

УДК. 528.3

ВПЛИВ ТИПУ ЕФЕМЕРИД НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПУНКТІВ СУПУТНИКОВИХ МЕРЕЖ

Я. Костецька, Ю. Пішко

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: супутникові мережі, тривалість сеансів спостережень, точність положення пунктів, остаточні та бортові ефемериди супутників.

Постановка проблеми

Під час опрацювання результатів GNSS-спостережень є можливість вибору типу ефемери, від якого повинна залежати точність визначення довжин векторів та координат пунктів супутникових мереж. Сьогодні залишається актуальним питання: який тип ефемерид треба використовувати при тих чи інших довжинах векторів, що визначені за результатами спостережень різної тривалості, бо чітких рекомендацій щодо цього питання ще нема.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

У наш час потреба у точних ефемеридах дещо зменшилася. Причиною цього є значні досягнення у розвитку системи GNSS. Так, наприклад, ще кілька років тому похибка бортових ефемерид становила 20 м і для того, щоб мінімізувати їхній вплив, рекомендували істотно зменшувати відстані між приймачами, оскільки така неточність ефемерид спричиняла похибку при довжині базової лінії 20 км близько 2 см [1]. Згідно з дослідженням [2] значення похибок ефемерид супутників у 2000 р. перевищують аналогічні показники 2010 р. практично на порядок. З цього випливало б, що на векторах завдовжки до 100 км використання бортових ефемерид більш ніж достатньо. Однак варто пам'ятати, що бортові ефемериди визначають лише прогнозоване положення супутників на орбіті, а також можуть містити похибки, які, своєю чергою, впливатимуть на якість виконаних вимірювань. Крім цього, опрацьовуючи вектори, довжини яких перевищують 50 км, досить складно отримати фіксований тип рішення у разі використання бортових ефемерид, тоді як при введенні точних ефемерид отримують фіксований результат [5].

У [3] за результатами порівняння бортових ефемерид з точними ефемеридами IGS зроблено висновок, що використання точних ефемерид є обов'язковим під час високоточних GNSS-спостережень.

За результатами дослідження [4], в якому розглянуто залежність точності визначення положення пунктів від віддалей між ними, встановлено, що точні ефемериди треба використовувати при довжинах векторів понад 40 км, оскільки за менших довжин різниця у точності положення пунктів не перевищувала 1 см, тоді як при віддалях понад 90 км ця різниця становила 3–4 см.

У [6], де розглянуто питання залежності точності визначення положення пунктів не тільки від типу ефемерид, довжин векторів, але і від тривалості спостережень, встановлено, що немає необхідності використовувати точні ефемериди при довжинах векторів до 60 км. За результатами спостережень

тривалістю 24, 12, 6, 3, та 1 год різниця у точності не перевищує кількох міліметрів. Тільки при векторах, довгих за 200 км, та тривалостях спостережень від 24 до 6 год точні ефемериди суттєво підвищують точність визначення положення пунктів.

Зважаючи на такі дещо неоднозначні висновки, ми вирішили продовжити дослідження в цьому напрямку.

Постановка завдання

Мета дослідження – з'ясувати вплив типу ефемерид на точність визначення положення пунктів супутникових мереж при різній довжині векторів та різній тривалості спостережень.

Виклад основного матеріалу проблеми

Найпоширенішими в наш час ще є два типи ефемерид: бортові та точні, які характеризуються різною точністю. Похибки положення супутника на орбіті, які надалі вважатимемо похибками орбіт, виникають внаслідок неточностей прогнозу і розрахунку ефемерид супутників на момент вимірювань.

У цьому дослідженні розглянуто два типи ефемерид – бортові (Broadcast) та остаточні (Final) ефемериди, які характеризуються відповідно найнижчою та найвищою точністю.

Бортові або трансльовані супутниками ефемериди містять інформацію, що дає змогу приймачу визначити загальноземні геоцентричні координати кожного супутника у системі WGS-84. Точність цих ефемерид становить ~ 260 см і ~ 7 нс (покази годинника) [1,5].

Точні ефемериди (остаточні) містять координати кожного супутника в системі ITRF, а також поправки годинника. Вони визначені для кожного супутника з інтервалом 15 хвилин і стають доступними приблизно через два тижні після виконання спостережень, а їх помилка не перевищує 5 см і 0,1 нс [1,5].

Отже, логічно припустити, що точність вимірів залежить від типу використаних ефемерид.

Для дослідження взято результати спостережень на перманентних станціях протягом двох діб з WEB-сторінок www.rgp.ign.fr та www.sopac.ucsd.edu, де також наведено просторові координати цих станцій, за якими обчислено їх планові координати в проекції Гаусса–Крюгера. Ці значення прийнято за істинні і з ними ми порівнювали координати пунктів в проекції Гаусса–Крюгера супутникових мереж, які визначено зі спостережень різної тривалості.

Сформовано три мережі, схеми яких зображено на рисунку.

Перша з них складається з 12 перманентних станцій та 37 векторів з довжинами від 16,6 до 75,9 км. Середнє значення довжини вектора в мережі становить 40,1 км. Друга мережа складається з 12 перманентних станцій (як і перша) і 33 векторів, довжини яких змінюються від 8,6 до 46,7 км, а їх середня довжина становить 22,7 км.

І остання мережа складається з 13 станцій, які з'єднані 34 векторами з довжинами від 3,9 до 18,0 км, середнє значення довжини вектора – 10,8 км. Отже, мережі формувались так, щоб кількості станцій та векторів у них були близькими, тоді як довжини векторів у мережах поступово збільшуються. Про це свідчать середні значення довжин векторів: в першій мережі – 40,1 км, в другій – 22,7 км, а у третій – 10,8 км.

Перші дві мережі розташовані на території Франції, третя – на території США (штат Каліфорнія). Також зауважимо, що на пунктах перших двох мереж (мережа № 1 та мережа № 2) встановлені двосистемні приймачі, тобто на них приймаються сигнали двох систем, GPS та ГЛОНАСС, тоді як на станціях мережі № 3 працюють приймачі, що приймають сигнали лише GPS-спутників.

Опрацювання результатів спостережень виконано програмою Trimble Business Center. При цьому бралися до уваги супутники, висота яких над горизонтом не менша за 10°. Всі мережі опрацьовані за однаковою методикою з різною тривалістю сеансів, а саме 24, 12, 6, 3, 2, 1 та 0,5 години. Виконано два варіанти опрацювання кожного сеансу. В одному використано бортові ефемериди, а в другому – остаточні. Для кожної мережі отримано по два сеанси тривалістю 24 та 12 годин, чотири сеанси тривалістю 6 годин та по вісім сеансів тривалістю 3, 2, 1 та 0,5 години. Тобто для кожної мережі було сформовано й опрацьовано 40 сеансів спостережень за вказаних вище тривалостей з використанням спочатку остаточних, пізніше бортових ефемерид.

Бортові ефемериди, як вже вказувалося, приймають безпосередньо від супутників під час виконання спостережень у навігаційному файлі (файл *. n

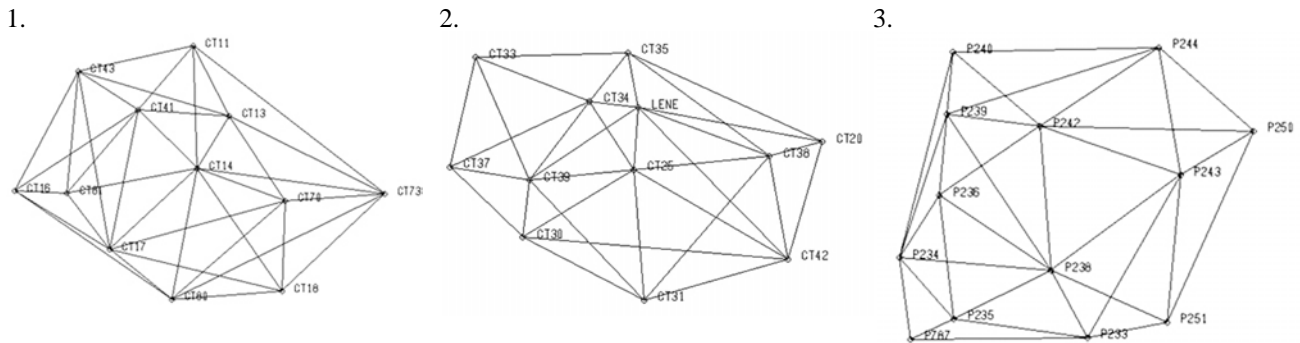
у форматі RINEX). Ці файли взято зі згаданих вже WEB-сторінок. Що стосується остаточних ефемерид, то існує багато джерел, де безкоштовно їх можна одержати. Зокрема, на сайті Міжнародної геодезичної служби www.igsb.jpl.nasa.gov, з якого ми взяли точні (остаточні) ефемериди.

Після опрацювання результатів спостережень отримано просторові координати пунктів та обчислено їх планові координати в проекції Гаусса–Крюгера, які порівнювали з їх істинними значеннями. За обчисленими різницями визначені СКП координат пунктів їх положення в трьох мережах при всіх тривалостях спостережень. Найбільше і найменше значення СКП для сеансу певної тривалості наведено в таблиці.

Як видно із таблиці, в першій мережі за всіх тривалостей спостережень діапазони значень СКП положення пунктів під час опрацювання результатів спостережень з остаточними ефемеридами, є суттєво меншим від діапазонів СКП, отриманих при опрацюванні спостережень з бортовими ефемеридами. При цьому істотно збільшилися як нижня, так і верхня межа діапазонів СКП. Це свідчить про підвищення точності положення пунктів у разі застосування остаточних ефемерид.

У другій мережі за всіх тривалостей спостережень також зменшився діапазон СКП при застосуванні остаточних ефемерид, але водночас нижня межа діапазону СКП при обох типах ефемерид одного порядку, близька до 1 мм. З цього можна зробити висновок, що частина пунктів з використанням обох ефемерид має однакову точність.

У третій мережі діапазони СКП в обох випадках дуже близькі, тобто точність положення пунктів практично не залежить від типу ефемерид.



Схеми мереж

Максимальні та мінімальні значення СКП положення пунктів, отриманих з використанням остаточних та бортових ефемерид, мм

№ мережі, Діапазон довжин векторів (від-до), км		Тривалість спостережень, год													
		24	12	6	3	2	1	0,5	24	12	6	3	2	1	0,5
		Тип ефемерид													
		Точні							Бортові						
№ 1 16.6 – 75.9	max	2,0	8,1	12,2	11,2	10,1	10,8	13,2	10,2	15,0	15,2	16,5	15,9	16,1	13,7
	min	1,0	1,4	2,1	1,8	1,9	2,8	2,9	4,1	4,0	2,7	2,5	2,6	3,5	4,3
№ 2 8.6 – 46.7	max	1,4	5,0	5,8	6,7	7,1	6,5	9,0	7,1	10,2	11,1	10,8	10,8	10,9	9,8
	min	0,0	1,0	0,5	0,5	0,6	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	1,4	1,1
№ 3 3.9 – 18.0	max	1,0	5,1	5,3	5,3	6,2	5,6	5,6	1,5	5,1	5,3	5,7	6,2	5,9	5,8
	min	0,0	1,0	1,7	2,2	2,3	3,3	3,2	0,0	1,4	2,2	2,2	2,3	3,6	3,2

Детальніший аналіз отриманих значень СКП показав, що у першій мережі, опрацьованій із використанням остаточних ефемерид, за всіх тривалостей спостережень 98 % СКП є меншими, ніж в цій самій мережі, опрацьованій з бортовими ефемеридами. І тільки в двох випадках – навпаки. Різниці значень СКП лежали в межах від 1 до 14 мм, а середнє значення цих різниць дорівнює 5 мм.

У другій мережі 94 % СКП положення пунктів, визначених із використанням остаточних ефемерид, є меншими, ніж з використанням бортових. Різниці значень СКП – у межах від 0,2 до 9 мм, а їх середнє значення дорівнює 3 мм.

У третій мережі 58 % СКП положення пунктів, отриманих з остаточними ефемеридами, є меншими від СКП, отриманих з бортовими ефемеридами, 34 % СКП мали однакові значення для обох типів ефемерид і тільки 8 % СКП були більшими в разі опрацьовання мережі з остаточними ефемеридами. Різниці СКП лежали у межах від 0 до 1 мм, їх середнє значення дорівнює 0,3 мм, тобто є несуттєвими.

Отже, проведене дослідження показує, що вплив остаточних ефемерид на точність положення пунктів супутникових мереж залежить від довжин векторів, з яких збудована мережа, бо найбільше підвищення точності отримано в мережі з найдовшими векторами. А в мережі з векторами завдовжки до 20 км остаточні ефемериди практично не підвищують точності положення пунктів. У другій мережі, де тільки 13 векторів з 33 мають довжину до 20 км та 7 – від 30 до 46,7 км, вже проявляється дія остаточних ефемерид, вони зменшили помилки положення пунктів у цій мережі в середньому на 3 мм.

Крім цього, результати наших досліджень підтверджують висновки, зроблені в [6], що використання точних ефемерид суттєво зменшує тривалість спостережень у мережах з довгими векторами. Так, у першій мережі таку саму точність положення пунктів, яка отримана за спостереженнями тривалістю 24 год при опрацьованні з використанням бортових ефемерид, можна отримати, опрацьовавши з остаточними ефемеридами сеанси спостережень тривалістю тільки 3, а навіть 2 год. У другій мережі, де довжини векторів є меншими, таку саму точність, як при спостереженнях тривалістю 24 год, та використанні бортових ефемерид, можна отримати, застосовуючи остаточні ефемериди і тоді тривалість сеансів становитиме близько 4–3 год. І тільки в третій мережі використання остаточних ефемерид не дає змоги зменшити тривалість спостережень, бо при обох типах ефемерид при всіх тривалостях сеансів точність положення пунктів практично однакова.

Висновок

Незважаючи на підвищення точності бортових ефемерид, в наш час все-таки використання точних (остаточних) ефемерид підвищує точність визначення положення пунктів у супутникових мережах, в яких є вектори, довші від 30 км. А при створенні точних мереж, у яких є вектори, довші за 40 км, на наш погляд, використання точних ефемерид обов'язкове.

При створенні супутникових мереж із векторів, довших від 25–30 км, використання остаточних ефемерид дає змогу істотно скоротити тривалість сеансів спостережень.

Література

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография.

В 2-х т. – Т. 1 / К.М. Антонович // ГОУ ВПО “Сибирская государственная геодезическая академия”. – М.: ФГУП “Картгеоцентр”, 2005. – 334 с.

2. Задемленюк А.В. Дослідження впливу похибок на супутникові вимірювання в RTK-режимі / А.В. Задемленюк // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2010. – Вип. 73. – С. 25–33.
3. Савчук С.Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат / С.Г. Савчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – Вип. 69. – С. 20–33.
4. MacDonald D. Should I Use Precise Ephemeris? Waypoint Consulting Inc. November 2001. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sokkia.com.tw/novatel/Documents/Waypoint/Reports/ephemeris.pdf>.
5. Static Baseline Accuracies as a Function of Baseline Length, Observation Time and the Effect of using the Precise Ephemeris. Waypoint Consulting Inc. September 2005 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://webone.novatel.ca/assets/Documents/Waypoint/Reports/Static_Accuracies.pdf

Вплив типу ефемерид на точність визначення положення пунктів супутникових мереж

Я. Костецька, Ю. Пішко

У трьох супутникових мережах, у першій з яких середня довжина векторів – 40,1 км, у другій – 22,7 км і в третій 10,8 км, виконано дослідження залежності точності положення пунктів від застосованого типу ефемерид. Встановлено, що при створенні мереж, в яких є вектори, довші від 30 км, необхідно використовувати остаточні ефемериди. Застосування остаточних ефемерид замість бортових при створенні мереж із векторами, довгими від 30 км, суттєво зменшує тривалість сеансів спостережень.

Влияние типа эфемерид на точность определения положения пунктов спутниковых сетей

Я. Костецкая, Ю. Пишко

В трёх спутниковых сетях, в первой из которых средняя длина векторов равна 40,1 км, во второй – 22,7 км, а в третьей – 10,8 км, исследована зависимость точности положения пунктов от типа эфемерид. Установлено, что при создании точных спутниковых сетей, в которых есть векторы большей длины, чем 30 км, необходимо применять окончательные эфемериды. Использование окончательных эфемерид вместо бортовых при создании сетей с векторами длиной больше 30 км позволяет существенно сократить сеансы наблюдений.

The effect of type ephemeris on accuracy of points position determination in satellite networks

Ya. Kostetska, Yu. Pishko

In three satellite networks, the first of which has the average length of vectors 40.1 km, the second – 22.7 km, and the third – 10.8 km, the dependence of the accuracy of position determination on the type of ephemeris was investigated. It was found that when creating accurate satellite networks with baseline lengths of more than 30 km, the use of final ephemeris is needed. Using the final ephemeris instead of broadcasts to create networks with baseline lengths longer than 30 km can significantly reduce the length of observations.