

ПРО ОДИН ЗІ СПОСОБІВ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ГІПЕРБОЛІЧНОЇ ЗАСІЧКИ У ГЕОДЕЗИЧНИХ КООРДИНАТАХ

П. Двудіт, О. Денисов

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: гіперболічна засічка, базисні станції, рухомий об'єкт.

Постановка проблеми

За останні десятиліття досягнутий значний прогрес щодо створення та удосконалення радіотехнічних засобів. З'явилась можливість широкого використання різних геодезичних засічок на кулі і на еліпсоїді з метою визначення координат об'єктів на суходолі, на морі і в навколосезному просторі. Так, під час створення геодезичної основи морських знімачів та геолого-геофізичних досліджень основною метою опрацювання результатів вимірювань радіогеодезичними гіперболічними системами є отримання геодезичних координат рухомих об'єктів з відповідною точністю. Здебільшого йдеться про віддалення рухомого об'єкта від базисних станцій більше ніж на 500 км. Зазначимо, що результати вимірювань радіогеодезичною гіперболічною системою у вигляді різниць віддалей називають гіперболічними координатами, а задачу їх переобчислення в іншу координатну систему – задачею гіперболічної засічки.

Під час розв'язування гіперболічної засічки на поверхні еліпсоїда, порівняно з її розв'язуванням на кулі, виникає додаткова задача щодо визначення залежності між різницею довжин геодезичних ліній на еліпсоїді та відповідних їм дуг великих кіл на кулі. Точність визначення геодезичних координат залежить не тільки від точності вимірювань різниць віддалей, але й від геометричного положення вихідних опорних базисних пунктів та пункту, координати якого необхідно визначити. Зауважимо також, що розв'язок гіперболічної засічки у сферичних координатах можна отримати різними способами у вигляді замкнених формул, а розв'язок гіперболічної засічки у геодезичних координатах – методом наближень [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Запропоновані раніше способи розв'язання гіперболічної засічки на поверхні еліпсоїда відрізняються, переважно, тільки алгоритмом. Здебільшого для розв'язування гіперболічної засічки на еліпсоїді використовують метод диферен-

ціальних поправок. Суть цього способу зводиться до того, що знаходять безпосередньо геодезичні координати рухомого об'єкта, змінюючи в кожній ітерації довжини геодезичних ліній, які обчислюють за точними формулами розв'язання оберненої геодезичної задачі на еліпсоїді. В роботі [2] використовується спосіб редукації Морозова, в якому сферичну віддаль знаходять, змінюючи у кожній ітерації виміряну різницю віддалей редукаційною поправкою.

Питанням розв'язання гіперболічних засічок на поверхні еліпсоїда займалися В.А. Полевой [4], В.П. Морозов [2, 4], Б.Ф. Хітров [6], V. Nastra [7], Т. Robinson [8] та інші.

Постановка завдання

Метою цієї публікації є опис нового підходу до розв'язання гіперболічної засічки в геодезичних координатах, що дає можливість використати необхідні формули у спрощеному вигляді порівняно з іншими способами, з належною точністю.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розв'язання задачі гіперболічної засічки подамо у вигляді, коли задані геодезичні координати трьох опорних базисних станцій та виміряні і віднесені на поверхню еліпсоїда різниці віддалей $(S_1 - S_3)$ і $(S_2 - S_3)$ (див. рис.). На рисунку: 1, 2, 3 – опорні наземні базисні станції, P – точне, P' – наближене положення рухомого об'єкта, S_1, S_2, S_3 – довжини геодезичних ліній від базисних станцій до рухомого об'єкта P, S'_1, S'_2, S'_3 – довжини геодезичних ліній, обчислені за наближеними координатами пункту P', $A'_{1P'}, A'_{2P'}, A'_{3P'}, A'_{P1'}, A'_{P2'}, A'_{P3'}$ – прямі та обернені геодезичні азимуті відповідних геодезичних ліній. Отже, вихідними даними для розв'язання цієї задачі будуть $B_1, L_1, B_2, L_2, B_3, L_3$ і $(S_1 - S_3) = 2a_1, (S_2 - S_3) = 2a_2$. Необхідно визначити геодезичні координати B_p, L_p рухомого об'єкта P.

Спочатку за виміряними різницями віддалей $2a_1$ і $2a_2$ та сферичними координатами $\varphi_i = B_i$ і $\lambda_i = L_i$ ($i = 1, 2, 3$) розв'язують гіперболічну засічку на кулі. У результаті отримують сферичні координати φ_p і λ_p об'єкта P. Приймавши ці координати як наближені геодезичні координати B'_p і L'_p , розв'язують обернені геодезичні задачі з ме-

тою одержання довжин геодезичних ліній S'_1, S'_2, S'_3 , а також прямих $A'_{1P'}, A'_{2P'}, A'_{3P'}$ й обернених $A'_{P'1}, A'_{P'2}, A'_{P'3}$ геодезичних азимутів. Далі від геодезичних координат B_i, L_i опорних базисних станцій і B_p, L_p об'єкта P' переходять до їхніх плоских прямокутних координат x, y у проекції Гаусса–Крюгера. Координати x, y необхідно знати для обчислення редуцій віддалей під час переходу з еліпсоїда на площину. Наступним етапом обчислень є розв'язання гіперболічної засічки на площині за отриманими координатами x, y базисних станцій та різницями віддалей, редукованих на площину. В результаті цього одержуємо плоскі прямокутні координати x_p, y_p рухомого об'єкта P , за якими отримують його геодезичні координати B_p, L_p . Для розглянутого нами способу пропонується такий алгоритм розв'язання гіперболічної засічки в геодезичних координатах.

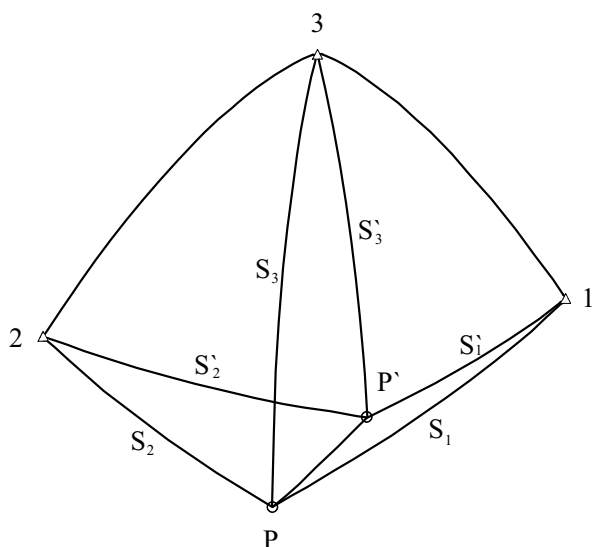


Схема розташування базисних станцій і рухомого об'єкта

1. Перехід з еліпсоїда на сферу та розв'язання гіперболічної засічки на кулі здійснюється за формулами [3].

2. Обчислення довжин геодезичних ліній S'_1, S'_2, S'_3 , прямих $A'_{1P'}, A'_{2P'}, A'_{3P'}$ й обернених $A'_{P'1}, A'_{P'2}, A'_{P'3}$ геодезичних азимутів виконують, розв'язуючи обернену геодезичну задачу за способом Бесселя [3].

3. Переобчислення геодезичних координат B, L опорних базисних станцій і об'єкта P' в їх плоскі прямокутні координати x, y здійснюється за відомими формулами проекції Гаусса–Крюгера [3].

4. Обчислення редуцій віддалей під час переходу з еліпсоїда на площину виконується за формулами проекції Гаусса–Крюгера, в яких використовують довжини геодезичних ліній S'_1, S'_2, S'_3 [3].

5. Розв'язання гіперболічної засічки на площині виконують одним із способів, описаних в [1].

6. Перехід від отриманих плоских прямокутних координат x_p, y_p рухомого об'єкта P до його геодезичних координат B_p, L_p [3].

За результатами теоретичних досліджень виконані обчислення координат рухомого об'єкта різними способами за віддалення його від базисних станцій близько 1000 км. Результати обчислень наведено в таблиці. Зауважимо, що одержані результати порівнювались з точними геодезичними координатами об'єкта P .

Геодезичні координати об'єкта P

Спосіб	Координати	
	B''	L''
Точне значення	54,11	04,25
Хітрова Б.Ф.	57,81 (54,30)	04,89 (04,29)
Полевого В.А.	54,29	04,33
Морозова В.П.	54,14	04,34
Запропонований нами	54,13	04,29

Висновки

1. Запропонований нами спосіб і спосіб В.П. Морозова дають практично однакові значення щодо обчислених геодезичних координат об'єкта P і в межах до 0,2'' узгоджуються зі способом В.А. Полевого.

2. Розв'язання гіперболічної засічки способом Б.Ф. Хітрова відрізняється від точного значення координат об'єкта P до 4''. Аналізуючи ці відхилення, ми виявили помилки у формулах для визначення поправок ΔB і ΔL до наближених значень B_p, L_p . Так, у формулі (14) [6] необхідно змінити знак чисельника на протилежний, а у (15) – знак знаменника. У результаті цього отримаємо значення координат, наведених у дужках.

3. Пропонований спосіб можна рекомендувати за віддалення рухомого об'єкта від базисних станцій близько 1000 км.

Література

1. Двудіт П.Д. Основи морської геодезії та навігації / П. Двудіт, О. Денисов. – Львів: Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2007. – 152 с. (конспект лекцій).
2. Морозов В.П. Гиперболические засечки на поверхности эллипсоида / В.П. Морозов // Геодезия и аэрофотосъемка. – 1967. – Вып. 5. – С. 101–112.
3. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии / В.П. Морозов. – М.: Недра, 1979. – 296 с. (учебник).
4. Полевой В.А. Вычисление геодезических и сферических координат по измеренным раз-

ностям расстояний / В.А. Полевой // Геодезия и картография. – 1970. – № 3. – С. 14–20.

5. Полевой В.А. Математическая обработка результатов радиогеодезических измерений / В.А. Полевой. – М.: Недра, 1971. – 296 с. (учебник).

6. Хитров Б.Ф. К решению гиперболических засечек на большие расстояния / Б.Ф. Хитров // Геодезия и картография. – 1972. – № 2. – С. 23–26.

7. Nastro Vincenzo. Determinazione delle coordinate geografiche con misure di differenze di distanze / Nastro Vincenzo, Russo Aniello // Ann. Inst. Univ. navale Napoli. – 1968, 37, 1970. – 4.52.82.

8. Robinson Thelma C. Position determination from hyperbolic navigation systems / Robinson Thelma C. // J. Geophys. Res. – 1972, 77, № 11, 1972. – 10.52.47.

**Про один зі способів розв’язування
гіперболічної засічки
у геодезичних координатах**

П. Двудіт, О. Денісов

Розглянуто спосіб визначення геодезичних координат рухомого об’єкта за віддалення від

базисних станцій до 1000 км. Виконано порівняння з відомими способами.

**Об одном из способов решения
гиперболической засечки
в геодезических координатах**

П. Двудіт, А. Денісов

Рассмотрен способ определения геодезических координат движущегося объекта при удалении от базисных станций до 1000 км. Выполнено сравнение с существующими способами.

**About one of the ways
of deciding hyperbolic intersection
in geodetic coordinates**

P. Dvulit, A. Denisov

Considered way of determination of geodetic coordinates of moving object when removing from base stations before 1000 km. Made comparison with existing ways.

15–17 September

**Skopje, Republic of Macedonia
(FYROM)**

**International Conference
on Spatial Data Infrastructures 2010.
Co-sponsored by FIG.**

http://sdi2010.evkartenn.com/?page_id=19
sdiconf2010@gmail.com

16–18 September

San Jose, Costa Rica

**Geomatics, an integral discipline
at obtaining and processing
geospace data.**

**Co-sponsored by FIG
Invitation brochure (pdf 4 Mb)**

[http://www.colegiotopografoscr.com/
congreso2010/](http://www.colegiotopografoscr.com/congreso2010/)

29 November – 3 December

Tunisia

**International Congress Geotunis 2010:
The use of GIS and remote sensing for sustainable development.**

www.geotunis.org