Transactions Vehicular Technology*. IEEE. 1980. No 29 (3). Pp. 317–325. DOI: 10.1109/T-VT.1980.23859.
13. Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Radio Service / Okamura T., Ohmori E., Kawano T., Fukuda K. *International Review of Electrical Engineering*. 1968. No. 16 (9, 10). Pp. 825–873. DOI: 10.1109/PROC.1968.6860.
14. 3D Electromagnetic Field Simulator for RF and Wireless Design. URL: <https://cutt.ly/HtJrTD7> (дата звернення: 06.05.2023).
15. Plaksienko V. S., Plaksienko N. E. and Plaksienko S. V. Signal Receiving and Processing Devices (in Russian). Moscow : Educational Literature, 2004. 376 p. ISBN 5-8367-0026-X.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2023 р.

UDC 623.55.02

V. Maliuk, S. Timchenko

COMPUTER ANALYSIS OF THE OPERATING CONDITIONS OF THE RADIO CHANNEL OF THE VHF/UHF RANGE TAKING INTO ACCOUNT ZONES OF ELECTROMAGNETIC ACCESSIBILITY OF RADIO EMISSION SOURCES

The paper considers a technique for computer analysis of the working conditions of a VHF/UHF radio channel, taking into account the zones of electromagnetic accessibility of radio emission sources in relation to a topographic map, depending on the terrain characteristics.

Based on the known models of radio signal propagation, mathematical relationships are obtained to determine the boundaries of the electromagnetic accessibility of a radio emission source as part of a mobile radio communication channel on a topographic map of the area. This takes into account the sensitivity of the receiver, the power of the transmitter and the shape of the digitized radiation pattern of its antenna, the scale of the map, and the loss of transmitter power depending on the characteristics of the terrain. On the basis of a modified wave algorithm, a method is proposed for calculating the boundaries of the zone of electromagnetic accessibility of radio facilities of a radio communication channel on a topographic map of the area. The method is characterized by simplicity, high speed and reliability of calculations. Already known techniques for modeling the propagation of a radio signal can be easily integrated into the proposed algorithm.

The shape of the electromagnetic accessibility zone is determined by the digitized radiation pattern of the transmitter antenna, obtained using special software. The size of the EMI zone depends on the power and frequency of the radio transmitter, the power loss for signal propagation, and the sensitivity of the radio signal receiver.

A technique for computer analysis of the working conditions of the VHF/UHF radio channel has been developed and implemented in the program for the operational support of the operation of mobile radio communications used in tactical levels of command and control of units and subdivisions of law enforcement agencies of Ukraine. Practical examples show the expediency of calculating the electromagnetic availability of radio facilities on a map of the area with a tactical situation in the tasks of assessing the performance of a mobile radio communication channel.

К е у в о р д с : EMI zone, radio channel, Friis signal transmission equation, Egli model.

Малюк Віктор Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри військового зв'язку та інформатизації Національної академії Національної гвардії України.
<https://orcid.org/0000-0001-6510-3025>

Тимченко Сергій Юрійович – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України.
[http:// orcid.org/ 0000-0002-1718-0138](http://orcid.org/0000-0002-1718-0138)