

УДК 528.38

НІВЕЛІРНІ РОБОТИ НА СТАНЦІЇ СУМІСНИХ АСТРОНОМІЧНИХ, ГЕОДЕЗИЧНИХ І ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПОБЛИЗУ ПОЛТАВИ

М. Тищук, А. Гожий

Полтавська гравіметрична обсерваторія НАН України

Ключові слова: нівелювання геометричне, станція сумісних астрономічних, геодезичних і геофізичних спостережень, локальна висотна мережа, нівелювання супутникове.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Розв'язання багатьох важливих задач в геодинаміці потребує комплексного підходу. Його можна забезпечити проведенням сумісних астрономічних, геодезичних і геофізичних спостережень (САГГС) в тому самому пункті. Для виконання широкого спектра досліджень з геодинаміки на основі різнорідних спостережень та розроблення способів поєднання таких спостережень створено станцію сумісних спостережень у Степанівці. Одним із елементів визначень на станції є геометричне нівелювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

У роботах [1, 2] описано створення експериментальної станції САГГС у селі Степанівка поблизу Полтави та устрій її пунктів спостережень. Особливістю цієї станції є те, що результати різнорідних спостережень на її пунктах у різні епохи можуть приводитись до того самого геометричного центра. Одним із видів геодезичних спостережень на станції є визначення висот центрів пунктів і реперів із геометричного нівелювання. Для приведення визначених висот до основного геометричного центра станції застосовується відповідна методика передавання перевищень [3]. Нівелірні та інші визначення на станції сумісних спостережень коротко описано в роботі [4].

Постановка завдання

Метою статті є опис: локальної висотної мережі (ЛВМ), створеної нами на станції САГГС у Степанівці; виконаних нами нівелірних робіт як одного із видів геодезичних визначень; результатів геометричного нівелювання за 2001–2014 рр.; порівняння результатів геометричного і супутникового нівелювання для двох пунктів мережі.

Локальна висотна мережа станції

Станція сумісних спостережень розміщена у с. Степанівка Полтавського району, на відстані 20 км від Полтави в північно-східному напрямку. Вона облаштована на базі лабораторного корпусу радіотелескопа № 2 Українського радіоінтерферометра Академії наук (РТ УРАН-2).

Зазвичай пункти спостережень в обсерваторіях поєднуються локальними геодезичними мережами [5]. Є така координатна мережа і у Степанівці [4]. На її основі ми створили локальну висотну мережу. Ці дві

мережі частково збігаються. ЛВМ поєднує ті точки станції, на яких визначаються висоти чи перевищення. До таких належать марки деяких спостережних пунктів та мережа стінних реперів (див. рисунок):

ОП4 – східна марка основного постаменту фундаментального геодинамічного пункту (який обладнаний в підвальному приміщенні корпусу РТ УРАН-2), основний координатний центр станції;

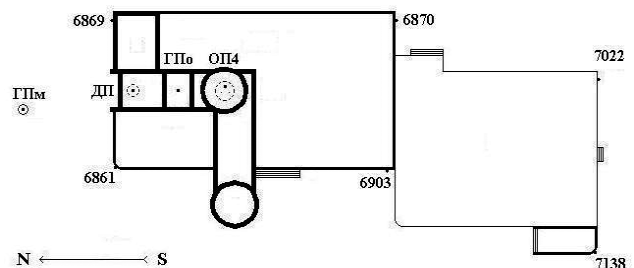
ДП – марка допоміжного постаменту фундаментального геодинамічного пункту;

ГПо – марка основного пункту геодезичних визначень, встановлена в залізобетонній плиті над третім поверхом будівлі на її несучих стінах;

ГПм – марка міри або азимутального пункту геодезичних визначень (грунтовий репер на відстані 383 м на північ від основного пункту);

стінні реperi лабораторного корпусу (№ 6870, 6869, 6861, 6903, 7138, 7022).

На рисунку в плановій площині показані: товстою лінією – триповерхову частину лабораторного корпусу радіотелескопа, потовщеною лінією – двоповерхову частину, тонкою лінією – одноповерхову частину будівлі; пунктиром показані проєкції постаментів, які розташовані у підвальному приміщенні корпусу; точками показані марки і реperi висотної мережі.



Планова схема локальної висотної мережі станції сумісних спостережень (умовні позначення в тексті)

Локальна висотна мережа використовується для передавання висот до основного координатного центра станції, для контролю висотної стабільності марок і реперів станції. Вона має певні особливості. У плані майже всі її марки і реperi розміщені в межах лабораторного корпусу РТ УРАН-2, довжина якого становить 46 м, а ширина – переважно 14 м. Тільки одна марка мережі (ГПм) віддалена від цієї будівлі на значну відстань. По висоті точки мережі розташовані на трьох рівнях, а саме: під поверхнею землі (ОП4, ДП – на глибині приблизно 2 м), біля поверхні землі (стінні реperi і ГПм), над поверхнею землі (ГПо – на висоті приблизно 11,5 м).

Нівелювання 2001–2014 рр.

Роботи з геометричного нівелювання ми виконуємо періодично з 2001 р. Первинною їх метою була необхідність стеження за вертикальною стабільністю лабораторного корпусу після введення його в експлуатацію хоча б на рівні IV класу точності, оскільки із геологічних досліджень було відомо, що ця будівля розташована поблизу пливуну. Загалом цілі були розширені: контроль висотної стабільності пунктів спостережень та будівлі лабораторного корпусу радіотелескопа, прив'язка висот пунктів і реперів станції САГГС до основного координатного центра ОП4. А оскільки на основному і азимутальному пунктах геодезичних визначень (ГПо і ГПм) час від часу виконуються спостереження в глобальній навігаційній супутниковій системі (ГНСС), то порівнюються зміни перевищень між цими пунктами, отримані двома методами.

Спочатку, в 2001 р., за допомогою нівеліра Н-3 і стандартних триметрових нівелірних рейок ми виконали прив'язку ЛВМ до Державної висотної мережі відносно пункту триангуляції III класу (нівелірний пункт IV класу), розміщеного на відстані 1,4 км на схід від села Степанівки і 0,3 км від лісосмуги на древньому розритому кургані неподалік від ЛЕП. Перевищення цього пункту над маркою ОП4 основного постаменту фундаментального геодинамічного пункту становить +8,6564 м.

Потім ми провели сім серій нівелювань у ЛВМ. Вони виконувались, як правило, в кінці року (деякі – в кінці одного – на початку іншого року), а саме: у 2002/2003 рр., 2004/2005 рр., 2005 р., 2006 р., 2009 р., 2013 р., 2014 р. У перших чотирьох серіях використовувався нівелір Н-3, далі – нівелір НВ-1.

Нівелювання в локальній висотній мережі виконано за нестандартною методикою трьома окремими ходами:

- перший хід – між стінними реперами лабораторного корпусу (6870, 6869, 6861, 6903, 7138, 7022);
- другий хід – між мережею стінних реперів і марками пунктів спостережень ОП4, ДП, ГПо;
- третій хід – між мережею стінних реперів і маркою міри ГПм.

Довжина першого ходу становить 248 метрів, він замкнутий, зазвичай нівелювання виконувалось прямим ходом, а в 2013 і 2014 рр. також і оберненим ходом. Застосовувалась нестандартна нівелірна рейка довжиною 1,355 м, яку виготовили на основі сталеві мірної стрічки. У 2002/2003 рр. використовувався, як виняток, високоточний нівелір Н-05 з відповідною інварною рейкою.

Загальна довжина другого ходу – 175 метрів. Він виконувався як прямий і обернений, що спирається на один чи два стінні репери. Виняток становить тільки перша серія нівелювань (прямий незамкнений хід).

Другий хід поєднує марки і репери, розташовані на трьох висотних рівнях, а саме: в підвальному приміщенні лабораторного корпусу, біля поверхні землі, над третім поверхом цієї будівлі. Він дає змогу прив'язати висоти усіх марок і реперів ЛВМ до основного координатного центра ОП4.

Для виконання нівелювань у другому ході, крім нашої нестандартної нівелірної рейки, застосовувались сталеві мірні стрічки, які закріплювались вертикально, та використовувався наскрізний вертикальний отвір через всі переkritтя корпусу над допоміжним постаментом. Спочатку застосовувались дві стандартні сталеві 50-метрові мірні стрічки й одна 5-метрова. При цьому процес нівелювання затягувався через проблеми з кріпленням цих стрічок у потрібних місцях над другим і третім поверхом будівлі, а також з прикріпленням важків до їхніх нижніх кінця. Ці проблеми вирішено в 2013 р., коли ми виготовили три спеціальні мірні стрічки (зі звичайних сталевих), що мають зручні засоби кріплення на кінцях для підвішування до кронштейнів і для навішування на їхні нижні кінці важків. Це істотно пришвидшило виконання нівелірних робіт у другому ході.

Третій хід має загальну довжину 856 метрів, він виконувався як прямий і обернений, що спирається на один стінний репер. Виняток становить тільки нівелювання 2002/2003 рр. (прямий незамкнений хід). Використовувалась стандартна триметрова рейка (суцільна або складна). У 2004/2005 рр., 2005 р., 2014 р. нівелювання в третьому ході не проводились.

Роботи з геометричного нівелювання виконував М. Ф. Тишук з допомогою в різні роки А. В. Гожого, Ю. П. Новікової, О. В. Борисюка, Т. М. Бабич, Д. І. Шарун.

Результати геометричного нівелювання

Виміряні перевищення між марками і реперами локальної висотної мережі зрівноважувались окремо в трьох ходах. Характеристики точності цих ходів у міліметрах наведені в табл. 1. Відповідно до отриманих нев'язок ходів визначено клас точності нівелювань [6].

Таблиця 1

Характеристики точності нівелювань, мм

Дата	Нев'язка ходу	Допустима нев'язка	Клас нівелювання
<i>перший хід</i>			
2002/3	-2,4	3,5	III клас
2004/5	-9,0	10,0	IV клас
2005	+5,5	10,0	IV клас
2006	+5,9	10,0	IV клас
2009	+1,7	2,0	II клас
2013	+1,4	2,0	II клас
2014	-1,5	2,0	II клас
<i>другий хід</i>			
2002/3	не визначалась	–	–
2004/5	+3,6	8,4	IV клас
2005	+0,2	0,8	I клас
2006	-0,2	0,8	I клас
2009	+1,3	1,7	II клас
2013	-0,4	0,8	I клас
2014	+0,2	0,8	I клас
<i>третій хід</i>			
2002/3	не визначалась	–	–
2004/5	–	–	–
2005	–	–	–
2006	+16,0	18,5	IV клас
2009	+9,0	18,5	IV клас
2013	-4,9	6,5	III клас
2014	–	–	–

Як видно з табл. 1, найвищої точності досягнуто у другому ході найменшої довжини. У першому ході точність суттєво покращилась з 2009 р. В третьому ході, найбільшої довжини, хоч і спостерігається зростання точності, але похибки залишаються доволі значними. Тому надалі плануємо забезпечити виконання всіх нівелювань на рівні першого класу.

За врівноваженими перевищеннями в трьох ходах обчислено перевищення точок ЛВМ над основним координатним центром ОП4, середнє значення із семи серій нівелювань $\Delta h_{\text{середнє}}$, а також стандартне відхилення $\sigma_{\Delta h}$ (табл. 2).

Таблиця 2

Перевищення марок і реперів ЛВМ над основним координатним центром ОП4, мм

Дата	Назви центрів, перевищення		
<i>1-й хід</i>			
	рп6870	рп6869	рп6861
2002/3	3294,5	3194,4	3325,6
2004/5	3293,4	3193,9	3324,9
2005	3294,5	3195,5	3326,0
2006	3293,5	3192,2	3323,9
2009	3293,8	3193,0	3324,8
2013	3292,9	3192,8	3324,9
2014	3293,8	3193,5	3325,8
$\Delta h_{\text{середнє}}$	3293,8	3193,6	3325,1
$\sigma_{\Delta h}$	±0,58	±1,10	±0,73
<i>1-й хід</i>			
	рп6903	рп7138	рп7022
2002/3	3319,4	2684,3	2673,7
2004/5	3318,9	2682,9	2672,4
2005	3320,0	2683,5	2674,0
2006	3318,5	2682,0	2672,0
2009	3319,6	2682,1	2672,3
2013	3319,6	2681,4	2671,4
2014	3319,9	2682,9	2672,4
$\Delta h_{\text{середнє}}$	3319,4	2682,7	2672,6
$\sigma_{\Delta h}$	±0,53	±0,97	±0,92
<i>2-й хід</i>		<i>3-й хід</i>	
	ДП	ГПо	ГПм
2002/3	-78,5		-939,6
2004/5	-78,8	13565,1	-
2005	-79,5	13565,5	-
2006	-80,2	13565,9	-938,8
2009	-78,7	13565,0	-937,0
2013	-78,9	13567,2	-936,7
2014	-79,4	13566,4	-
$\Delta h_{\text{середнє}}$	-79,2	13565,9	-938,0
$\sigma_{\Delta h}$	±0,58	±0,84	±1,40

Незважаючи на деякі значні нев'язки в нівелірних ходах (табл. 1), розмах варіацій перевищень відносно основного координатного центра станції ОП4 для точок локальної висотної мережі протягом 2002–2014 рр. був у межах 1,5–3 мм, а стандартне відхилення 0,5–1,4 мм (табл. 2).

Для більшості точок мережі тренд зміни висоти чітко не проявляється. Тільки для азимутального пункту геодезичних визначень (ГПм) простежується явна тенденція до збільшення висоти. Тож, щоб зрозуміти характер зміни висот точок ЛВМ відносно ОП4, ми виконали лінійну апроксимацію результатів

нівелювань і отримали тренди для періоду 1.01.2002–31.12.2014 (табл. 3).

Таблиця 3

Лінійний тренд точок ЛВМ відносно ОП4 за період 2002–2014 рр., мм

<i>1-й хід</i>			
Стінні репери	рп6870	рп6869	рп6861
Тренди	-1,0	-1,5	+0,1
<i>1-й хід</i>			
Стінні репери	рп6903	рп7138	рп7022
Тренди	+0,7	-1,9	-1,8
<i>2-й хід</i>		<i>3-й хід</i>	
Марки пунктів	ДП	ГПо	ГПм
Тренди	-0,2	+1,9	+3,5

Як видно з табл. 3, тренд висот східних і південних стінних реперів від'ємний в межах 1–2 мм, північно-західного – близький до нуля, західного – додатний і менший за 1 мм. Центри геодезичного пункту (основний і азимутальний) мають додатний тренд приблизно 2 і 3,5 мм відповідно, а центр допоміжного постаменту має тренд, близький до нуля.

Порівняння результатів геометричного і супутникового нівелювання

На основному й азимутальному пунктах геодезичних визначень проведено декілька серій ГНСС-спостережень. Ми вже маємо результати двох із них.

Перша кампанія з визначення координат пунктів у Степанівці проведена 11–13.10.1999 р. Дводобові спостереження виконували працівники Українського державного аерогеодезичного підприємства (м. Київ) С. С. Руденко, В. Л. Мельник, Б. Є. Харута під керівництвом А. О. Антошука і В. О. Загоруйка з нашою участю. Використано ГНСС-приймачі Trimble 4000 SSE.

Інша кампанія проведена 30–31.10.2012 р. На пункті ГПо виконана добова сесія спостережень, а на пункті ГПм – дві сесії по п'ять і чотири години. Використовувався комплект приймачів Trimble 5700 з антенами Zephyr Geodetic і Zephyr. Робота виконана у співпраці з Державним науково-виробничим підприємством "Полтавагеодезцентр" (м. Полтава), основним спостерігачем був його працівник Д. В. Стахів.

Дані спостережень ГНСС-кампанії 2012 р. передано в Науково-дослідний інститут геодезії і картографії (м. Київ) для обробки. Разом з даними 2012 р. там також переоброблені й дані 1999 р. в єдиній системі координат IGS08. Ми уточнили величини редуцій при визначеннях на пункті ГПо у 2012 р. та зробили відповідні виправлення результатів. Отже, із супутникових спостережень ми отримали геодезичні висоти пунктів ГПо і ГПм відносно геоцентричного еліпсоїда GRS80. Перевищення між цими пунктами на дати супутникових спостережень подано в табл. 4.

Із геометричного нівелювання ми отримали нормальні висоти тих самих пунктів у Балтійській системі висот 1977 р. Але дати ГНСС-спостережень не збігаються з часовими межами виконаного геометричного нівелювання. Тому лінійну апроксимацію результатів класичних нівелювань для пунктів ГПо і ГПм ми

екстраполювали на дату першої ГНСС-кампанії та інтерполювали на дату другої та отримали перевищення між цими пунктами для періоду супутникових спостережень (табл. 4).

Таблиця 4

Перевищення між пунктами ГПо і ГПм із супутникового і геометричного нівелювань за 1999–2012 рр., мм

Дата ГНСС-спост.	ГНСС-нівелювання	Геометричне нівелювання	Різниця методів
1999 р.	14515,2	14504,8	10,4
2012 р.	14509,9	14503,2	6,7
(2012–1999)	-5,3	-1,6	

Результати ГНСС-нівелювань у ці дві епохи показали зменшення перевищення між пунктами ГПо і ГПм на 5,3 мм, результати класичних нівелювань дають зменшення перевищень на 1,6 мм. Перевищення між цими пунктами, отримані різними методами, відрізняються приблизно на 10 і 7 мм. Звичайно, тут є деяке розходження між результатами класичного і супутникового нівелювання. Але зазначимо, що, наприклад, добова сесія ГНСС-нівелювання дає похибку перевищення між пунктами 7–8 мм порівняно з геометричним нівелюванням [7]. Тому такі відмінності в результатах нівелювань двома методами допустимі.

Висновки і перспективи

1. На станції сумісних спостережень створена локальна висотна мережа.
2. Виконана прив'язка ЛВМ до Державної висотної мережі.
3. Періодично виконуються геодезичні визначення перевищень методом геометричного нівелювання.
4. Забезпечується передавання висотної складової координат пунктів спостережень та висот реперів до основного координатного центра станції САГГС.
5. Нівелірні роботи засвідчили висотну стабільність пунктів спостережень та лабораторного корпусу радіотелескопа.
6. Здійснено порівняння результатів геометричного і супутникового нівелювання для двох пунктів.

Визначення перевищень методом геометричного нівелювання у локальній висотній мережі будуть продовжені паралельно з іншими видами спостережень на станції для забезпечення її всебічного функціонування. Наші зусилля ми спрямовуємо на підвищення точності нівелірних робіт і на розширення ЛВМ.

Література

1. Гожий А. Створення станції сумісних астрономічних, геофізичних і геодезичних спостережень для потреб досліджень з геодинаміки / Гожий А., Тишук М. // Кинематика и физика небесных тел. Приложение. – Киев, 1999, № 1. – С. 113–114.
2. Тишук М. Створення експериментальної станції сумісних астрономічних, геодезичних і геофізичних спостережень / Тишук М., Гожий А. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2003. – С. 103–109.

3. Tyshchuk M. On reduction of results of joint astronomical, geodetic and geophysical observations to one geometrical centre / Tyshchuk M., Gozhy A // Кинематика и физика небесных тел. Приложение. – Киев, 2005, № 5. – С. 369–371.
4. Тишук М. Функціонування станції сумісних астрономічних, геодезичних і геофізичних спостережень поблизу Полтави / Тишук М., Гожий А. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – № 29. – С. 44–47.
5. Самойленко А. Н. Локальная геодезическая сеть на Симеизском геодинамическом полигоне / Самойленко А. Н. – Киев, 1996. – 36 с. – (Препринт / НАН Украины, Глав. астрон. обсерватория; ГАО-96-1Р).
6. Справочник геодезиста. Книга 2 / под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. – М.: Недра, 1985. – 440 с.
7. Тревого І. Аналіз результатів нових експедицій на метрологічних об'єктах наукового геодезичного полігона / Тревого І., Цюпак І. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – № 29. – С. 66–69.

Нівелірні роботи на станції сумісних астрономічних, геодезичних і геофізичних спостережень поблизу Полтави
М. Тишук, А. Гожий

Описано локальну висотну мережу станцій сумісних спостережень у Степанівці. Виконано прив'язку цієї мережі до Державної висотної системи координат. Наведено результати семи серій геометричного нівелювання в мережі, які виконувались у 2002–2014 рр. Здійснено порівняння результатів геометричного і супутникового нівелювання для двох пунктів.

Нивелирные работы на станции совместных астрономических, геодезических и геофизических наблюдений вблизи Полтавы
Н. Тышук, А. Гожий

Описана локальная высотная сеть станции совместных наблюдений в Степановке. Осуществлена привязка этой сети к государственной высотной системе координат. Приведены результаты семи серий геометрического нивелирования в сети, выполненные в 2002–2014 гг. Проведено сравнение результатов геометрического и спутникового нивелирования для двух пунктов.

Levelling works at the Joint Astronomical, Geodetic and Geophysical Observation Station near Poltava
M. Tyshchuk, A. Gozhy

The local levelling network of the joint observation station in Stepanivka is described. Linking this network to the state levelling network is made. The results of seven series of geometric levelling in the network during 2002–2014 years are given. Comparison of the results of geometric and satellite levelling for two points is carried out.