

УДК 528.2:629.78

ДОСВІД СТВОРЕННЯ ТРАВЕРСНОЇ СУПУТНИКОВОЇ МЕРЕЖІ

Я. Костецька

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: NAVSTAR GPS, траверсна супутникова мережа.**Постановки проблеми**

Супутникові методи широко використовуються в різних інженерно-геодезичних роботах. Роботи зазвичай ведуться на території компактної конфігурації, тому вже нагромадився відповідний досвід методики ведення таких робіт [1–3, 5–10]. В інженерній геодезії нерідко здійснюються роботи на лінійних спорудах, для яких також можна застосувати супутникові методи, створюючи витягнуті, тобто траверсні GPS мережі. Детальні рекомендації щодо методики створення таких супутникових мереж відсутні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються цієї проблеми

Про траверсні мережі згадується в [7, 4]. В [7] вказується, що максимальна віддаль між плановими вихідними пунктами не повинна перевищувати 60 км, віддаль між вихідним і визначуваними пунктами – 40 км, а один висотний вихідний пункт повинен припадати на площу мережі 10×10 км, тобто віддаль між висотними реперами не повинна перевищувати 20 км. Рекомендується, щоб вихідні реperi розміщувались по обидві сторони осі траверсної мережі. Для підвищення точності траверсних мереж потрібно, щоб у них було більше незалежних надлишкових векторів, ніж у звичайних мережах. Конкретніших рекомендацій немає.

Постановка завдання

Для контрольних замірів на тій ділянці нафтопроводу “Дружба”, що розміщена на території України, потрібно було визначити планові координати та висоти пунктів на горизонтальних металевих поверхнях більше ніж 60 об’єктів нафтопроводу. Була поставлена вимога, щоб СКП планових координат були не більшими за 5 см, а висот – 7 см. Термін виконання завдання – 6 місяців.

Методика виконання завдання

Ділянка нафтопроводу “Дружба” в Україні простягається від кордону з Словаччиною біля м. Ужгород через територію Закарпатської,

Львівської, Рівненської та Житомирської областей до кордону з Білорусією біля м. Овруч (рис. 1). Довжина української частини нафтопроводу – 650 км.

Щоб визначити планові координати і висоти пунктів на об’єктах нафтопроводу, необхідно було створити планово-висотну мережу потрібної точності в стислий термін. Це можна було виконати тільки із застосуванням супутникових систем визначення місця положення. Потрібно було створити саме траверсну мережу.



Рис. 1. Схема розташування нафтопроводу “Дружба” на території України

Виконане обстеження пунктів триангуляції показало, що 23 пункти 1 і 2 класів та 2 пункти 3 класу триангуляції можна включити в супутникову мережу, бо вони збереглися і їх зовнішні знаки придатні для встановлення антен приймачів, або зовнішні знаки відсутні і штатив з антеною приймача можна встановити безпосередньо над центром знака. Обстеження пунктів висотної мережі показало, що ґрунтові реperi або не збереглися, або не вдалося їх відшукати. Натомість стінні реperi та марки збереглися добре і 39 із них увійшли в мережу.

Використовуючи ці дані, був створений проект траверсної супутникової мережі. Проект мережі задовольняв такі вимоги:

- мережа повинна бути рядом трикутників з довжинами сторін, не більшими за 20–25 км;
- у мережу потрібно включити 25 пунктів триангуляції та 39 реперів;
- планові і висотні вихідні пункти повинні бути зв'язані з мережею не менше як трьома незалежними векторами, отриманими з не менше ніж двох сесій спостережень;
- пункти на об'єктах нафтопроводу повинні визначатися трьома векторами;
- якщо віддалі між пунктами мережі є близькими до 30 км, то для скорочення віддалі між пунктами потрібно проектувати додаткові пункти.

Спроекована мережа складається з 141 пункту, з яких 61 розташовані на об'єктах нафтопроводу, 25 – пункти триангуляції, 39 – репери нівелірної мережі та 16 – додаткові пункти. Довжини сторін мережі розміщені в межах від 1,5 км до 22 км та двох векторів довжиною 27 км. На території Львівської і Закарпатської областей, тобто в передгірській та гірській місцевостях, довжини сторін є коротшими. На території Рівненської та Житомирської областей, тобто в рівнинній та горбистій місцевостях, сторони мережі були довшими. Тут два вектори мають довжину близько 27 км. Коротші сторони в західній частині мережі зумовлені не тільки рельєфом місцевості, але і тим, що в гірській місцевості, особливо біля міст Чинадієво, Свалява і Тухолька, віддалі між пунктами на нафтопроводі нерідко були меншими від 1 км. У рівнинних районах, тобто в північно-східній частині мережі, вони розташовані на віддалях в середньому кільканадцять кілометрів.

На бажання замовника додаткові пункти були закріплені знаками тривалого збереження, а саме У15Н на незабудованих територіях і У15 у населених пунктах, бо планувалось їх використання для інвентаризації земель магістралі нафтопроводу.

Опис польових і камеральних робіт

Супутникові спостереження велись трьома двочастотними приймачами Geodetic Surveyor 4000 SSE фірми Trimble. Спостереження планувались так, щоб вибрати час спостережень, коли можна було приймати сигнали не менше ніж 5 супутників, розташованих над горизонтом не нижче від 15° та при значенні показника DOP, не більшому від шести.

Тривалість сесій спостережень залежала від найбільшої віддалі між двома з трьох приймачів. Коли ця віддаль була меншою від 10 км, то сесії тривали 45 хв. При віддалях від 10 до 20 км тривалість сесій становила 1 годину, а при віддалях, більших від 20 км, – 1,5 год.

Якщо однією з вершин трикутника був репер, то безпосередньо перед виконанням спостере-

жень відмітка з репера передавалась на штатив, на якому встановлювалась антена приймача. Віддаль штатива від репера на всіх висотних пунктах не перевищувала 100–120 м і висота передавалась з однієї станції нівеліром HA05. Після завершення сесії спостережень повторно здійснювалось передавання висоти від стінного репера чи марки на штатив. Коли ж однією з вершин трикутника був пункт триангуляції, на якому зберігся зовнішній знак, то безпосередньо перед спостереженнями і після їх закінчення оформлявся центрувальний лист для визначення поправки за позацентрове встановлення антени приймача.

Спостереження велись в два етапи. На першому етапі спостереження виконувались з середини вересня до середини жовтня від пунктів мережі Z 88L, R 216, LUBE (рис. 3), який розміщений біля с. Куровичі, до західного кордону. На другому етапі спостереження велось в листопаді від цих самих пунктів до кордону з Білорусією.

В результаті спостережень отримано дані для 468 векторів, з яких приблизно 40 % спостерігалась двома сесіями, а частина з них – трьома.

Схеми п'яти ділянок створеної супутникової мережі показані на рис. 2–6. Частина пунктів з схеми попередньої ділянки нанесена на схему наступної ділянки, щоб показати, як зорієнтована ця ділянка мережі відносно попередньої. На схемах пункти на об'єктах нафтопроводу позначені літерою Z або IB з їх умовним номером, репери позначені літерою R з умовним номером. Пункти триангуляції підписані чотирма латинськими літерами.

На рис. 2 показана схема ділянки мережі від кордону з Словаччиною до с. Тухолька (R 514), на рис. 3 – ділянка від с. Тухолька до м. Ходорів та с. Боринів (R 428 і R082), на рис. 4 – ділянка мережі від м. Ходорів через контрольну станцію біля с. Куровичі до межі між Львівською та Рівненською областями біля м. Броди (пункти Z 169 і R 708), на рис. 5 – від м. Броди до межі між Рівненською та Житомирською областями біля м. Корець (Z 017) і на рис. 6 ділянка – від м. Корець до кордону з Білорусією. Зазначимо, що масштаби мереж не є однаковими: в західних ділянках масштаб є більшим, ніж у північно-східних.

Після закінчення спостережень кожного дня виконувалось попереднє опрацювання отриманих в цей день результатів програмою GPSurvey з одержаними від супутників ефемеридами з метою перевірки якості спостережень, щоб здійснити, за необхідності, повторні спостереження. Але таких випадків не було.

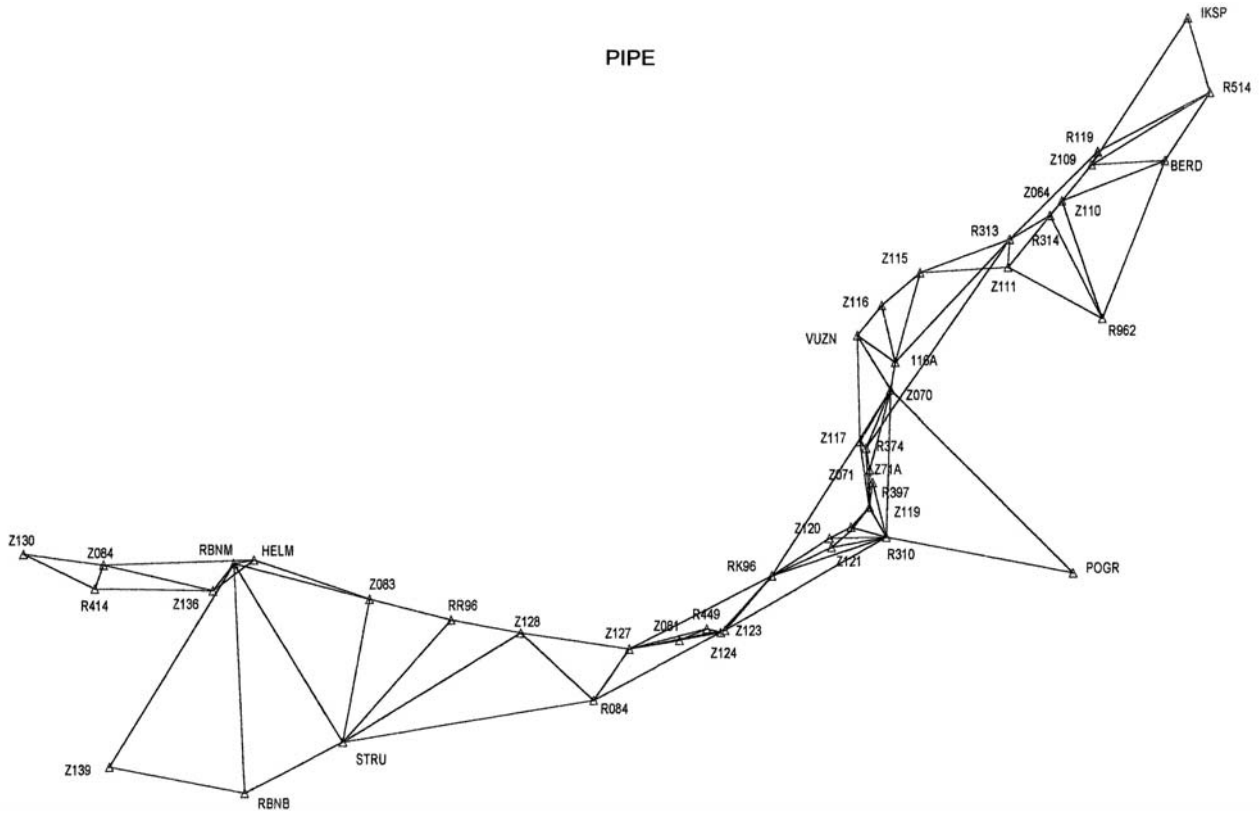


Рис. 2. Схема частини мережі від західного кордону України до с. Тухолька

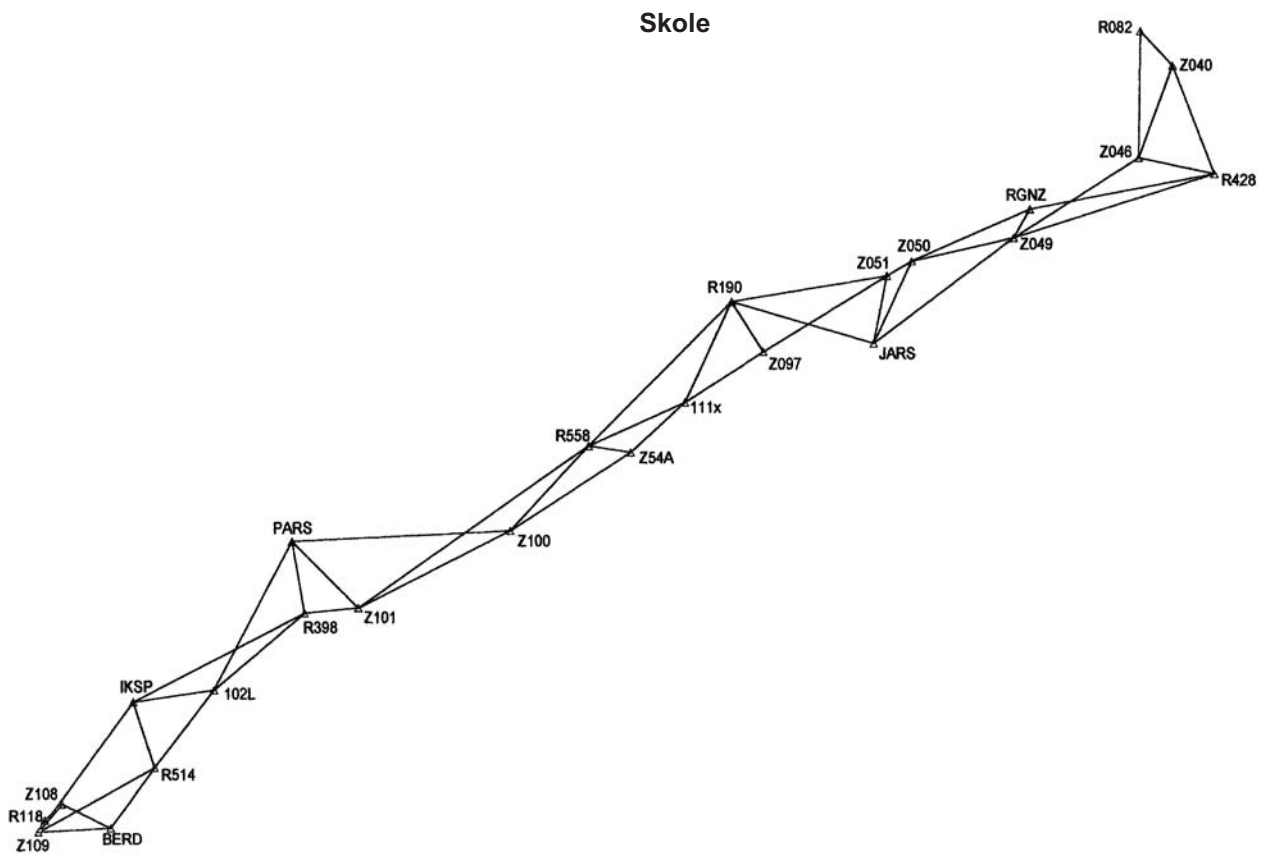


Рис. 3. Схема ділянки мережі від с. Тухолька до м. Ходорів

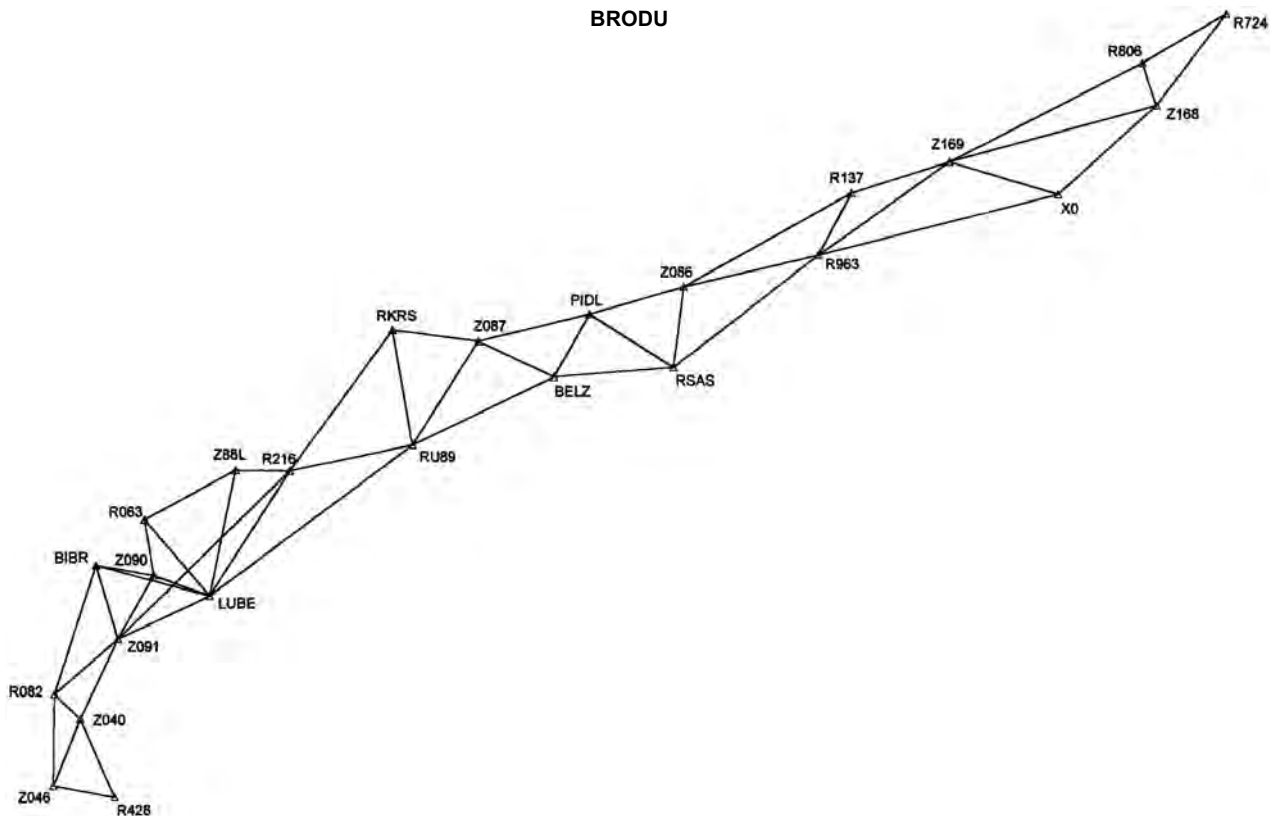


Рис. 4. Схема ділянки мережі від міста Ходорів до пунктів між містами Броди і Радивилів

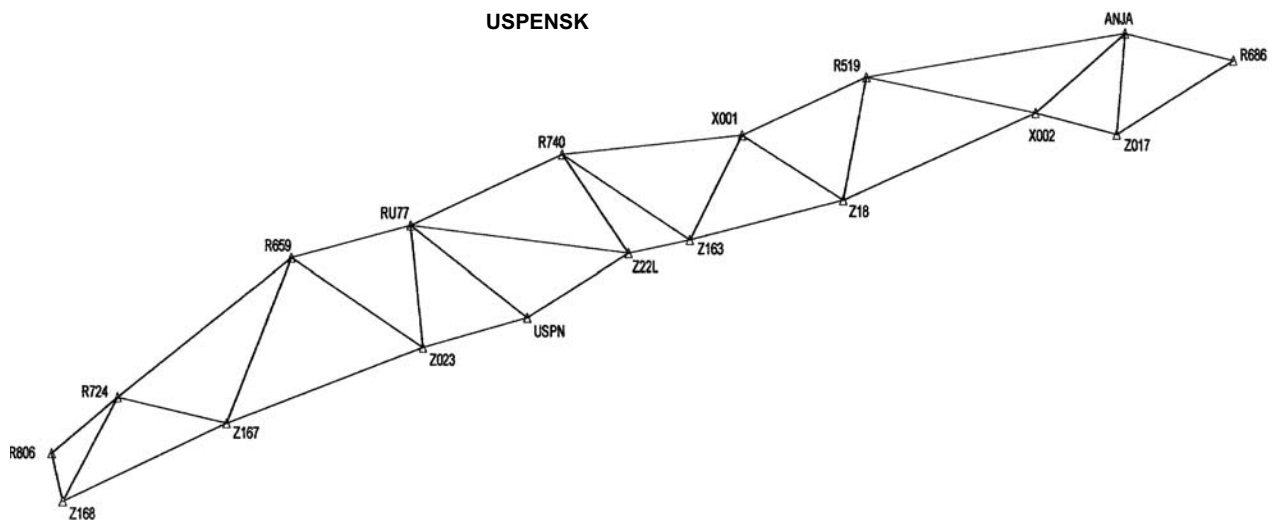


Рис. 5. Схема ділянки мережі від м. Броди до м. Корець

Після завершення спостережень виконано опрацювання всіх векторів цією самою програмою в камеральних умовах з використанням точних ефемерид. Перевірялись результати передавання висот від стінних реперів та марок, висоти встановлення антен приймачів й обчислення поправок за позacentрове встановлення антени приймача над центрами пунктів планової державної мережі. Для перевірки якості спостережень звірялись параметри векторів,

отриманих з двох і більше сесій. Крім цього, програма дає можливість оцінити точність за допомогою формування з векторів замкнутих полігонів та обчисленням в них складових нев'язки вздовж напрямків трьох координат, що дає можливість виявити дефекти у спостереженнях, які можуть знизити точність мережі, та виключити з дальшого опрацювання ці спостереження. Таким способом були перевірені всі трикутники мережі.

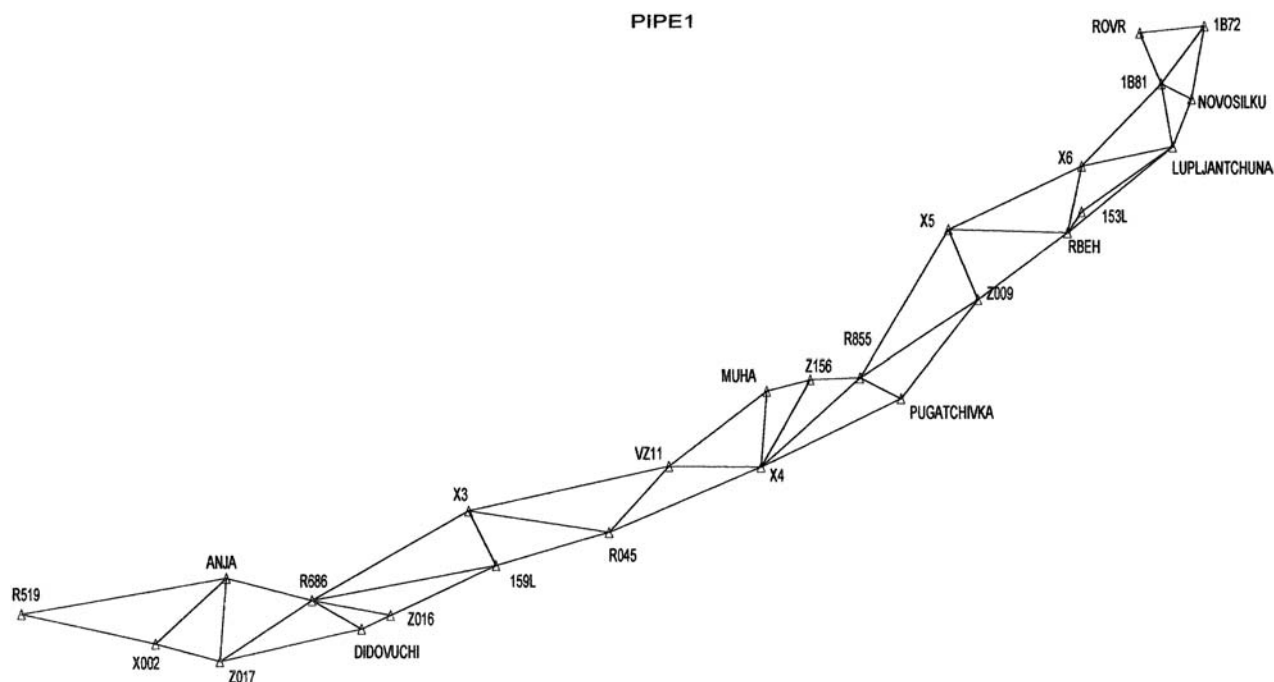


Рис. 6. Схема ділянки мережі від м. Корець до кордону з Білорусією

Врівноваження усієї мережі виконано з допомогою модуля програми GPSurvey – Network Adjustment. На першому етапі виконано врівноваження всієї мережі без накладання будь-яких умов, тобто виконано врівноваження просторової вільної мережі. Отримані результати врівноваження спостережень не викликали ніяких застережень. СКП довжин векторів в середньому становить 0,9 см, а різниць висот кінців векторів – 1,7 см.

Під час подальшого опрацювання була використана можливість, яку дає програма GPSurvey, а саме моделювати поверхню квазігеоїда за результатами супутникових спостережень та висотами реперів, що входять в мережу, отриманих з геометричного нівелювання. Точність моделі квазігеоїда залежить від кількості та густоти реперів мережі та точності їх висот, отриманих з нівелювання. В нашу мережу увійшли 39 реперів, тобто їх густина перевищувала встановлені вимоги. Більшою густина реперів була в частині мережі, розташованій в Карпатах, де моделювання поверхні квазігеоїда є складнішим. Крім цього, більша частина мережі саме в горах проходила близько до лінії нівелювання I класу, реperi якої входили в мережу. Процес моделювання поверхні квазігеоїда передбачав закріплення висот 39 пунктів та введення їх висот. За різницями між висотами реперів, отриманими за супутниковими спостереженнями, та визначеними високоточним геометричним нівелюван-

ням, програма створює модель поверхні квазігеоїда і використовує її для обчислення висот пунктів мережі.

З метою перевірки координат вихідних пунктів при отриманні планових координат пунктів в прийнятій системі кількість вихідних пунктів поступово збільшувалась. Спочатку були закріплені тільки пункти 1 класу та введені їх координати з урахуванням поправок за позацентрове розташування антен приймача і виконано врівноваження мережі. Після цього закріплювався один або два пункти нижчого класу і знову виконувалось врівноваження. Якщо результати врівноваження були задовільними, то закріплювались наступні пункти. Коли ж результати врівноваження були незадовільними, то один із закріплених пунктів переводився у пункт, який визначається, і повторно здійснювалось врівноваження. Таким способом виконано перевірку вихідних пунктів та їх відбракування. В кінцевому варіанті залишені як вихідні 19 пунктів державної планової мережі.

Оцінка точності планових координат пунктів показала, що їх СКП у всій мережі лежать у межах від 1 до 3 см. Точність висот пунктів у північно-східній частині мережі від пунктів BELZ і PIDL, тобто в рівнинній та горбистій місцевості, є вищою від точності висот пунктів в західній частині мережі, тобто передгірській та гірській. Із 36 пунктів в північно-східній частині мережі СКП висот тільки шести пунктів

є більшими від 4 см, а одного пункту становить 5,6 см. В західній частині мережі СКП висот пунктів є більшими. СКП висот близько 80 % не перевищують 5 см, а СКП висот решти пунктів лежать у межах від 5 до 7 см.

Висновки

Точність створеної мережі показує, що вимоги, прийняті в [7 і 4] до густоти планових та висотних пунктів та до тривалості сесій в траверсних супутникових мережах з трикутників, є вповні обґрунтованими, але лише за наявності висотних пунктів 1 і 2 класу. Бажано все-таки мати більшу кількість вихідних пунктів, що дає можливість відбракувати неякісні пункти. Для отримання вищої точності координат та висот пунктів потрібно користуватись точними ефемеридами.

Література

1. Баландин В.Н., Брынъ М.Я., Хабаров В.Ф., Юськевич А.А. – Санкт-Петербург: ФГУП “Аэрогеодезия”, 2003. – 112 с.
2. Генине А.А., Побединский Г.Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и её применение в геодезии. – М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1999. – 272 с.
3. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика. – К.: Наук. думка, 1996. – 376 с.
4. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Ч. II Електронні геодезичні прилади. – Львів: ІЗМН, 2000. – 324 с.
5. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України. – К.: ГУГКК. – 18 с.
6. Соловьёв Ю.В. Спутниковая навигация и её приложения. – М.: ЭКО-ТРЕНЗ, 2003. – 326 с.
7. A Field Guidebook for Static Sueveying. Trimble Navigatin Limited, 1995. – 38 s.
8. Kahmen H. Vermessungskunde. 19. Auflage. Berlin&Walter de Gruyter, 1997. – 732 s.
9. Lamparski J. NAVSTAR GPS od teorii do praktyki. Olszty: W-wo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, 2001. – 548 s.
10. Lamparski J. GPS w praktyce geodezyjnej. – Katowice: gall, 2007. – 188 s.

Досвід створення траверсної супутникової мережі

Я. Костецька

Описано процес створення за допомогою двочастотних приймачів траверсної мережі довжиною близько 650 км, побудованої з трикутників з довжинами сторін від 1,5 до 25 км. Отримано однакову точність планових координат пунктів у гірській і в рівнинній місцевостях, Їх СКП не перевищує 4 см. Точність висот пунктів є вищою у рівнинній місцевості. У рівнинній місцевості СКП висот пунктів не перевищує 5 см, а в гірській – 7 см.

Опыт создания траверсной спутниковой сети

Я. Костецкая

Описан процесс создания с помощью двухчастотных приёмников траверсной сети длиной около 650 км, построенной из треугольников с длинами сторон от 1,5 до 25 км. Точность плановых координат получилась одинаковой в равнинной и в горной местностях, их средние квадратические ошибки не превышают 4 см. Точность высот пунктов выше в равнинной местности, чем в горной. В равнинной местности средние квадратические ошибки высот пунктов не превышают 5 см, а в горной – 7 см.

Experience of creation of a traverse satellite network

Ya. Kostetska

Process of creation with the help of two-frequency receivers traverse networks in length about 650 kilometers, constructed of triangles with lengths of the sides from 1,5 up to 25 km is described. Accuracy of scheduled coordinates has turned out identical in flat and in mountain districts, their mean square errors do not exceed 4 cm. Accuracy of heights of points has turned out above in flat district than in mountain. In flat district mean square errors of heights of points do not exceed 5 cm, and in mountain – 7 cm.