

А.Л. Мельник, ад'юнкт  
О.О. Писарчук, к.т.н., с.н.с.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету

## МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ МІСЦЕВИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ РІЗНОТИПНИХ ЗАСОБІВ

*У статті запропоновано методику формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів. Методика дозволяє визначити оптимальну кількість вимірювачів у системі, сформувати оптимальну просторову структуру стаціонарних вимірювачів та розрахувати координати дислокації додаткових вимірювачів.*

**Вступ.** У зв'язку із зростанням кількості радіоелектронних засобів, передача інформації в яких проводиться з використанням електромагнітних хвиль, відбувається перевантаження освоєних діапазонів радіочастот і ускладнення електромагнітної обстановки. Це, в свою чергу, призводить до підвищення ймовірності виникнення похибок під час передачі інформації по радіолініях. Запобігти цьому можливо шляхом постійного моніторингу використання джерел радіовипромінювання (ДРВ).

До задач, які вирішується під час радіомоніторингу, належить ідентифікація джерел радіовипромінювання [1]. Однією з ознак, яка дозволяє ідентифікувати джерело, є його координати. Визначення координат можливо провести з використанням кутомірного методу. Зростання кількості радіоелектронних засобів (РЕЗ) вимагає підвищення роздільної здатності системи місцевизначення, а відповідно зменшення похибки визначення координат. Разом з тим, зростання кількості РЕЗ вимагає підвищення пропускної здатності системи місцевизначення. Відповідно, актуальною є задача формування оптимальної структури мережі вимірювачів шляхом забезпечення підвищення точності визначення координат ДРВ та високої пропускної здатності системи.

**Аналіз сучасних джерел** радіовипромінювання показав, що на невеликій території може перебувати декілька ДРВ, які працюють у різних діапазонах, хоча належать до одного об'єкта спостереження (наприклад літак, який має на борту станцію зв'язку короткохвильового (КХ) діапазону, та радіомаяк, який працює в ультракороткохвильовому (УКХ) діапазоні), це дає можливість використовувати для визначення координат об'єкта вимірювачів, які працюють у різних діапазонах частот.

Відомо декілька підходів щодо формування оптимальної структури системи місцевизначення [2–5]. Одні з них [2–3] базуються на використанні статистичного моделювання при цьому адекватність отриманих результатів визначається прийнятими в моделі спрощеннями, що можна віднести до їх недоліків. У [4] запропоновано методику визначення оптимальної кількості вимірювачів у системі з використанням багатокритеріального підходу, при цьому розв'язок задачі щодо оптимального просторового розміщення вимірювачів не розглядається, крім того використання в якості критерію оптимальності пропускної здатності системи є більш актуальним, ніж її вартість, що пов'язано з постійним зростанням кількості джерел радіовипромінювання. У [5] запропоновано підхід щодо формування оптимальної структури мережі, до складу якої входять лише однотипні вимірювачі, крім того в ньому не враховується пропускна здатність системи.

Таким чином, **метою статті** є розробка методики формування оптимальної структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів.

В якості вихідної інформації для формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення використовуємо наступні умови: на певній території існує множина з  $K$  вимірювачів з відомими координатами  $(B_i, L_i)$  та відомими характеристиками (діапазон робочих частот, інструментальна похибка вимірювання інформативного параметра). Необхідно забезпечити формування оптимальної структури мережі вимірювачів шляхом вибору з наявних обмеженої кількості, що забезпечить мінімальну похибку визначення координат при максимальній пропускній здатності системи за обраним напрямком спостереження, та доповнення (за необхідності) отриманої структури додатковими вимірювачами, що дозволить підвищити точність визначення координат.

Пропонується здійснювати розв'язок задачі формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів у 3 етапи:

1. Визначення оптимальної кількості вимірювачів.
2. Вибір серед наявних стаціонарних вимірювачів тих, які забезпечать визначеною обмеженою кількістю інформаційних засобів мінімальну похибку визначення координат джерел радіовипромінювання.
3. Визначення координат додаткового (мобільного) вимірювача.

Визначення оптимальної кількості вимірювачів полягає у розрахунку такої їх кількості, яка забезпечить найменшу похибку місцевизначення при найбільшій пропускній здатності системи місцевизначення. Підвищення точності визначення координат системи призводить до необхідності збільшення кількості вимірювачів, що працюють за обраним напрямком, та, як наслідок, до зниження пропускної здатності системи за іншими напрямками. Відповідно можливо сформулювати два суперечливі критерії, які дають змогу віднести дану задачу до класу багатокритеріальних [6].

У якості першого частинного критерію використовується вимога до мінімізації середньоквадратичної похибки визначення координат ДРВ

$$R_p(N) \Rightarrow \min . \tag{1}$$

Пропускна здатність системи визначається пропускними здатностями вимірювачів у системи та кількістю вимірювачів, що задіяні за обраним напрямком спостереження, а вимога її максимізації є другим критерієм оптимізації структури системи місцевизначення:

$$V(N) \Rightarrow \max , \tag{2}$$

У загальному вигляді методика розв'язку багатокритеріальних задач можна звести до розрахунку оптимальних значень шуканих параметрів з використанням узагальненого критерію якості, який формується на основі частинних критеріїв [6–7]. Частинні критерії при цьому можливо представити у вигляді їх аналітичних залежностей від шуканих параметрів або у вигляді таблиці дискретних значень. Оскільки розв'язком задачі визначення оптимальної кількості вимірювачів є ціле число, то частинні критерії доцільно представляти у вигляді дискретних значень.

Значення першого частинного критерію отримаємо з використанням виразу для визначення радіуса довірчої області похибки визначення координат ДРВ [3]:

$$R_p(N) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^N \frac{1}{(\sigma_{\theta_q} R_q)^2}}{\sum_{q=1}^N \sum_{\xi=q+1}^N \left( \frac{\sin \gamma_{q\xi}}{\sigma_{\theta_q} \sigma_{\theta_\xi} R_q R_\xi} \right)^2}} , \tag{3}$$

де  $\gamma_{q\xi}$  – кут засічки, утворений перетином пеленгів від  $q$ -го та  $\xi$ -го вимірювача на ДРВ;  $\sigma_{\theta_q}, \sigma_{\theta_\xi}$  – середньоквадратичне відхилення похибки визначення пеленгів відповідним вимірювачем;  $R_q, R_\xi$  – відстань від точки розташування ДРВ до кожного вимірювача в парі.

У якості спрощеної моделі для визначення пропускної здатності мережі можливо використати наступний вираз:

$$V(N) = V_\Sigma - \sum_{i=1}^N V_i + V_{\min(i)} , \tag{4}$$

де  $V_i$  – пропускна здатність окремого вимірювача;  $V_{\min(i)}$  – мінімальна пропускна здатність вимірювача, який входить до складу мережі;  $V_\Sigma$  – пропускна здатність системи, за умови, що кожен з  $K$  вимірювачів використовується окремо:

$$V_\Sigma = \sum_{i=1}^K V_i . \tag{5}$$

Для формування узагальненого показника ефективності серед відомих підходів [6–7] обираємо згортку професора А.М. Вороніна, яка має наступні переваги:

оптимізаційна задача розв'язується в умовах обмежень, що гарантує отримання результату за будь-яких умов;

у згортці реалізовано мінімакський підхід, що надає можливість зосередитися на екстремальності домінуючого критерію;

гарантується унімодалність результуючого функціоналу;

невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення порівняно з іншими підходами.

Згортка професора А.М. Вороніна для дискретних значень має вигляд

$$\chi = \sum_{j=1}^m \gamma_{j0} (1 - \varphi_{j0})^{-1} , \tag{6}$$

де  $m$  – кількість частинних критеріїв, які входять до згортки;  $\gamma_{j0}$  – нормований ваговий коефіцієнт  $j$ -го критерію;  $\varphi_{j0}$  – нормований частинний критерій.

Нормування частинних критеріїв відбувається окремо для параметрів, які мінімізуються та максимізуються відносно суми значень, що характеризують зміну частинних критеріїв

$$\varphi_{j0} = \varphi_i^{\min} / \sum_{i=1}^M \varphi_i^{\min}, \quad \varphi_{j0} = \left( \sum_{i=1}^{m-M} \varphi_i^{\max} \right) / \varphi_i^{\max}, \quad (7)$$

де  $M$  – кількість критеріїв, які мінімізуються.

Використовуючи згортку (6) та нормування (7) вираз для узагальненого критерію оптимальності структури системи місцевизначення за кількісним складом має вигляд

$$\chi_v = \gamma_{j1} \left( 1 - \frac{R_{p_v}}{R_{p_\Sigma}} \right)^{-1} + \gamma_{j2} \left( 1 - \frac{V_\Sigma}{V_v} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де  $v = 1 \dots N$  – кількість вимірювачів, які утворюють оптимальну структуру.

Оптимальне значення кількості вимірювачів  $N_{opt}$  буде відповідати мінімальному значенню узагальненого критерію якості (8).

Наступним етапом розв'язку задачі визначення оптимальної структури системи місцевизначення є формування оптимальної просторової структури мережі за обраним напрямком спостереження на основі стаціонарних вимірювачів. Для цього необхідно з  $K$  наявних стаціонарних вимірювачів відібрати  $N_{opt}$ , які забезпечать мінімальну похибку визначення координат.

Формування системи частинних критеріїв оптимальності просторової структури мережі вимірювачів здійснюємо із таких міркувань. Аналіз виразу (3) показує залежність похибки визначення координат ДРВ від точнісних характеристик вимірювачів  $\sigma_{\theta q}$ , кута засічки  $\gamma$ ; відстаней від вимірювачів до ДРВ  $R_q, R_\xi$ , які можливо виразити через висоту трикутника засічки  $h$ , що утворений точками розташування вимірювачів та ДРВ, яка проведена з вершини де розташовано джерело. Відповідно, існує можливість отримання оптимального просторового розміщення пари вимірювачів відносно ДРВ, яке забезпечить мінімальну похибку визначення координат ДРВ та для якої вказані параметри матимуть оптимальні значення –  $\gamma_{opt}, h_{opt}$ . Отже, в якості частинних критеріїв оптимальності пари доцільно використовувати мінімізацію різниці між оптимальними значеннями вказаних параметрів та реальними:

$$\Delta\gamma = |\gamma_{opt} - \gamma| \Rightarrow \min, \quad \Delta h = |h_{opt} - h| \Rightarrow \min. \quad (9)$$

Крім того, під час використання вимірювачів, що працюють у різних діапазонах частот виникає додаткова похибка, яка залежить від відстані між джерелами радіовипромінювання на об'єкті спостереження. Дослідження залежності даної похибки від різних параметрів показали, що досить суттєво на її величину впливає відношення величини відстані між джерелами до величини бази між вимірювачами:

$$Y_{q\xi} = \frac{b}{B_{q\xi}}, \quad (10)$$

де  $b$  – відстань між ДРВ на об'єкті спостереження;  $B_{q\xi}$  – база між  $q$ -м та  $\xi$ -м вимірювачами. Для зменшення такої похибки необхідно забезпечити мінімізацію вказаного відношення. Обрані вище частинні критерії описують лише просторову структуру системи та не враховують можливість виявлення ДРВ вимірювачем, тому доцільно в якості критерію використовувати максимізацію ймовірності електромагнітної доступності для кожного вимірювача в парі.

Відповідно, система частинних критеріїв оптимальності просторової структури мережі вимірювачів для кожної пари має вигляд:

$$\begin{cases} \sigma_{\theta q} \Rightarrow \min, \sigma_{\theta \xi} \Rightarrow \min \\ \Delta\gamma_{q\xi} \Rightarrow \min, \Delta h_q \Rightarrow \min \\ \Delta h_\xi \Rightarrow \min, Y_{q\xi} \Rightarrow \min \\ P_{Eq} \Rightarrow \max, P_{E\xi} \Rightarrow \max \end{cases}. \quad (11)$$

$$q = 1 \dots (N - 1), \quad \xi = q + (1 \dots N)$$

Використання частинних критеріїв (11) дозволить приймати рішення щодо ефективності використання кожної пари вимірювачів. Для чого формується узагальнений критерій ефективності використання пари вимірювачів на основі виразу (6):

$$\chi_{q\xi} = \gamma_{10}(1 - \Delta\gamma_{q\xi 0})^{-1} + \gamma_{20}(1 - \Delta h_{q0})^{-1} + \gamma_{30}(1 - \Delta h_{\xi 0})^{-1} + \gamma_{40}(1 - P_{Eq0})^{-1} + \gamma_{50}(1 - P_{E\xi 0})^{-1} + \gamma_{60}(1 - Y_{q\xi 0})^{-1} + \gamma_{70}(1 - \sigma_q)^{-1} + \gamma_{80}(1 - \sigma_\xi)^{-1}, \quad (12)$$

Для формування узагальненого критерію якості кожного вимірювача використовуємо підхід вкладених згорток [4]. Для чого проводиться нормування узагальненого показника якості кожної пари

відносно деякого порогового значення  $\chi_{thr}$  (значення для абстрактної пари, яка забезпечує найгіршу точність визначення координат)

$$W_{q\xi} = \chi_{q\xi} / \chi_{thr}, \tag{13}$$

та формується узагальнений критерій якості використання кожного вимірювача на основі критеріїв якості пар, в яких він задіяний:

$$Z_i = \sum_{n=1}^{i-1} (1 - W_{in})^{-1} + \sum_{k=i+1}^N (1 - W_{ik})^{-1}. \tag{14}$$

З використанням виразу (14) отримано множину значень узагальненого показника ефективності для кожного критерію. Відбір вимірювачів, які формують оптимальну структуру полягає у розташуванні отриманих значень в порядку зростання та відборі перших  $N_{opt}$  вимірювачів з наявних

Заключним етапом формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення є визначення координат додаткових вимірювачів, якими можливо доповнити систему за необхідності підвищення точності визначення координат за обраним напрямком.

Для визначення координат додаткових вимірювачів використовуємо багатокритеріальний підхід. У якості частинного показника ефективності доцільно використовувати залежність похибки визначення координат ДРВ від координат додаткового вимірювача  $(\varphi_m, \lambda_m)$ . Модельна функція для даного показника формується на основі виразу (3). Для чого визначається залежність кута засічки від координат додаткового вимірювача:

$$\gamma_{kM}(\varphi_m, \lambda_m) = \arccos\left(\frac{B_{kM}(\varphi_m, \lambda_m)^2 - R_k^2 - R_M(\varphi_m, \lambda_m)^2}{2R_k R_M(\varphi_m, \lambda_m)}\right), \tag{15}$$

де  $\varphi_k, \lambda_k$  – сферичні координати стаціонарного вимірювача;  $R_k$  – відстань від вимірювача, який перебуває в парі з додатковим до ДРВ;  $B_{kM}(\varphi_m, \lambda_m)$  – залежність величини бази між  $k$ -тим вимірювачем та мобільним від координат останнього:

$$B_{kM}(\varphi_m, \lambda_m) = 6371 \cdot \arccos(\sin(\varphi_k) \sin(\varphi_m) + \cos(\varphi_k) \cos(\varphi_m) \cos(\lambda_m - \lambda_k)), \tag{16}$$

$R_M(\varphi_m, \lambda_m)$  – залежність відстані від ДРВ до додаткового вимірювача від координат останнього:

$$R_M(\varphi_m, \lambda_m) = 6371 \cdot \arccos(\sin(\varphi_{OP}) \sin(\varphi_m) + \cos(\varphi_{OP}) \cos(\varphi_m) \cos(\lambda_m - \lambda_{OP})), \tag{17}$$

де  $\varphi_{OP}, \lambda_{OP}$  – сферичні координати центру району спостереження.

Підставивши до виразу (3) в аналітичні залежності для кута засічки та відстані від ДРВ до вимірювача для відповідних величин додаткового вимірювача, можливо отримати аналітичний вираз для залежності похибки визначення координат системою вимірювачів від координат додаткового.

У якості частинного критерію доцільно використовувати мінімізацію похибки визначення координат об'єкта спостереження:

$$R_p(\lambda_m, \varphi_m) \Rightarrow \min. \tag{18}$$

Оскільки необхідно забезпечити максимальне відношення між розмірами об'єкта спостереження та базою між вимірювачами (10), то в якості другого частинного критерію доцільно використовувати вимогу максимізації залежності площі сферичної фігури обмеженої мережею вимірювачів від координат додаткового:

$$S_{sph}(\lambda_m, \varphi_m) \Rightarrow \max. \tag{19}$$

Тоді система частинних критеріїв має вигляд

$$\begin{cases} R_p(\lambda_m, \varphi_m) \Rightarrow \min \\ S_{sph}(\lambda_m, \varphi_m) \Rightarrow \max \\ \lambda_m, \varphi_m \Rightarrow \text{var} \end{cases} \tag{20}$$

Для формування оптимізаційної моделі показника ефективності системи з додатковим вимірювачем використовуємо згортку професора А.М. Вороніна за нелінійною схемою компромісів для безперервних функцій:

$$Z(\lambda_m, \varphi_m) = \arg \min_{\lambda_m, \varphi_m \in D} \left( (1 - R_{p0}(\lambda_m, \varphi_m))^{-1} + (1 - S_{sph0}(\lambda_m, \varphi_m))^{-1} \right). \tag{21}$$

Розташування вимірювачів можливе лише на визначеній території (наприклад, територія обмежена кордонами держави), відповідно задача визначення координат додаткового вимірювача розв'язується в

умовах обмежень, що враховується вимогою  $\lambda_m, \varphi_m \in D$  та реалізовується на етапі нормувань частинних критеріїв.

Визначення координат додаткового вимірювача, які забезпечать максимальну ефективність його використання, проводимо шляхом пошуку мінімального значення функції (21).

Виходячи зі сказаного вище, методику формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів можливо представити у вигляді структурної схеми рис. 1.

Відповідно до рис. 1 розв'язок задачі формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення пропонується шукати в декілька етапів:

1. Визначення оптимального кількісного складу системи на основі наявних стаціонарних вимірювачів з відомими координатами та характеристиками, що досягається шляхом формування системи частинних критеріїв оптимальності системи (розрахунку значень, що оцінюють їх зміну). Наступним кроком є отримання значень узагальненого критерію якості системи з використанням дискретної згортки професора А.М. Вороніна та вибору оптимальної кількості вимірювачів на їх основі.

2. Визначення оптимальної структури системи місцевизначення на основі стаціонарних вимірювачів. Полягає у формуванні частинних критеріїв якості використання можливих пар вимірювачів з наступним розрахунком узагальненого критерію якості використання пари, на основі якого проводиться розрахунок значень критерію якості використання кожного вимірювача.

Перші два етапи надають можливість сформувати оптимальну просторову структуру системи місцевизначення за обраним напрямком спостереження на основі наявних стаціонарних вимірювачів шляхом оптимального їх розподілу.

3. Визначення координат дислокації додаткових вимірювачів проводиться шляхом формування аналітичних залежностей частинних критеріїв якості системи місцевизначення від координат додаткових вимірювачів з подальшим формуванням узагальненого критерію якості системи з використанням згортки професора А.М. Вороніна. Пошук координат дислокації додаткових вимірювачів проводиться на основі аналізу аналітичної залежності узагальненого критерію якості системи з урахуванням обмежень по території дислокації.

Останній етап може виконуватися без виконання перших двох, якщо необхідно доповнити вже створену систему.

Для проведення дослідження запропонованої методики було розглянуто систему, яка містить 4 стаціонарні вимірювачі, координати дислокації та характеристики яких наведено нижче:

- вимірювач 1 – 45°22' пн. широти, 36°26' зх. довготи,  $\sigma_1=1,7^\circ$ ,  $V_1=120$  ДРВ/год;
- вимірювач 2 – 45°13' пн. широти, 33°17' зх. довготи,  $\sigma_2=1,7^\circ$ ,  $V_2=120$  ДРВ/год;
- вимірювач 3 – 44°30' пн. широти, 33°28' зх. довготи,  $\sigma_3=1,7^\circ$ ,  $V_3=120$  ДРВ/год;
- вимірювач 4 – 45°30' пн. широти, 32°42' зх. довготи,  $\sigma_4=1,2^\circ$ ,  $V_4=120$  ДРВ/год.

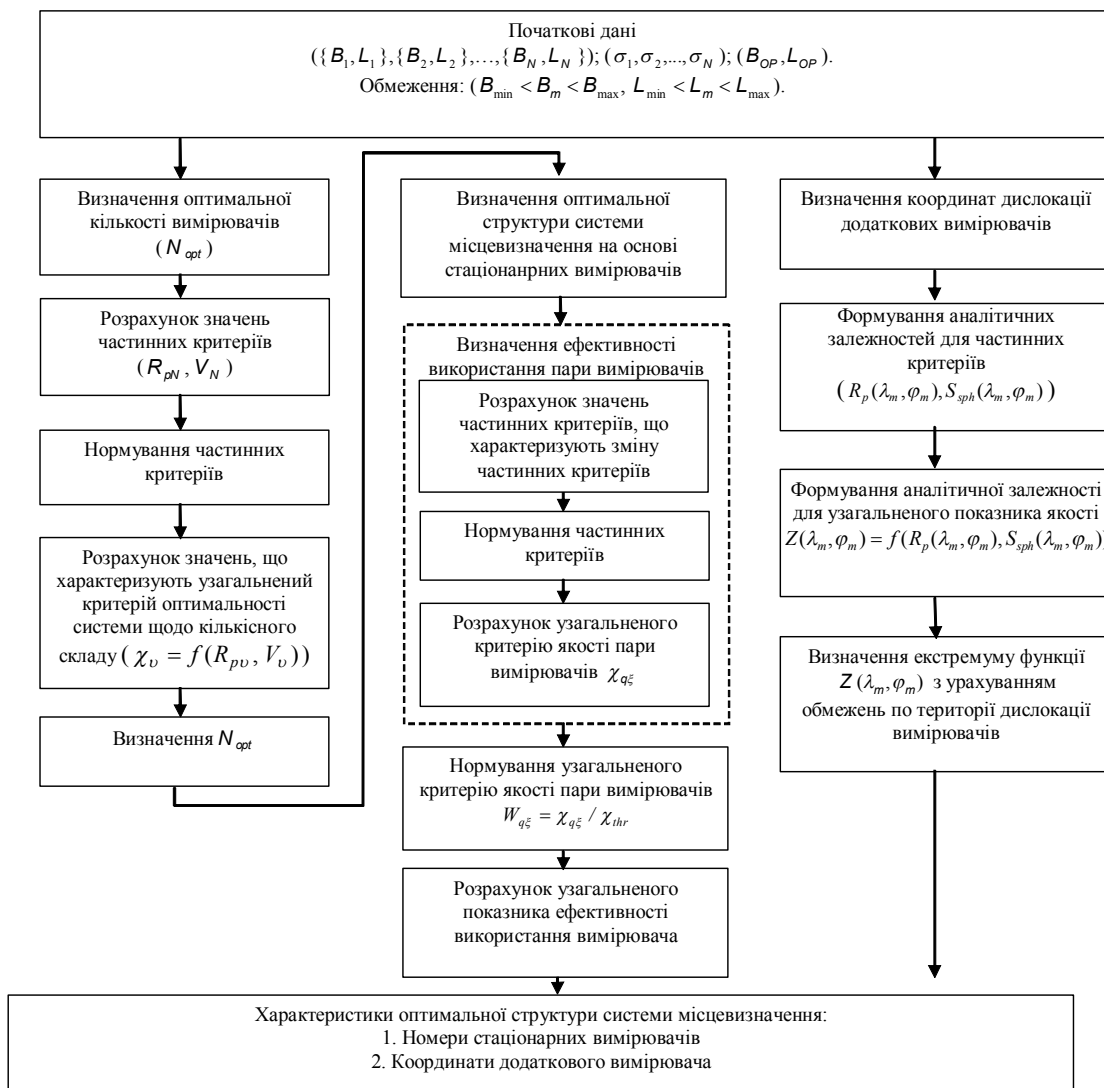


Рис. 1

Вимірювачі 1, 2, 3 – радіопеленгатори КХ-діапазону, вимірювач 4 – радіопеленгатор УКХ-діапазону. Розглянуто випадок спостереження за районом, який має координати центру  $46^{\circ}05'$  пн. широти та  $38^{\circ}13'$  сх. довготи та в якому перебуває об'єкт спостереження, що містить джерела радіовипромінювання різних діапазонів та має діаметр 200 м.

З використанням виразів (3), (4), (8) проведено розрахунок значень частинних та узагальненого критерію оптимальності системи місцевизначення щодо кількісного складу, результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

$\nu$	2	3	4
$Rp_\nu$	83,722	40,893	27,876
$V_\nu$	360	240	120
$\chi_\nu$	3,717	3,36	4,22

Як видно зі значень зміни узагальненого критерію якості, оптимальним буде використання трьох вимірювачів, оскільки саме для даної кількості він має мінімальне значення.

Для відбору вимірювачів, які забезпечать формування оптимальної просторової структури проведено розрахунок частинних та узагальненого критерію ефективності використання кожної пари (табл. 2).

Таблиця 2

$q, \xi$	1,2	1,3	1,4	2,3	2,4	3,4
$R_q$ (км)	160,05	160,05	160,05	395,74	395,74	411,44
$R_\xi$ (км)	395,74	411,44	432,97	411,44	432,97	432,97
$P_q$	0,8666	0,8666	0,8666	0,6702	0,6702	0,6571
$P_\xi$	0,6702	0,6571	0,6392	0,6571	0,6392	0,6392
$\Delta\gamma_{q\xi}$ (град)	92,851	104,16	87,167	98,4	104,02	92,719
$\Delta h_q$ (км)	153,5	211,69	158,22	157,06	56,916	162,08
$\Delta h_\xi$ (км)	17,806	66,96	1,0941	166,1	78,351	174,48
$Y_{q\xi}$	0	0	0,0007	0	0,0036	0,0016
$\chi_{q\xi}$	6,4389	6,6874	6,3588	6,942	6,467	6,9353

Як видно з таблиці 2, при використанні однотипних засобів значення відношення розмірів ОР до величини бази між вимірювачами дорівнює нулю.

Після нормувань (13) та використання виразу (14) отримано значення для узагальненого показника ефективності кожного вимірювача (табл. 3)

Таблиця 3

i	1	2	3	4
$Z_i$	3,6013	3,6149	3,6417	3,6117

Отже, визначено оптимальну кількість вимірювачів, яка складає 3 засоби. Для визначення оптимального складу системи місцевизначення необхідно розташувати вимірювачі в порядку зростання значень узагальненого критерію якості їх використання та обрати перші 3 вимірювачі. Після проведення вказаних операцій було обрано комбінацію з 1-го, 2-го та 4-го вимірювачів.

Для перевірки правильності прийнятого рішення, розраховано середньоквадратичні похибки для всіх комбінацій з 3-х вимірювачів (табл. 4):

Таблиця 4

Номери вимірювачів, які входять до складу мережі	1,2,3	1,2,4	1,3,4	2,3,4
$R_p$ (км)	54,4276	28,03054	29,50389	62,12296

З таблиці 4 видно, що найменша похибка визначення координат ДРВ чи ОР матиме місце в системі з використанням вимірювачів, які визначено за допомогою розробленої методики.

Перевірку можливостей щодо визначення координат додаткового вимірювача здійснено з використанням системи, яка містить 2 стаціонарних вимірювачі КХ-діапазону, координати та характеристики яких подано нижче:

Вимірювач 1 – 42° пн. широти, 32° сх. довготи,  $\sigma_1=1,7^\circ$ ;

Вимірювач 2 – 49° пн. широти, 32° сх. довготи,  $\sigma_2=1,7^\circ$ .

Координати району спостереження: 44,5° пн. широти, 35,5° зх. довготи.

Після формування функціонала для узагальненого показника якості та пошуку його мінімального значення за умов обмежень  $30 < \lambda_m < 40$ ,  $40 < \varphi_m < 50$  отримано координати точки дислокації додаткового вимірювача:  $\lambda_m=36,84^\circ$  сх. довготи;  $\varphi_m=44,5^\circ$  пн. широти.

Похибка визначення координат: без мобільного вимірювача складає 26 км з використанням мобільного вимірювача – 14 км, тобто використання додаткового вимірювача, який встановлено за отриманими координатами призведе до зменшення похибки визначення координат майже у 2 рази.

Таким чином, результати розрахунків підтверджують ефективність розробленої методики формування оптимальної структури системи місцевизначення. Запропонований підхід дозволяє сформувати структуру системи місцевизначення з використанням стаціонарних вимірювачів, шляхом оптимального їх розподілу за напрямками спостереження та визначати координати додаткового вимірювача, яким за необхідності можливо доповнити систему. Вперше отримано аналітичний розв'язок задачі визначення координат додаткового вимірювача, що досягнуто шляхом використання скалярної згортки за нелінійною схемою компромісів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Слободанюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу / За заг. ред П.В. Слободанюка. – Ніжин: ТОВ “Видавництво”Аспект-Поліграф”, 2008. – 588 с.: іл.
2. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 415 с.
3. Кукес И.С., Старин М.Е. Основы радиопеленгации. – М.: Сов. радио, 1964. – 640 с.
4. Ковбасюк С.В., Писарчук А.А. Методика оптимизации выбора параметров структуры многопозиционного радиолокационного комплекса // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 6. – С. 120–128.
5. Писарчук А.А., Мельник А.Л., Бондаренко Ю.Л. Методика формирования оптимальной структуры радиопеленгаторной сети // Проблемы управления и информатики. – 2008. – № 3. – С. 120–128.
4. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.
6. Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Харченко А.В., Осташевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: метод использования. – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.
7. Воронин А.Н. Вложенные скалярные свертки векторного критерия // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 5. – С. 10–21.

МЕЛЬНИК Антон Леонідович – ад’юнкт Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- системи місцевизначення джерел радіоелектронного випромінювання;
- методи багатокритеріальної оптимізації складних систем

ПИСАРЧУК Олексій Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- системи місцевизначення джерел радіоелектронного випромінювання;
- методи багатокритеріальної оптимізації складних систем.

Подано 20.08.2009



**Мельник А.Л., Писарчук А.А.** Методика оптимізації структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів

**Мельник А.Л., Писарчук А.А.** Методика оптимизации структуры системы местоопределения на основе разнотипных средств

**Melnyk A., Pisarchuk A.** Optimisation procedure of a position finding system structure on basis of the varied aids

УДК 621.396.96

**Методика оптимизации структуры системы местоопределения на основе разнотипных средств / А.Л. Мельник, А.А. Писарчук**

В статье предложена методика формирования оптимальной пространственной структуры системы местоопределения на основе разнотипных средств. Методика дает возможность определить оптимальный количественный состав измерителей, пространственную структуру стационарных измерителей, а также координаты дислокации дополнительных измерителей

УДК 621.396.96

**Optimisation procedure of a position finding system structure on basis of the varied aids / A. Melnyk, A. Pisarchuk**

Creation procedure of a finding system space structure on basis of the varied aids is offered. The procedure allows defining an optimal quantitative composition of the measurers, the space structure of the fixed measurers and also the coordinates of additional measurers.

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Начальник Житомирського військового  
інституту імені С. П. Корольова  
Національного авіаційного університету  
генерал-майор М.Ф. ПІЧУГІН  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2009 р.

### АКТ ЕКСПЕРТИЗИ

Експертна комісія Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова Національного авіаційного університету у складі голови комісії САЩУКА І.М. та членів комісії: ЗАВАДИ А.А. та ХОДАКІВСЬКОГО В.М. розглянула матеріали статті МЕЛЬНИКА А.Л. та ПИСАРЧУКА О.О. «Методика оптимізації структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів» на 8 аркушах, щодо наявності в матеріалах статті відомостей, заборонених до відкритого опублікування.

#### Зробила висновки:

1. Матеріали статті не містять відомостей, включених до “Зводу відомостей, що становлять державну таємницю”, які затверджені наказом Голови Служби безпеки України від 12.08.05 №440.
2. Матеріали статті не суперечать вимогам наказу начальника Генерального штабу Збройних Сил України від 30.06.99 №43.
3. Матеріали статті можуть бути опубліковані у відкритих виданнях України.

Голова комісії:

І.М. САЩУК

Члени комісії:

А.А. ЗАВАДА

В.М. ХОДАКІВСЬКИЙ

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2009 р.

## РЕЦЕНЗІЯ

На статтю начальника наукового центру, кандидата технічних наук,  
старшого наукового співробітника підполковника Писарчука О.О.,  
ад'юнкта наукового центру старшого лейтенанта Мельника А.Л.  
"Методика оптимізації структури системи місцевизначення на основі  
різнотипних засобів"

Одним з важливих завдань радіоелектронного моніторингу є визначення місцеположення джерел радіовипромінювання. Постійне зростання інтенсивності використання останніх вимагає підвищення точності визначення їх координат. Тому проведення наукових досліджень в даному напрямку є актуальним.

У статті запропоновано для підвищення точності визначення координат об'єктів спостереження використовувати вимірювачі, які працюють в різних діапазонах частот та методику формування оптимальної просторової структури системи місцевизначення на їх основі. Результати математичного моделювання, які наведено в статті підтверджують дієвість запропонованих підходів.

За змістом, науковим рівнем та оформленням стаття Писарчука О.О. та Мельника А.Л. відповідає вимогам, викладеним до статей у Постанові ВАК України від 15.01.2003 р. № 7-05/1 "Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України".

Пропоную рекомендувати до видання у "Віснику Житомирського державного технологічного університету" статтю О.О. Писарчука та Мельника А.Л. "Методика оптимізації структури системи місцевизначення на основі різнотипних засобів"

Рецензент:

Начальник кафедри Житомирського державного  
технологічного університету  
Доктор технічних наук, професор

В.П. МАНОЙЛОВ

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_ р.