

УДК 53.05

**Г.Л. Баранов, д.т.н., с.н.с.  
В.Г. Хоменко, ст. викл.***Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова***МЕТОДИКА УЗАГАЛЬНЕНОГО ОЦІНЮВАННЯ КООРДИНАТ ДЖЕРЕЛ  
ГЕОФІЗИЧНИХ ЗБУРЕНЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАНЬ  
СЕЙСМІЧНИХ ПУНКТІВ**

*Запропонована методика узагальненого оцінювання координат джерел геофізичних збурень за результатами вимірювань сукупності сейсмічних пунктів. Методика ґрунтується на застосуванні до обчислень сферичної та сфероїдальної геометричних моделей поверхні Землі та враховує точнісні можливості кожного із пунктів.*

Однією із задач, що розв'язуються в системах сейсмічних спостережень, є задача оцінювання координат джерел геофізичних збурень. До цих збурень слід віднести землетруси, переміщення значних мас ґрунтів, вибухи у добувних кар'єрах та на випробувальних полігонах іноземних держав, інші аномальні явища, які зумовлені внутрішньою активністю Землі та окремими техногенними факторами.

Розв'язання задач оцінювання координат джерел геофізичних збурень здійснюється великою кількістю засобів реєстрації, із застосуванням до обчислень різних методик оцінювання координат. Для оцінювання координат джерел геофізичних збурень застосовуються дані вимірювань сейсмічних установок, свердловинних датчиків, об'єднаних в сейсмічні групи (поля), цифрових сейсмічних станцій типу "IRIS" тощо [1, 2]. Методики оцінювання координат джерел геофізичних збурень ґрунтуються на застосуванні до обчислень методик оцінювання координат джерел випромінювань кутомірним, далекомірним та різницево-далекомірним методами [3–5], методик оцінювання координат джерел випромінювань шляхом розв'язання прямої головної геодезичної задачі [3] та методик оцінювання координат джерел сейсмічних збурень за моментами надходження різних типів сейсмічних хвиль у групу пунктів з реалізацією методів просторової обробки результатів вимірювань сейсмічних груп [6].

Точнісні можливості засобів реєстрації щодо оцінювання геометричних параметрів, що характеризують місце положення джерела збурення (азимутів, відстаней та різниць відстаней), є різними, тому точність оцінювання координат джерел геофізичних збурень за їх даними є різною. Оскільки в системах сейсмічних спостережень азимуту на місце положення джерела збурення визначаються з точністю до декількох одиниць – десятих частин градуса, відстані та різниці відстаней – з точністю до десяти – декількох десятків кілометрів, похибки оцінювання координат джерел геофізичних збурень досить значні і за положеннями відповідають відстаням у десятки – сотні кілометрів [3]. Це справедливо не тільки для вітчизняних, а й для зарубіжних систем оцінювання координат.

З метою підвищення точності оцінювання координат джерел геофізичних збурень можливо застосування до розрахунків результатів оцінювання координат ряду сейсмічних пунктів. З цією метою доцільно залучення до оцінювання координат джерел геофізичних збурень засобів реєстрації, що розміщені на території України, засобів реєстрації, що входять до складу Міжнародної сейсмічної мережі (центр – місто Відень, Австрія), та застосування до обміну даних всесвітньої інформаційної мережі "Інтернет" [1] (засоби реєстрації Української сейсмічної групи, що розміщені на території України, входять до складу Міжнародної сейсмічної мережі).

Розглянемо можливу методику оцінювання координат джерел геофізичних збурень за результатами вимірювань сукупності сейсмічних пунктів. Покладемо, що оцінювання координат джерел геофізичних збурень здійснюється за результатами вимірювань  $n$  сейсмічних пунктів. У пунктах оцінюються значення геометричних параметрів (азимутів, відстаней та різниць відстаней до джерела), за якими здійснюється оцінювання координат місця положення джерела збурення. За кожною сукупністю із двох пунктів реалізується відповідний метод оцінювання координат (кутомірний, далекомірний, різницево-далекомірний тощо [3 – 6]), деякі із пунктів можуть об'єднуватись у системи сейсмічних груп. Координати пунктів реєстрації відомі. У залежності від геометричної моделі поверхні Землі, що застосовується для розрахунків, такими

координатами можуть бути сферичні координати пунктів  $\lambda_i, \varphi_i$ , якщо для оцінювання координат джерел геофізичних збурень застосовується сферична модель поверхні Землі ( $\lambda_i$  – сферична довгота,  $\varphi_i$  – сферична широта  $i$ -го пункту,  $i = 1, 2, \dots, n$ ), або геодезичні координати пунктів  $L_i, B_i$ , якщо оцінювання координат джерел геофізичних збурень здійснюється із застосуванням сфероїдальної моделі ( $L_i$  – геодезична довгота,  $B_i$  – геодезична широта  $i$ -го пункту) [7]. Результати оцінювання координат  $i$ -м та  $j$ -м пунктами реєстрації відомі – такими є сферичні координати  $\lambda_{Mij}, \varphi_{Mij}$  місця положення джерела збурення на сферичній моделі поверхні Землі або його геодезичні координати  $L_{Mij}, B_{Mij}$  на сфероїдальній моделі (методики оцінювання координат джерел сейсмічних збурень кожним із можливих методів оцінювання детально викладені в [3–6]). Похибки оцінювання геометричних параметрів, що характеризують місце положення джерела збурення, у кожному із пунктів реєстрації будемо вважати відомими, розподіленими за нормальними законами з середніми квадратичними значеннями  $\sigma_{ai}, \sigma_{Ri}$  або  $\sigma_{\Delta Ri}$  у залежності від реалізованого методу оцінювання координат, де  $\sigma_{ai}, \sigma_{Ri}, \sigma_{\Delta Ri}$  – відповідно середні квадратичні похибки оцінювання азимуту, відстані та різниці відстаней до джерела збурення в  $i$ -му пункті. Для деякої кількості пунктів реєстрації можуть бути відомими середні квадратичні похибки оцінювання координат місця положення джерела збурення  $i$ -м та  $j$ -м пунктом  $\sigma_{ij}$ . За результатами оцінювання координат окремими пунктами (значеннями координат  $\lambda_{Mij}, \varphi_{Mij}$  або  $L_{Mij}, B_{Mij}$ ) потрібно оцінити координати місця положення джерела – його сферичну довготу  $\lambda_M$  (геодезичну довготу  $L_M$ ) та сферичну широту  $\varphi_M$  (геодезичну широту  $B_M$ ).

Введемо декілька необхідних визначень [8, 9]. Лінією положення джерела збурення є геометричне місце точок, для яких геометричний параметр, що оцінений у пункті реєстрації (азимут, відстань та різниця відстаней), має сталі значення. Лініями положення є лінії положення сталого значення азимуту, сталого значення відстані та сталого значення різниці відстаней. Похибки геометричних параметрів, що характеризують місце положення джерела збурення, обумовлюють появу похибок ліній положення. Під похибкою лінії положення розуміють відстань між дійсною лінією положення та лінією положення, що визначена в результаті оцінювання, поблизу джерела збурення. Точка перетину ліній положення визначає місце положення джерела. Якщо лінії положення визначені з похибками, то координати джерела збурення оцінюються з похибками (з'являється похибка місцевизначення). Похибкою місцевизначення є відстань між дійсним місцем положення джерела збурення та місцем положення джерела, яке отримане внаслідок його оцінювання.

Розглянемо  $i$ -й та  $j$ -й пункти (рис. 1). Якщо в цих пунктах геометричні параметри, що характеризують місце положення джерела збурення, оцінені з похибками, то положення джерела збурення оцінюється з похибкою. Абсолютне значення цієї похибки відповідає відстані  $r_{ij}$  від знайденого місця положення джерела (точки  $M_{ij}$ ) до дійсного місця положення джерела (точки  $M$ ). Така ж картина спостерігається і при оцінюванні координат місця положення джерела збурення в інших пунктах. Сукупність точок  $M_{ij}$  утворюють багатокутник похибок, розміри якого визначаються похибками  $\sigma_{ai}, \sigma_{Ri}, \sigma_{\Delta Ri}$  оцінювання геометричних параметрів у пунктах реєстрації. З урахуванням можливих розмірів, багатокутник похибок можливо розглядати як елемент поверхні сфери.

Підхід до методики оцінювання координат місця положення джерела геофізичних збурень може бути різним. З цією метою, наприклад, може застосовуватись метод найменших квадратів [10], згідно з яким оцінювання координат джерела геофізичних збурень повинно здійснюватися із умови найменшого значення суми квадратів відстаней  $r_{ij}$  (рис. 1). При  $n$  пунктах, що розглядаються у системі, цією умовою є

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n r_{ij}^2 = \min. \quad (1)$$

Потрібно звернути увагу на те, що метод найменших квадратів застосовується у випадках, коли розглядаються похибки різних знаків [10]. Похибка місцевизначення  $r_{ij}$  за своєю природою є величиною додатною. Крім цього, мінімізація суми квадратів відстаней на сфері є

досить складною математичною задачею, розв'язання якої, у порівнянні з іншим можливим підходом до оцінювання координат джерел геофізичних збурень, вагомих переваг не дає. Пропонується здійснювати оцінювання координат джерел геофізичних збурень із умови мінімального значення суми абсолютних значень похибок (відстаней)  $r_{ij}$ :

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n r_{ij} = \min \quad (2)$$

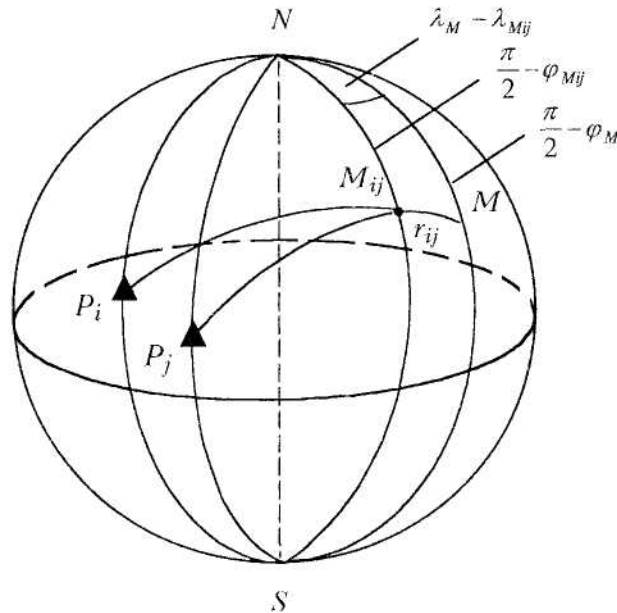


Рис. 1

У сферичній тригонометрії як аргументи тригонометричних функцій застосовуються сферичні відстані, які є мірами оцінювання значень кутів, що виражаються в градусах або радіанах [7, 11]. З урахуванням цього та урахуванням властивостей тригонометричних функцій оцінювання координат джерел геофізичних збурень на сферичній моделі поверхні Землі доцільно здійснювати із умови:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \cos \frac{r_{ij}}{R_3} = \max \quad (3)$$

або

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \sin \frac{r_{ij}}{R_3} = \min \quad (4)$$

де  $R_3 = 6371116$  м – середній радіус Землі, що приймається для розрахунків [7].

Зрозуміло, що більш точним оцінюванням координат місця положення джерела збурення відповідає менше чисельне значення похибки (відстані)  $r_{ij}$  і навпаки. Звідси випливає, що при оцінюванні координат місця положення джерела збурення за результатами оцінювання сукупності сейсмічних пунктів більш точному оцінюванню місця положення джерела (меншому значенню похибки  $r_{ij}$ ) повинна відповідати більша вага у кінцевому результаті оцінювання, ніж оцінюванню положення джерела, яке отримане з меншою точністю (з більшим значенням похибки  $r_{ij}$ ). Із цих міркувань зрозуміло, що у формули (3) та (4) повинні бути введені деякі вагові коефіцієнти, значення яких повинні бути обернено пропорційними похибкам оцінювання координат  $\sigma_{ij}$ . Тобто оцінювання координат місця положення джерела збурення повинно здійснюватися із умови:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \frac{r_{ij}}{R_3} = \max \quad (5)$$

або із умови:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \sin \frac{r_{ij}}{R_3} = \min, \tag{6}$$

де  $\sigma_{ij}$  – середні квадратичні похибки оцінювання координат джерел геофізичних збурень  $i$ -м та  $j$ -м пунктами.

Вирази (5) та (6) є тотожними і характеризують сутність можливого підходу до узагальненого оцінювання координат джерел геофізичних збурень системою сейсмічних пунктів в умовах нерівноточного оцінювання координат кожним  $i$ -м та  $j$ -м пунктами.

Для подальших викладок звернемося до рис. 1. На цьому рисунку точка  $M$  відповідає дійсному місцю положення джерела збурення, точка  $M_{ij}$  – положенню джерела, що оцінене в  $i$ -му та  $j$ -му сейсмічних пунктах.

Із трикутника  $M_{ij}NM$  за теоремою косинуса сторони сферичного трикутника [11] маємо:

$$\cos \frac{r_{ij}}{R_3} = \sin \varphi_{M_{ij}} \sin \varphi_M + \cos \varphi_{M_{ij}} \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_{M_{ij}}). \tag{7}$$

З урахуванням цього, умову (5) можна подати у вигляді:

$$F(\lambda_M, \varphi_M) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} (\sin \varphi_{M_{ij}} \sin \varphi_M + \cos \varphi_{M_{ij}} \cos \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_{M_{ij}})) = \max. \tag{8}$$

Отриманий вираз є функцією координат джерела збурення  $\lambda_M, \varphi_M$ , що визначаються.

Координати джерела  $\lambda_M, \varphi_M$  знайдемо із умов екстремуму функції (8):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F(\lambda_M, \varphi_M)}{\partial \varphi_M} &= 0, \\ \frac{\partial F(\lambda_M, \varphi_M)}{\partial \lambda_M} &= 0. \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

Після обчислення часткових похідних отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F(\lambda_M, \varphi_M)}{\partial \varphi_M} &= \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} (\sin \varphi_{M_{ij}} \cos \varphi_M - \cos \varphi_{M_{ij}} \sin \varphi_M \cos(\lambda_M - \lambda_{M_{ij}})) = 0, \\ \frac{\partial F(\lambda_M, \varphi_M)}{\partial \lambda_M} &= \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \cos \varphi_M \sin(\lambda_{M_{ij}} - \lambda_M) = 0. \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

Розв'яжемо систему рівнянь (10) відносно змінних  $\lambda_M$  та  $\varphi_M$ . Із першого рівняння системи (10) отримаємо:

$$\cos \varphi_M \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \sin \varphi_{M_{ij}} - \sin \varphi_M \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \cos(\lambda_M - \lambda_{M_{ij}}) = 0, \tag{11}$$

звідки

$$\operatorname{tg} \varphi_M = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \sin \varphi_{M_{ij}}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \cos(\lambda_M - \lambda_{M_{ij}})}. \tag{12}$$

До другого рівняння системи (10) застосуємо формулу синуса різниці двох кутів [11]:

$$\cos \lambda_M \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \sin \lambda_{M_{ij}} - \sin \lambda_M \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \cos \lambda_{M_{ij}} = 0. \tag{13}$$

Із цієї формули маємо:

$$\operatorname{tg} \lambda_M = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \sin \lambda_{M_{ij}}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos \varphi_{M_{ij}} \cos \lambda_{M_{ij}}}. \tag{14}$$

Формули (12) та (14) є такими, що дозволяють здійснювати оцінювання координат джерел геофізичних збурень за даними вимірювань сукупності сейсмічних пунктів. За формулою (14) здійснюється оцінювання сферичної довготи місця положення джерела збурення  $\lambda_M$ , за формулою (12) – його сферичної широти  $\varphi_M$ .

Якщо похибки оцінювання координат джерел геофізичних збурень за результатами оцінювання кожним  $i$ -м та  $j$ -м пунктами мають однакові чисельні значення, то формули розрахунків (12) та (14) спрощуються і приймають вигляд:

$$\operatorname{tg} \lambda_M = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \cos \varphi_{Mij} \sin \lambda_{Mij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \cos \varphi_{Mij} \cos \lambda_{Mij}}, \quad (15)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_M = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \sin \varphi_{Mij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j>i}^n \cos \varphi_{Mij} \cos(\lambda_M - \lambda_{Mij})}. \quad (16)$$

Ці формули за принципом системних відношень між точно визначеними координатами  $\lambda_M$  та  $\varphi_M$  дозволяють оцінювати координати джерела збурення на поверхні сфери.

Реально, в процесі оцінювання координат джерел геофізичних збурень похибки оцінювання координат  $i$ -м та  $j$ -м пунктами  $\sigma_{ij}$  є різними і змінюють свої чисельні значення для кожного можливого місця положення джерела. Значення цих похибок можуть бути оцінені за допомогою формули [8]:

$$\sigma_{ij} = \frac{\sqrt{\sigma_{\lambda i}^2 + \sigma_{\lambda j}^2}}{\sin \psi_{ij}}, \quad (17)$$

де  $\sigma_{\lambda i}$ ,  $\sigma_{\lambda j}$  – середні квадратичні похибки ліній положення, що визначені в  $i$ -му та  $j$ -му сейсмічних пунктах;

$\psi_{ij}$  – кут між лініями положення.

Похибки ліній положення обчислюються за формулами [3, 8, 9]:

$$\sigma_{\lambda i(j)} = R_3 \sin \frac{R_{i(j)}}{R_3} \sigma_{ai(j)} \quad (18)$$

– для пунктів, що реалізують кутомірний метод оцінювання координат джерел геофізичних збурень, де  $R_{i(j)}$  – відстань від  $i$ -го ( $j$ -го) пункту реєстрації до джерела збурення;  $\sigma_{ai(j)}$  – середня квадратична похибка оцінювання азимуту напрямку на місце джерела збурення в  $i$ -му ( $j$ -му) пункті;

$$\sigma_{\lambda i(j)} = \sigma_{Ri(j)} \quad (19)$$

– для пунктів, що реалізують далекомірний метод оцінювання координат, де  $\sigma_{Ri(j)}$  – середня квадратична похибка оцінювання відстані до місця джерела збурення в  $i$ -му ( $j$ -му) пункті;

$$\sigma_{\lambda i(j)} = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{i(j)} \sin^2 \frac{d_{i(j)}}{2R_3}} \sin \frac{R_{i(j)}}{R_3}}{2 \cos \alpha_{i(j)} \sin \frac{d_{i(j)}}{2R_3}} \sigma_{\Delta Ri(j)} \quad (20)$$

– для пунктів, що реалізують різницево-далекомірний метод оцінювання координат, де  $d_{i(j)}$  – величина бази  $i$ -го ( $j$ -го) різницево-далекомірного пункту;  $\alpha_{i(j)}$  – кут між напрямком на джерело збурення з середини  $i$ -ї ( $j$ -ї) лінії бази та перпендикуляром, що проведений до середини бази;  $R_{i(j)}$  – відстань від середини  $i$ -ї ( $j$ -ї) лінії бази до джерела збурення;  $\sigma_{\Delta Ri(j)}$  – середня квадратична похибка оцінювання різниць відстаней від місця джерела збурення до двох точок реєстрації  $i$ -го ( $j$ -го) різницево-далекомірного пункту.

Кути  $\alpha_{i(j)}$  та відстані  $R_{i(j)}$ , що мають місце у формулі (20), обчислюються шляхом розв'язання оберненої головної геодезичної задачі на сферичній моделі поверхні Землі [4, 7] відносно місця положення джерела збурення (точки з координатами  $\lambda_{Mij}$ ,  $\varphi_{Mij}$ ) та середин ліній баз різницево-далекомірних пунктів.

Кут між лініями положення  $\psi_{ij}$ , що входить до формули (17), обчислюється за допомогою формули:

$$\psi_{ij} = \alpha_{Mi} - \alpha_{Mj}, \quad (21)$$

де  $\alpha_{Mi}$ ,  $\alpha_{Mj}$  – відповідно азимути напрямків на  $i$ -й та  $j$ -й сейсмічні пункти із місця джерела збурення щодо кутомірного та далекомірного методів оцінювання координат та азимути напрямків на середини ліній баз  $i$ -го та  $j$ -го пунктів реєстрації із місця джерела збурення щодо різницево-далекомірного методу (обчислюються шляхом розв'язання оберненої головної геодезичної задачі на сферичній моделі поверхні Землі [7] відносно точок, що розглядаються).

Якщо оцінювання координат джерел геофізичних збурень здійснюється із застосуванням до обчислень сфероїдальної моделі поверхні Землі [7], то у формулах розрахунку (12) та (14) сферичні координати  $\lambda_M$ ,  $\varphi_M$  місця положення джерела збурення повинні бути замінені на його геодезичні координати  $L_M$ ,  $B_M$  (відповідно координати  $\lambda_{Mij}$ ,  $\varphi_{Mij}$  повинні бути замінені на координати  $L_{Mij}$ ,  $B_{Mij}$ ):

$$\operatorname{tg} L_M = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos B_{Mij} \sin L_{Mij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos B_{Mij} \cos L_{Mij}}, \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} B_M = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \sin B_{Mij}}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{1}{\sigma_{ij}} \cos B_{Mij} \cos(L_M - L_{Mij})}. \quad (23)$$

У цих формулах  $L_{Mij}$ ,  $B_{Mij}$  – геодезичні координати місця положення джерела збурення, що оцінені в  $i$  му та  $j$ -му сейсмічних пунктах.

Можливість такого переходу зумовлена тим, що у межах багатокутника похибок відміни між сферичною та сфероїдальною поверхнями незначні, і похибки, що з'являються внаслідок оцінювання, мають не суттєві значення. Особливістю оцінювання у цьому випадку є те, що обчислення геодезичних відстаней між відповідними точками сфероїдальної поверхні та геодезичних азимутів напрямків із однієї точки на іншу точку здійснюється шляхом розв'язання оберненої головної геодезичної задачі на сфероїдальній моделі поверхні Землі з застосуванням до обчислень методик зображення сфероїдальної поверхні на поверхню сфери [3, 7]. Оцінка чисельних значень похибок  $\sigma_{ij}$ , які мають місце у формулах (22) та (23), здійснюється за допомогою методу статистичних випробувань [12] або за формулами (17) – (20) розрахунків на поверхні сфери. В останньому випадку приймається, що похибки оцінювання координат місця положення джерела збурення  $i$ -м та  $j$ -м пунктами на сфероїдальній моделі поверхні Землі чисельно дорівнюють похибкам оцінювання координат місця положення джерела збурення цими пунктами на сферичній моделі.

Методика, що викладена, може застосовуватись не тільки для визначення координат джерел геофізичних збурень, а й в геодезії, навігації, системах пасивної локації різноманітного призначення, інших галузях науки та техніки, загалом там, де існує можливість визначення координат джерел випромінювань (окремих об'єктів) зі значною точністю.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Машков О.А., Кирилюк В.А. Научные проблемы создания автоматизированной системы обработки сейсмических данных (алгоритмические аспекты) // Специальная техника и вооружение. – 2002. – № 1, № 2. – С. 35–41.
2. Дядюра В.А., Михайлик И.Ю., Пененко А.В. и др. Украинская сейсмическая группа. Модернизация аппаратно-программных средств // Геофизический журнал. – 2000. – № 3. – С. 71–77.
3. Деменков М.В., Хоменко В.Г. Розробка алгоритмів визначення місця джерел появи сигналів (шифр "Місцевизначення"). Обґрунтування математичного апарату для розробки алгоритмів визначення місця джерел появи сигналів: Звіт про НДР (проміжний). – Житомир: ЖВІРЕ, 2000. – 98 с.

4. Хоменко В.Г. Розрахунок координат джерел сейсмічних збурень далекомірним методом // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту / Технічні науки. – 2001. – № 19. – С. 155–163.
5. Хоменко В.Г. Розрахунок координат джерел сейсмічних збурень різницево-далекомірним методом // Збірник наукових праць Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова. – 2001. – № 4. – С. 155–171.
6. Исследование и обоснование путей разработки и создания автоматизированной сети сбора и обработки геофизической информации и её информационного обеспечения на базе существующих средств специального контроля и средств НАКУ КА Украины: Отчет о НИР / Национальная Академия наук Украины. Институт геофизики им. С.И. Субботина. – Киев: Наукова думка, 1994. – 123 с.
7. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
8. Белавин О.В. Основы радионавигации. – М.: Сов. радио, 1977. – 320 с.
9. Белявский Л.С., Черкашин В.Г. Точность радиоэлектронных измерительных систем. – Киев: Техніка, 1981. – 136 с.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Под общей редакцией И.Г. Арамановича. – М.: Наука, 1977. – 831 с.
12. Коваленко И.Н. Расчет вероятностных характеристик систем. – Киев: Техніка, 1982. – 96 с.

БАРАНОВ Георгій Леонідович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Житомирського військового орденів Жовтневої Революції і Червоного Прапора інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- методи моделювання та обробки даних;
- повітні інформаційні технології;
- навігація та управління.

ХОМЕНКО В'ячеслав Григорович – старший викладач Житомирського військового орденів Жовтневої Революції і Червоного Прапора інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- методи та системи пасивної локації;
- методи оцінювання координат об'єктів на геометричних моделях поверхні Землі.

Подано 14.10.2002.