

ПОРІВНЯННЯ СПОСОБІВ РОЗВ’ЯЗАННЯ ГІПЕРБОЛІЧНОЇ ЗАСІЧКИ НА ВЕЛИКІ ВІДСТАНІ

Выполнен анализ существующих и предложенного авторами способов в зависимости от удаления подвижного объекта по отношению к базисным станциям и от величины угла засечки.

The analysis of the accuracy of existing and proposed ways authors depending on the distance to an object moving relative to the base station and from the angle nick.

Постановка проблеми. Питання розв’язання гіперболічної засічки в геодезичних координатах, коли відстань від рухомого об’єкта до опорних базисних станцій перевищує 500 км, розглянуто у багатьох публікаціях. Але за усіма запропонованими способами розв’язання цієї задачі спочатку знаходять наближені геодезичні координати рухомого об’єкта, використовуючи розв’язок її в сферичних координатах за замкнутими формулами. Так, В.П. Морозов для розв’язання поставленої задачі пропонує застосовувати метод ітерацій із введенням у виміряні різниці віддалей редуційної поправки за перехід на поверхню еліпсоїда [2]. Б.Ф. Хітров для розв’язання поставленої задачі використовує перехід до нормальних перерізів із застосуванням хорд еліпсоїда. За результатами виконаних ним досліджень зроблено висновок, що його спосіб забезпечує вимоги щодо розв’язання таких задач для відстаней 2000–3000 км з похибкою визначення місцеположення порядку $S \cdot 10^{-6}$ [4]. В.А. Полевой для розв’язання названої задачі пропонує використовувати метод диференційних поправок, який полягає у знаходженні геодезичних координат із заміною в кожній ітерації довжин геодезичних ліній, які обчислюють за формулами розв’язання оберненої геодезичної задачі на еліпсоїді [3].

За способом, який запропонували в [1] П.Д. Двуліт і О.М. Денисов, використовують перехід з еліпсоїда на площину із введенням поправок у виміряні різниці віддалей за цей перехід, розв’язання гіперболічної засічки на площині та зворотного переходу на еліпсоїд з метою отримання геодезичних координат рухомого об’єкта. Слід зауважити, що для обчислення поправок у виміряні різниці віддалей за перехід з еліпсоїда на площину необхідно враховувати члени четвертого порядку, а похибки у значеннях u_m можуть бути до 36 м за визначення названих поправок з точністю до 1 м.

Виклад основного матеріалу дослідження. Точність визначення місцеположення рухомого об’єкта переважно залежить від точності вимірювання різниці віддалей радіогеодезичною системою і точності визначення його координат застосовуваного способу. Отже, точність вимірювань – це точність, з якою отримують вимірювальні навігаційно-геодезичні параметри. Тобто точність визначення координат обумовлюється апаратурними похибками і впливом зовнішніх факторів. Але точність визначення координат рухомого об’єкта залежить не тільки від точності виміряних величин, але й від геометричного положення вихідних базисних станцій і рухомого об’єкта. Середньоквадратичні похибки m_1 і m_2 за першим і другим каналами радіогеодезичних вимірювань вважають нерівноточними і корельованими, ступінь залежності яких характеризується коефіцієнтом кореляції r . Величини m_1 і m_2 отримують завчасно на основі досліджень інструментального оцінювання точності гіперболічної радіогеодезичної системи в лабораторних і польових умовах. Одночасно з оцінюванням точності виконуваних вимірювань, за умови, що число вимірів перевищує 50, визначають коефіцієнти кореляції r . Ці коефіцієнти можуть досягати значних величин, нехтувати якими під час оцінювання точності радіогеодезичних вимірювань не можна.

Середньоквадратичну похибку M визначення місцеположення рухомого об’єкта в морі подано співвідношенням

$$M = mk,$$

де m – середньоквадратична похибка вимірювання різниць віддалей за допомогою гіперболічної радіогеодезичної системи, k – коефіцієнт, який залежить від взаємного розміщення рухомого об'єкта і базисних станцій, геометричного типу радіогеодезичних систем і коефіцієнта кореляції r похибок вимірювань. Для корельованих радіогеодезичних вимірювань з використанням гіперболічних радіогеодезичних систем коефіцієнт k обчислюють за формулою

$$k = \frac{\sqrt{1 - 2 \cos \gamma}}{\sqrt{2} \sin \gamma \sin \gamma / 2},$$

$$\cos \gamma = \frac{3 - r - \sqrt{9 + 2r - 7r^2}}{4r},$$

де γ – вигідніший кут засічки відповідної гіперболічної радіогеодезичної системи.

Похибка M визначення місцеположення рухомого об'єкта P буде мінімальною у випадку, якщо гіперболи заданих вимірюваних різниць віддалей перетинаються в точці P під кутом $109^\circ 28'$. Похибку M для рівноточних і нерівноточних радіогеодезичних вимірювань, виражену в секундах дуги нормальних перерізів еліпсоїда, які проходять через базисні станції і точку P , обчислюють за відповідними формулами

$$M_p'' = m_a \frac{\sqrt{p_1^2 + q_1^2 + p_2^2 + q_2^2}}{p_1 q_2 - p_2 q_1},$$

$$M_p'' = \frac{\sqrt{(p_2^2 + q_2^2)m_{a1}^2 + (p_1^2 + q_1^2)m_{a2}^2}}{p_1 q_2 - p_2 q_1},$$

де m_a – середньоквадратична похибка вимірної різниці віддалей, p_i , q_i – коефіцієнти зв'язку диференціальних поправок ΔB і ΔL з вимірними різницями віддалей.

За всіма переліченими раніше способами було проведено розрахунки за різної віддалі між базисними станціями та рухомим об'єктом (від 1000 до 1500 км) та різної геометричної конфігурації мережі (кут засічки від 90 до 120°). Величини середньоквадратичних похибок M наведено в таблиці.

Спосіб	Віддалі (км)		
	1000	1200	1500
Хітрова	7,6 м	12,1 м	22,0 м
Полевого	6,2 м	10,3 м	15,3 м
Морозова	5,8 м	5,9 м	6,2 м
запропонований	5,8 м	6,0 м	6,3 м

Висновки. 1. Із збільшенням віддалі між базисними станціями і рухомим об'єктом точність визначення місцеположення останнього практично не змінюється за способами Морозова і запропонованим авторами статті, а найбільше змінюється за способом Хітрова і Полевого.

2. Геометрична конфігурація мережі практично однаково впливає на точність визначення місцеположення пункту визначень в усіх перелічених способах і коливається із зміною кута засічки від 90 до 120° у межах до 2 %.

1. Дзуліт П.Д. Про один із способів розв'язування гіперболічної засічки в геодезичних координатах / П. Дзуліт, О. Денисов // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – № 20. – С. 47–50. 2. Морозов В.П. Гиперболические засечки на поверхности эллипсоида / В.П. Морозов // Известия вузов “Геодезия и аэрофотосъемка”. – 1967. – Вып. 5. – С. 101–112. 3. Полевой В.А. Вычисление геодезических и сферических координат по измеренным разностям расстояний / В. Полевой // Геодезия и картография. – 1970. – № 3. – С. 14–20. 4. Хитров Б.Ф. К решению гиперболических засечек на большие расстояния / Б. Хитров // Геодезия и картография. – 1972. – № 2. – С. 23–26.