

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСИВНИХ ГІПЕРБОЛІЧНИХ СИСТЕМ

© Антонюк В.П., 2009

**Розглянуто основні принципи побудови малобазової пасивної системи визначення місцезнаходження джерел електромагнітного випромінювання сигналів. Запропоновано алгоритм роботи системи в умовах завад, зумовлених відбиттям від границі розділу двох середовищ за апріорної невизначеності значення несучої частоти сигналу. Наведено результати дослідження робочої зони малобазової пасивної гіперболічної системи з довільним розташуванням приймальних пунктів. Наведено результати натурних випробувань експериментального зразка системи.**

**This paper presents a short baseline passive system dedicated for geolocation of electromagnetic sources. System operation algorithm in clutter conditions caused by signal reflection from boundary of two medium at priori uncertainty of signal carrier frequency is proposed. Results of research short baseline passive hyperbolic system coverage with arbitrary places of receivers are presented. Results of full-scale test of system operative embodiment are submitted**

### Постановка проблеми і її зв'язок з науковими завданнями

Бурхливий розвиток нових технологій у галузях радіотехніки, обчислювальної техніки і програмного забезпечення постійно приводить до якісної і кількісної зміни радіочастотного простору. Насамперед ці зміни стосуються забезпечення завадостійкості і скритності радіотехнічних систем як цивільного, так і військового призначення, а також до постійного збільшення їх кількості та ущільнення існуючого частотного ресурсу. З точки зору служб радіочастотного нагляду, спец. підрозділів радіотехнічної розвідки тощо ці процеси зумовлюють необхідність постійного моніторингу радіочастотного простору і разом з тим необхідність постійного розвитку і удосконалення пасивних радіотехнічних систем (ПРТС), якими забезпечується радіомоніторинг. У сфері радіомоніторингу радіочастотного простору одним із актуальних завдань є завдання визначення повного вектора координат місцезнаходження джерел електромагнітного випромінювання (ДЕВ). Серед кутомірних і гіперболічних методів, які найчастіше використовують на практиці для розв'язання завдання визначення місцезнаходження ДЕВ, останні проявили себе як найбільш ефективні. Гіперболічні методи, які часто в іноземній літературі називають скорочено методами TDOA (Time Difference of Arrival), для приймання сигналів використовують антени з малою просторовою селективністю. Це дає змогу в безпошуковому режимі і реальному часі з високою точністю здійснювати виявлення і оцінку місцезнаходження ДЕВ, які випромінюють будь-які типи сигналів, зокрема неперервні і шумоподібні у великому діапазоні відстаней та в широкому секторі кутів місця і азимуту. Суть методів TDOA полягає у розв'язанні системи нелінійних рівнянь, які у разі оцінки площинних координат ДЕВ описують гіперболічні криві, або у випадках оцінки просторових координат – гіперболічні поверхні. Точка перетину не менше двох гіперболічних кривих визначає місцезнаходження ДЕВ на площині, а точка перетину не менше трьох гіперболічних поверхонь визначає місцезнаходження ДЕВ в просторі.

Вихідними даними для розв'язання нелінійних рівнянь є дані геометрії розташування приймальних пунктів, які отримують геодезичними методами під час розгортання системи на робочій позиції і дані вимірювання диференційного часу поступлення сигналу на ці пункти, які отримують радіотехнічними методами вимірювання в сеансах радіомоніторингу простору. Похибки

вимірювання цих величин становлять основу методологічної похибки гіперболічних методів. Під час розробки нової системи, на підставі тактико-технічних вимог в частині похибок вимірювання координат на границі просторової зони відповідальності системи формуються технічні вимоги до засобів вимірювання диференційного часу поступлення сигналів на приймальні пункти в умовах експлуатації і вимоги щодо точності встановлення антен приймальних пунктів в проектне положення. Згідно з [1] для вимірювання трьох просторових координат місцезнаходження ДЕВ, пасивна TDOA система повинна мати не менше чотирьох приймальних пунктів, рознесених на великі базові відстані. Так, наприклад, за необхідності забезпечення відносної середньоквадратичної похибки (СКП) вимірювання відстані 1 % на відстані 400 км в секторі азимутальних кутів  $\pm 60^\circ$ , за СКП вимірювання диференційного часу поступлення сигналу на приймальні пункти в межах 4–25 нс, що характерно для всесвітньо відомої, однієї із найкращих чеських пасивних TDOA систем "Vera", базове рознесення між приймальними пунктами повинно становити не менше 11–28 км відповідно. Проблеми в організації оперативного і надійного зв'язку між приймальними пунктами, а також проблеми, пов'язані з охороною об'єктів на великій території, забезпеченням електроживлення системи, організацією побуту і умов праці для обслуговуючого персоналу, вибором місця дислокації системи тощо, становлять перелік основних недоліків, які властиві системам з великими базами. Ці недоліки істотно знижують показники ефективності систем з великими базами під час експлуатації.

Високі досягнення останніх років в сфері цифрової обробки сигналів і високих технологій у галузі радіотехніки дають змогу по новому підійти до розв'язання науково-технічного завдання, пов'язаного з питаннями підвищення ефективності пасивних TDOA систем.

Границі робочої зони пасивної TDOA системи з точки зору забезпечення її ефективності по допустимих відносних СКП вимірювання координат місцезнаходження ДЕВ в заданому просторовому секторі переважно визначаються можливостями апаратури щодо забезпечення необхідних СКП вимірювання диференційного часу поступлення сигналу на приймальні пункти, через бази між приймальними пунктами, не більшими, ніж декілька сотень метрів. Аналіз складових систематичних похибок і СКП, зумовлених відношенням сигнал/шум, нестабільністю апаратури, похибками дискретизації і похибками методу для систем з великими базами наведено в [2]. Вирази для СКП оцінки полярних координат ДЕВ для симетричної системи з розташуванням приймальних пунктів в одну лінію знайдені в [3]. Аналіз отриманих в [3] співвідношень для СКП вимірювання полярних координат ДЕВ показує, що для одних і тих самих умов вимірювання координат з відносною СКП 1 % на відстані 400 км в секторі кутів  $\pm 60^\circ$  за бази 280 м СКП вимірювання диференційного часу поступлення сигналу на приймальні пункти не повинна перевищувати  $2,674 \times 10^{-12}$  с, що на три порядки точніше, ніж у вищезгаданій системі "Vera". Такого результату фактично неможливо отримати під час вимірювань диференційного часу поступлення сигналу на приймальні пункти по обвідній радіоімпульсних сигналів існуючих ДЕВ, які застосовують у відомих системах.

Сучасні досягнення у галузі радіовимірювальної техніки дають змогу з такими похибками здійснити вимірювання диференційних часових затримок одного і того самого сигналу на основі фазових вимірювань. При цьому для оцінки часової затримки необхідне знання частоти сигналу і забезпечення умов збереження когерентності системи на інтервалах вимірювання. За невідомого значення частоти і відсутності забезпечення умов когерентності системи отримання такого результату неможливе. Проблематично такі вимірювання здійснити і в умовах перехрещених в часі кодових структур сигналів від різних ДЕВ, які одночасно знаходяться і працюють в зоні відповідальності ПРТС. З іншого боку, як відомо з [4], вплив зовнішнього середовища на амплітудно-фазові спотворення сигналу, особливо на малих кутах місця, може призвести до непередбачуваного негативного результату. Вимоги щодо кардинального зменшення похибок вимірювання диференційного часу поступлення сигналів на приймальні пункти, своєю чергою, зумовлюють формулювання відповідних вимог щодо геометричної конфігурації системи і точності вимірювання баз у будь-яких погодних умовах. Від геометричної конфігурації системи залежить вибір методів розв'язання нелінійних рівнянь [5]. Відомі методи розв'язання системи нелінійних рівнянь, які дають прямі аналітичні вирази для розрахунку координат, вимагають строгого

симетричного розташування приймальних пунктів в одну лінію. За порушення таких вимог в системі виникають систематичні похибки, які в широкому секторі відповідальності системи фактично неможливо компенсувати [2]. Методи розв'язання системи нелінійних рівнянь, які ґрунтуються на ітераційних розв'язках після лінеаризації системи рівнянь шляхом розкладу в ряд Тейлора, уможливають довільне розташування приймальних пунктів [5]. Але ітераційні розв'язки не дають змоги отримати повноцінний результат в реальному часі, коли в зоні відповідальності системи, у великому розкиді відстаней і кутових координат, знаходяться сотні ДЕВ, особливо, коли відбувається перехрещення між собою сигналів від різних ДЕВ, які працюють на одній або різних частотах в різних точках оглядового простору.

Слід відмітити, що в багатьох публікаціях, присвячених методам TDOA і їх застосуванню в пасивних системах, передбачають наявність великих баз і відсутність ознак когерентності. У [6] описані алгоритми роботи пасивних TDOA систем з врахуванням кривизни фронту електромагнітної хвилі, але в ній не враховані вищеперераховані проблемні питання, а сама конфігурація системи і відповідні методи вирішення питань передбачають її строгу симетричність і розташування приймальних пунктів в одну лінію, що проблематично реалізувати на практиці. У зв'язку з цим особливу наукову і практичну значущість набуває завдання пошуку можливих шляхів підвищення ефективності гіперболічних ПРТС визначення місцерозташування великої кількості ДЕВ у реальному часі і в широкому оглядовому об'ємі простору. Нижче розглядаються аспекти розв'язання цього завдання.

### **Принципи побудови малобазової пасивної TDOA системи**

Для розв'язання поставлених завдань приймається модель сигналу, в якій елементарний імпульс передбачається вузькосмуговим порівняно з шириною смуги приймальних станцій системи. Це дає змогу розділити його опис в часі і просторі [3]. За структурою сигнали можуть бути як періодичними, так і неперіодичними, з доволі коротким часовим інтервалом випромінювання [3]. У моделі сигналу передбачений випадок впливу інтерференційної завади, яка виникає внаслідок суперпозиції у точці приймання прямої хвилі, і хвилі, перевідбитої поверхнею розділення двох середовищ [4]. Такі завади призводять до часткової або повної втрати інформації, що міститься в амплітуді і фазі прийнятого сигналу [4].

Розв'язок задачі компенсації дзеркальних завад під малими кутами місця і визначення кута місця ДЕВ детально розглянуто у [4, 7, 8]. Для цього в структурі кожного приймального пункту малобазової TDOA системи вводиться вертикальна антенна решітка, на основі якої сформовано три TDOA мікробазис. Такий розв'язок дає змогу підняти енергетичний потенціал приймальних пунктів, здійснити в реальному часі компенсацію дзеркальної завади, оцінити кут місця ДЕВ, і що найголовніше, забезпечити вимірювання повного вектора місцерозташування ДЕВ усього трьох пунктами прийому. Для малобазової TDOA системи за великих потоків сигналів від більше ніж 100 ДЕВ, які можуть одночасно знаходитись в зоні її відповідальності, оптимальним розв'язанням задачі визначення координат місцерозташування ДЕВ у темпі реального часу буде розв'язок, в якому відсутні процедури ітераційних обчислень. Один з варіантів такого розв'язку наведений в [9], передбачає конфігурацію, в якій фазові центри антен бокових приймальних пунктів знаходяться на осі прямокутної системи координат з центром, який знаходиться строго посередині між двома боковими приймальними пунктами. Фазовий центр антени опорного приймального пункту може бути винесеним в точку з координатами  $(x_0, y_0, z_0)$ . Аналіз впливу геометричного фактора на похибки вимірювання координат місцерозташування ДЕВ показав, що до границь відхилення опорного приймального пункту застосовуються доволі жорсткі вимоги. Для забезпечення високих норм за точністю вимірювання координат ДЕВ, сумірних з точністю вимірювання систем з базами у декілька десятків кілометрів, відхилення фазового центра антенної системи опорного приймального пункту від центра координат в малобазовій пасивній TDOA системі з базою близько 300 м, не повинно перевищувати 3 см. Для розв'язання цього завдання автором розроблений алгоритм визначення місцерозташування ДЕВ для малобазової пасивної TDOA системи з довільним розташуванням бокових приймальних пунктів і розташуванням опорного приймального пункту у центрі вимірювальних координат системи, як це показано на рис. 1.

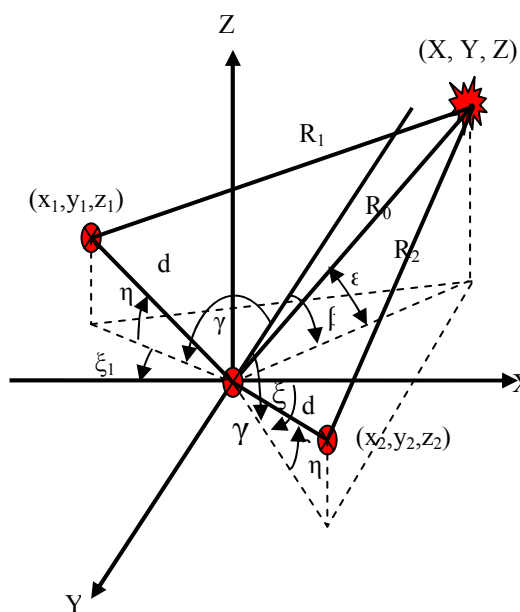


Рис. 1. Геометрія довільного розташування приймальних пунктів у конфігурації тривимірної трипозиційної системи

Алгоритм розрахунку координат і аналітичні вирази для їх обчислення для цієї конфігурації малобазової TDOA системи наведені автором в [10].

Враховуючи порівняльний аналіз способів технічної реалізації пасивних TDOA систем [7], а також вимоги щодо необхідності вимірювання диференційного часу надходження сигналу з СКП у декілька пікосекунд, можна зробити висновок про можливість реалізації малобазової системи у конфігурації, показаній на рис. 1, за забезпечення відповідних умов когерентності. Вибір просторово-когерентної малобазової пасивної TDOA системи автоматично зумовлює вибір рівня об'єднання (спільної обробки) інформації у цій системі, а саме – об'єднання радіосигналів у лінійній частині приймальних каналів з застосуванням аналогових або цифрових ліній зв'язку з великою пропускною спроможністю. Відомі рівні об'єднання у багатопозиційних системах по відеосигналах, по одиноких виявлених відмітках і поодиноким замірах, а також з об'єднанням траєкторій, які вимагають меншої пропускної спроможності лінії зв'язку, порушують виконання умов забезпечення просторової когерентності системи. Тому такі типи об'єднання, незважаючи на істотні спрощення лінії зв'язку, не можуть бути застосовані в малобазовій багатопозиційній системі [11]. Враховуючи це, для технічної реалізації малобазової пасивної трикоординатної TDOA системи можливий єдиний варіант вибору, який стосується об'єднання радіосигналів у лінійній частині приймальних каналів з первинною цифровою обробкою і передачею інформації на вторинну обробку через оптичну широкосмугову цифрову лінію зв'язку. Структурну схему варіанта малобазової пасивної TDOA системи для обох варіантів геометричного розташування приймальних пунктів показано на рис. 2.

В реалізованих варіантах технічного рішення в алгоритм роботи малобазової пасивної тривимірної TDOA системи (рис. 2), закладені такі кроки:

- калібрування системи і вимірювання довжин електричних зв'язків між пунктами приймання;
- виявлення сигналів на фоні власних шумів;
- перетворення сигналу до вигляду, який використовується під час оброблення;
- вимірювання і фіксація частотних і часових параметрів сигналу;
- просторова фільтрація сигналів;
- оцінка кута місця;
- передача інформації на пункт оброблення опорного приймального пункту;
- ідентифікація сигналів за ознакою належності до одного джерела радіочастотного випромінювання;
- вимірювання диференційного часу приходу сигналу на приймальні пункти;
- оцінка азимуту і відстані до ДЕВ;

- ідентифікація ДЕВ по базі даних і базі знань на основі експертних оцінок;
- вивід даних на монітор пристрою відображення інформації з прив'язкою до електронної карти місцевості і оформлення робочого протоколу сеансу контролю;
- запис сеансу вимірювання в реальному часі;
- формування і поповнення бази даних.

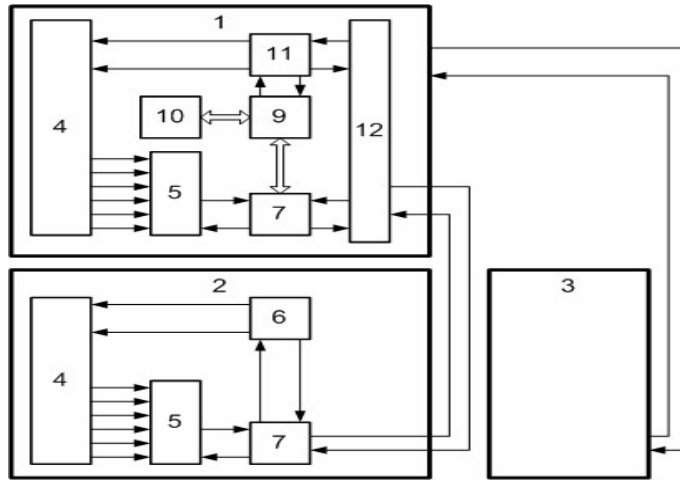


Рис. 2. Структурна схема малобазової пасивної TDOA системи:  
 1 – опорний приймальний пункт; 2, 3 – бокові приймальні пункти;  
 4 – N-елементна вертикальна антенна решітка; 5 – адаптивний просторовий фільтр; 6 – пристрій контролю і управління бокових приймальних пунктів; 7 – пристрій міжстанційного зв'язку і передачі даних бокових приймальних пунктів; 8 – пристрій вимірювання параметрів сигналів і їх ідентифікації; 9 – пристрій оцінки координат місцерозташування ДЕВ; 10 – пристрій відображення інформації і накопичення даних; 11 – пристрій контролю і управління центрального приймального пункту; 12 – пристрій міжстанційного зв'язку і передачі даних центрального приймального пункту

Завдання виявлення і просторово-частотної селекції сигналів, перетворення сигналів до вигляду, який використовується при обробці, одночасно розв'язується на кожному приймальному пункті. Просторова селекція здійснюється вертикальною антенною решіткою і адаптивним просторовим фільтром, який забезпечує розділення і селекцію прямого і відбитого від поверхні розділення середовища сигналу. Частотна селекція і енергетичне виявлення сигналів на фоні власних шумів здійснюється в приймачах з великим динамічним діапазоном, які входять до складу адаптивного просторового фільтра. Завдання ідентифікації сигналів за ознакою належності до конкретних джерел радіочастотного випромінювання, прив'язка координатної інформації до електронної карти місцевості, формування бази даних розв'язуються відповідними пристроями на опорному пункті цифровими методами на алгоритмічному і програмному рівнях.

Вимірювання і контроль баз приймальних пунктів у розгорнутій конфігурації системи на місцевості з точністю здійснюється з використанням сучасних GPS-технологій, методи яких опубліковані у [12]. Способи просторової фільтрації сигналів, способи вимірювання диференційного часу приходу сигналу на приймальні пункти з пікосекундними похибками, алгоритми вимірювання трьох координат ДЕВ, які застосовані в експериментальному зразку малобазової пасивної TDOA системи, опубліковані в [3, 4, 6–9] відповідно.

### Оцінка робочої зони малобазової пасивної TDOA системи

Максимальна робоча зона малобазової пасивної TDOA системи для нульового кута місця може бути знайдена відповідно до виразу:

$$R_0 = \sqrt{\frac{\sigma_{\Delta R}}{\sigma_{\Delta r} \cdot c} \cdot \left( \sqrt{d_1^2 - a_1^2} + \sqrt{d_2^2 - a_2^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{(d_1^2 - a_1^2) \cdot (d_2^2 - a_2^2)}{d_1^2 + d_2^2 - a_1^2 - a_2^2}}},$$

де  $R_0$  – відстань від опорного пункту приймання до ДЕВ, яка визначає границю робочої зони системи за постійного відношення СКП вимірювання відстані до ДЕВ та СКП вимірювання диференційного часу поступлення сигналу на приймальні пункти, м;  $\sigma_{\Delta R}$  – СКП вимірювання відстані до ДЕВ, м;  $\sigma_{\Delta t}$  – СКП вимірювання диференційного часу поступлення сигналу на приймальні пункти, с;  $d_1, d_2$  – бази бокових приймальних пунктів відповідно, м;  $a_i = (x_i \cdot \sin \beta + y_i \cdot \cos \beta) \cdot \cos \varepsilon + z_i \cdot \sin \varepsilon, i = 1, 2$ ;  $b = (\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 + \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2) \cdot \cos \eta \cdot \cos \eta_2 + \sin \eta_1 \cdot \sin \eta_2$ .

Теоретично були проведені дослідження для різних випадків розташування бокових приймальних пунктів стосовно опорного. Встановлено, що за однакових відхилень баз в різних напрямках між приймальними пунктами на кут  $\gamma$  стосовно нормалі до осі  $OX$ , зона дії малобазової пасивної TDOA системи звужується приблизно на кут  $0,5\gamma$ . За однакових відхилень баз в одному напрямку на кут  $\gamma$  стосовно нормалі до осі  $OX$  ширина зони дії малобазової пасивної TDOA системи не змінюється, а здійснюється лише повертання осей  $OXY$  системи координат відповідно на кут  $\gamma$ . Різниця в довжині баз на величину у 10 %, а також перевищення (приниження) висоти встановлення фазових центрів антен в бокових приймальних пунктах стосовно опорного на декілька метрів не мають істотного впливу на зону дії малобазової пасивної TDOA системи. Збільшення різниці висоти розташування фазових центрів антен бокових приймальних пунктів стосовно опорного приймального пункту з будь-яким знаком зумовлює розширення робочої зони системи в секторі азимутальних кутів від  $\pm 60^\circ$  до  $\pm 90^\circ$ . Розміщення баз під кутом  $90^\circ$  в малобазовій пасивній TDOA системі призводить до розділення зони дії на дві частини з розворотом їхніх максимальних напрямків приймання сигналів під кутом  $45^\circ$  в обидва боки стосовно нормалі до осі  $OX$  і утворення в напрямку нормалі глибокого провалу. При цьому ширина кожної із пелюсток звужується приблизно у два рази. Характер зміни зони дії малобазової пасивної TDOA системи за довільного розташування приймальних пунктів для різних баз порівняно з зоною дії пасивної системи "Vera" з симетричним розташуванням приймальних пунктів в одну лінію показано на рис. 3 та 4.

### Результати натурних випробувань системи по реальних об'єктах

Відповідно до вищевикладених принципів побудови малобазових пасивних TDOA систем був створений і випробуваний по реальних об'єктах експериментальний зразок системи, основні складові частини якого зображені на рис. 5. Апаратура експериментального зразка системи, включаючи вертикальну антенну решітку, була розміщена у стаціонарних приміщеннях (рис. 6) з базами 200 м. Інформацію, яка виводиться на екрани декількох моніторів, показано на рис. 7.

Діапазон робочих частот системи – 1000–1250 МГц.

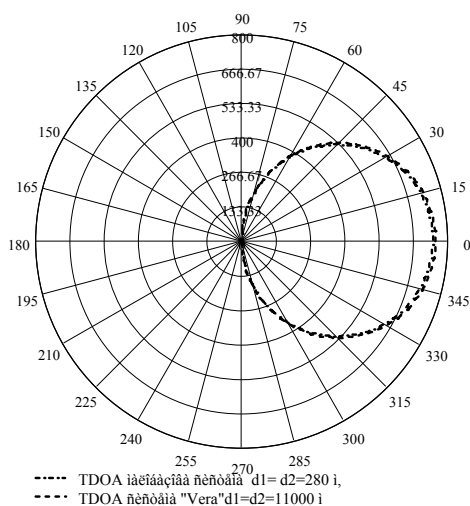


Рис. 3. Робочі зони строго симетричних пасивної TDOA системи "Vera" з базами 11000 м і малобазової пасивної TDOA системи з базами 280 м під час розташування приймальних пунктів в одну лінію

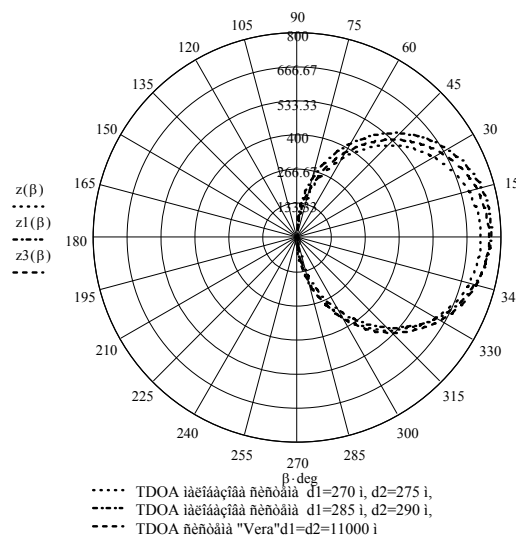


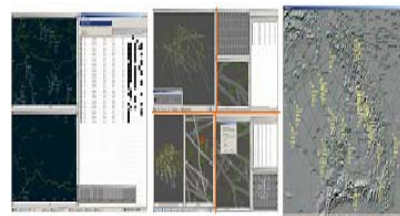
Рис. 4. Робочі зони строго симетричної пасивної TDOA системи "Vera" з базами 11000 м під час розташування приймальних пунктів в одну лінію і базових пасивних TDOA систем з базами  $d_1=270$  м,  $\gamma_1 = -89^\circ$ ,  $d_2=275$  м,  $\gamma_2 = 87^\circ$  і  $d_1=285$  м,  $\gamma_1 = -85^\circ$ ,  $d_2=290$  м,  $\gamma_2 = 92^\circ$



*Рис. 5. Конструкція основних складових частин малобазової пасивної трипозиційної TDOA системи*



*Рис. 6. Приміщення для приймального пункту експериментального зразка стаціонарної малобазової пасивної трипозиційної TDOA системи*



*Рис. 7. Інформація, яка виводиться на екрани моніторів пристрою керування і відображення інформації*

Виміряна міжканальна фазова нестабільність системи у діапазоні частот і температур  $+(20\pm 2)^\circ\text{C}$  становить  $0,4^\circ$ . СКП вимірювання диференційного часу приходу сигналу у пристрої вимірювання параметрів сигналів і їх ідентифікація не перевищує 0,5 пс. Енергетичний потенціал системи забезпечує виявлення джерел радіочастотного випромінювання на відстані від 10 до 400 км. Зона одночасного контролю в діапазоні кутів по азимуту  $\pm 60^\circ$ , по куту місця – від мінус  $2^\circ$  до  $45^\circ$  збігається з розрахунковими даними. СКП вимірювання кутових координат по азимуту і куту місця не перевищує  $1^\circ$ . Пропускна спроможність одночасного виявлення і оцінки координат місця знаходження джерел радіочастотного випромінювання дорівнює 100 джерел. База даних розрахована на 5000 джерел радіочастотного випромінювання. Передбачений режим цифрового запису сеансів роботи з можливістю відтворення у будь-який проміжок часу.

### **Висновки**

За результатами натурних випробувань малобазової пасивної TDOA системи в реальних умовах експлуатації можна зробити такі висновки:

1. Розроблені принципи побудови пасивної TDOA системи з довільним розташуванням її приймальних пунктів, які забезпечують можливість технічної реалізації систем з малими базами.
2. За однакових співвідношень сигнал/шум зона дії малобазової пасивної TDOA системи є сумірною з зоною дії пасивної TDOA системи "Vera", що підтверджує високу її ефективність.
3. Досліджено вплив геометричної конфігурації малобазової системи на характеристики робочої зони. Доведено, що несиметричність баз системи до 10 % не істотно впливають на форму і розміри її робочої зони за постійних значень відношень похибок вимірювань.

1. Chlost O. PSS VERA and its integration into the Czech Air C2 system / Chlost O., Hakl P., Howland P., Moc J. // *Sensor & Electronics Technology Panel*. – Warsaw Poland, April, 2001. 2. Y. Trofimova. Multilateration Error Investigation and Classification. Error Estimation / Y. Trofimova // *Transport and Telecommunication*. – 2007. – № 2, Vol.8. – P. 29–37. 3. Техника контроля и местоопределения источников излучения импульсов. Отчет о проектировании комплексного технического решения / ШПИР. 464339.002 ПЗ – ЛУ. ЛНИРТИ – Львов, 2002. – 316 с. 4. Метод просторової фільтрації сигналу від джерела випромінювання, розташованого над розсіюючою поверхнею / А.Т. Синявський, В.П. Антонюк, В.Г. Грек, М.В. Лобур, Є.І. Кленфер // *Радиоэлектроника и информатика*. 2006. – С. 16–20. 5. <http://scholar.lib.vt.edu/theses/public/etd-447221779662291/etd.pdf/>. 6. Определение местоположения источника радиоизлучения по кривизне фронта электромагнитной волны / Г.Л. Авдеенко, В.И. Федоров, Е.А. Якорнов // *Радиоэлектроника*. – 2008. – № 3, Т. 51. – С. 3–10. 7. Антонюк В.П. / Патент на винахід 73253 UA, G01S 5/22, G01S 13/06, G01S Спосіб вимірювання координат об'єктів, що випромінюють радіочастотні

сигнали, та пристрій що його реалізує / В.П. Антонюк, С.О. Воронков, Л.В. Григорєва, М.М. Грозь, Ю.М. Захарко, В.І. Іванов, Є.І. Клепфер, В.В. Кротов, В.Д. Луц, М.С. Мартинів, Б.І. Проць, Г.С. Радзіх, О.Є. Чудяк, І.І. Якубовський // Бюлетень винаходів. – 2005. – № 6. 8. V. Antonyuk. The adaptive filtering of mirror Reflections in the passive system with mode TDOA. Proceedings of the International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" TSET 2008 // Publishing House of Lviv Polytechnic. – 2008. – С. 177–180. 9. Антонюк В.П., Клепфер Є.І. Алгоритм визначення просторових координат місця знаходження джерел радіовипромінювання для малобазової пасивної трипозиційної системи радіомоніторингу // Сб. научн. тр. 2-го Международн. радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития". – МРФ, 2005. – Т. 2. – Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2005.– С. 505–508. 10. Антонюк В.П. Модифікований алгоритм оцінки місцеположення джерел радіочастотного випромінювання для TDOA малобазової пасивної системи з довільним розташуванням приймальних пунктів // Сб. научн. тр. 3-го Международн. радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития". – МРФ, 2007. – Т. 2. – Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2008. – С. 292–296. 11. Antonyuk V. 3D passive TDOA system with short baseline / V. Antonyuk, I. Prudius, M. Lobur // Proceedings of the International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science" TSET 2008. Publishing House of Lviv Polytechnic. – 2008. – С. 265–268. 12. Антонюк В.П., Клепфер Є.І. Аналіз можливостей сучасних GPS-технологій в задачах високоточного вимірювання базових відстаней в багатопозиційних пасивних радіотехнічних системах // Сб. науч. трудов 2-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ'2005). – Т. II: Международная конференция «Системы локации и навигации» (МКСЛН'2005). – Харьков, АНПРЭ, ХНУРЭ, 2005. – С. 502–504.