

В. Антонюк, В. Астаф'єв, В. Грек, Є. Клепфер, В. Корольов, М. Лобур, В. Нікітченко
Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

А. Віват, С. Савчук, Т. Шевченко
Національний університет "Львівська політехніка"

КОМПЛЕКСНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ВСТАНОВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ В ПРОЕКТНЕ ПОЛОЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНОГО ТА ТРАДИЦІЙНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

*О Антонюк В., Астаф'єв В., Грек В., Клепфер Є., Корольов В.,
Лобур М., Нікітченко В., Віват А., Савчук С., Шевченко Т., 2006*

Описано комплекс робіт із встановлення складної радіотехнічної системи в проектне положення через визначення координат опорних точок кріплення з міліметровою точністю.

The complex of works on an establishment of radio engineering system in design position is described by definition of coordinates of reference points of strengthening with millimetric accuracy.

Вступ. Під час монтажних і наладжувальних робіт складної радіотехнічної системи, до якої входять антенні решітки, що встановлюються в закритих приміщеннях і заховані ззовні радіопрозорим укриттям, виникла задача із визначення координат опорних точок кріплення антен з міліметровою точністю в умовах обмеженого прямого доступу до точок вимірювання, а також задача виставлення діаграм направленості антенних решіток в заданому напрямку. Труднощі розв'язання цих актуальних задач в закритих приміщеннях видовженої лінійної споруди полягають, з одного боку, у можливості деформацій цієї споруди в просторі і часі, а з іншого, – відсутністю видимості вимірювальних опорних точок ззовні. Для розв'язання цих задач розглянута можливість застосування геодезичних методів вимірювання розташування точок на об'єктах, які геометрично рознесені в просторі, і можливих деформацій будівель, в яких розташована радіотехнічна система, під час використання класичних і сучасних геодезичних вимірювальних приладів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми. Аналізуючи фізичні принципи, які покладено в основу геодезичного моніторингу висотних будівель і споруд, опублікованих в [1–5], можна виділити чотири основні високоточні методи вимірювання, до яких належать:

оптичні – базова пряма визначається візирною або оптичною віссю зорової труби, коліматора або автоколіматора;

струнні – базова пряма задається натягнутою прямою;

променеві – базова пряма задається віссю пучка світлових променів, зокрема віссю діаграми спрямованості лазерного пучка;

інтерференційні – ґрунтуються на законах фізичної оптики.

Точність цих методів визначення нестворності становить від 0,3 до 0,05 мм.

З середини 80-х років минулого століття стрімкого розвитку у визначенні координат і місця знаходження об'єктів набувають GPS-технології. Високу точність супутникових вимірів з використанням польових базисів для еталонування тахеометрів наведено в [6]. Ці експериментальні дані підтверджують можливість отримання точності згідно з рівнянням регресії:

$$m_s = (1.75 + 0.86 \times 10^{-7} S) \text{ мм.}$$

У [7, 8] наведено методика високоточних вимірювань відносного місцеположення за допомогою супутникової технології GPS/GLONAS. Показано можливість досягнення міліметрової точності у визначенні координат. Наведено декілька практичних порад та методика спостережень.

Постановка проблеми. Для реалізації радіомоніторингу довкілля необхідно розробити метод, який би уможливив забезпечити визначення координат опорних точок системи, на які будуть кріпитися антени, розміщені в закритих приміщеннях, з точністю на рівні одного міліметра, а також встановлення діаграм направленості антен в заданому напрямку.

Виклад матеріалу досліджень.

1. Забезпечення створності опор у горизонтальній, вертикальній площинах та рівності базових плечей.

На основі існуючих досягнень геодезичної науки в роботі наведено результати розробленої і реалізованої методики встановлення та необхідної просторової орієнтації антен, розміщених в закритих приміщеннях, з заданою міліметровою точністю з використанням сучасних (GPS-приймачів, електронного тахеометра) та традиційних (рівневого нівеліра, теодоліта) геодезичних приладів, а також спеціально розробленого нестандартного обладнання.

Дослідження, які були проведені колективом авторів на Яворівському науковому геодезичному полігоні, підтвердили можливість досягнення міліметрової точності визначення відстаней взаємного геометричного розташування опорних пунктів, а також її стабільність у просторі і часі. Апробована методика була використана під час визначення геометрії розташування опор кріплення антенних решіток, які розміщені в закритих приміщеннях витягнутої лінійної форми чотириповерхової споруди (рис. 1).

Для визначення можливих рухів споруди було проведено дводенні GPS-спостереження з 10.00 до 18.00 год. Використано три комплекти приймачів Trimble 4000. Отримано 16 годинних епох спостережень для кожного пункту. До обробки підключено перманентну станцію SULP.

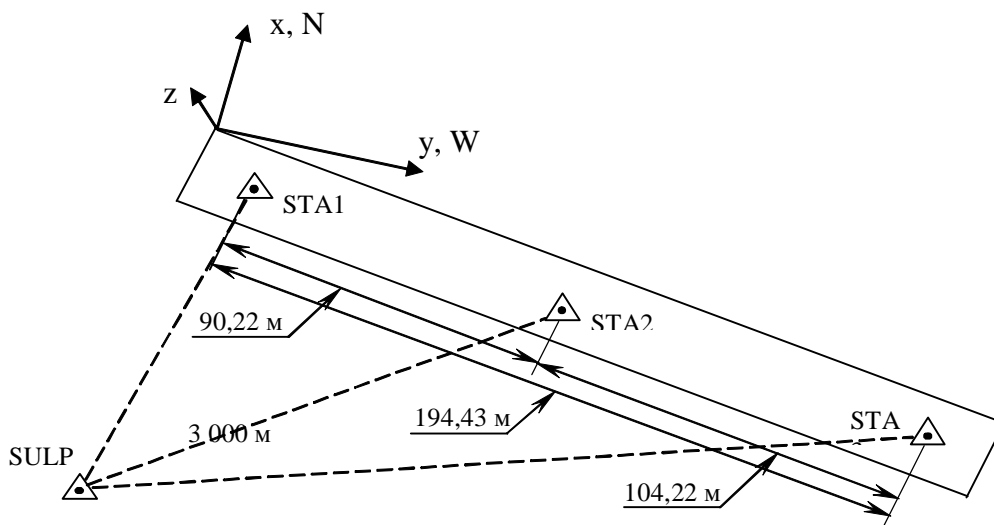


Рис. 1. До питання визначення деформацій споруди

Взявши за основу координати перманентної станції SULP, отримаємо просторові геодезичні координати (B, L, H) трьох пунктів із розв'язку навігаційної задачі. Виразимо їх у просторовій прямокутній системі координат (X, Y, Z):

$$\left. \begin{aligned} X &= (N+H)\cos B\cos L \\ Y &= (N+H)\cos B\sin L \\ Z &= ((1-e^2)N+H)\sin B \end{aligned} \right\},$$

де $N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}}$; a , e^2 – велика піввісь та квадрат першого ексцентриситету еліпсоїда.

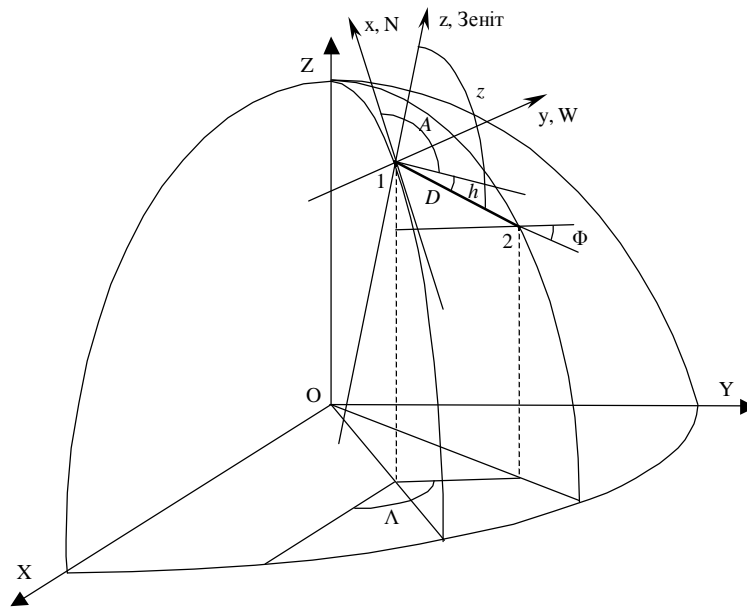


Рис. 2. Перехід від геоцентричної до топоцентричної системи координат

Обчислимо різниці DX , DY , DZ :

$$DX_{ij} = X_{SULP_j} - X_{ij}$$

$$DY_{ij} = Y_{SULP_j} - Y_{ij}$$

$$DZ_{ij} = Z_{SULP_j} - Z_{ij}$$

$i - 1, 2, 3 -$ станції; $j - 1, 2, \dots, 8 -$ епохи.

Для аналізу зміщень представимо просторові різниці координати пунктів у топоцентричній горизонтній системі координат (рис. 2), використовуючи при цьому матрицю повороту [4]:

$$\begin{bmatrix} dx_{ij} \\ dy_{ij} \\ dz_{ij} \end{bmatrix}_{\text{Топоцентрична}} = \begin{bmatrix} -\sin B_{i1} \cos L_{i1} & -\sin B_{i1} \sin L_{i1} & \cos B_{i1} \\ -\sin L_{i1} & \cos L_{i1} & 0 \\ \cos B_{i1} \cos L_{i1} & \cos B_{i1} \sin L_{i1} & \sin B_{i1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} DX_{ij} \\ DY_{ij} \\ DZ_{ij} \end{bmatrix}_{\text{Геоцентрична}}$$

У табл. 1, 2, 3 зведено опрацьовані результати для другого дня спостережень. Вони є більш репрезентативні, оскільки атмосфера була добре прогріта сонцем, на відміну від першого дня.

Таблиця 1

Часовий ряд зміщення за результатами спостережень на станції STA1

Зміщення	1-1	2-1	3-2	4-3	5-4	6-5	7-6	8-7
dx_{1j}	0	5,6	0,9	1,3	-6,0	0,8	3,6	1,7
dy_{1j}	0	-0,4	1,5	-0,2	-1,3	0,1	-1,8	1,4
dz_{1j}	0	-3,0	-5,0	2,0	-9,0	13,0	9,0	-14,0

Таблиця 2

Часовий ряд зміщення за результатами спостережень на станції STA2

Зміщення	1-1	2-1	3-2	4-3	5-4	6-5	7-6	8-7
dx_{2j}	0	5,1	0,8	1,4	-7,5	1,6	4,2	1,8
dy_{2j}	0	0,4	0,4	-0,1	-1,7	1,2	-2,0	1,4
dz	0	-4,0	-3,0	1,0	-14,0	17,0	10,0	-15,0

Таблиця 3

Часовий ряд зміщення за результатами спостережень на станції STA3

Зміщення	1-1	2-1	3-2	4-3	5-4	6-5	7-6	8-7
dx_{3j}	0	4,4	0,8	1,9	-6,8	-0,3	7,0	-0,4
dy_{3j}	0	-0,6	0,6	0,4	-1,2	3,0	-4,3	2,2
dz_{3j}	0	-4,0	-4,0	4,0	-11,0	18,0	3,0	-12,0

Графічне подання деформацій будівлі у денний період з 10.00 до 18.00 год. в горизонтній топоцентричній системі координат показано на рис. 3–5.

dx_{1j} , мм

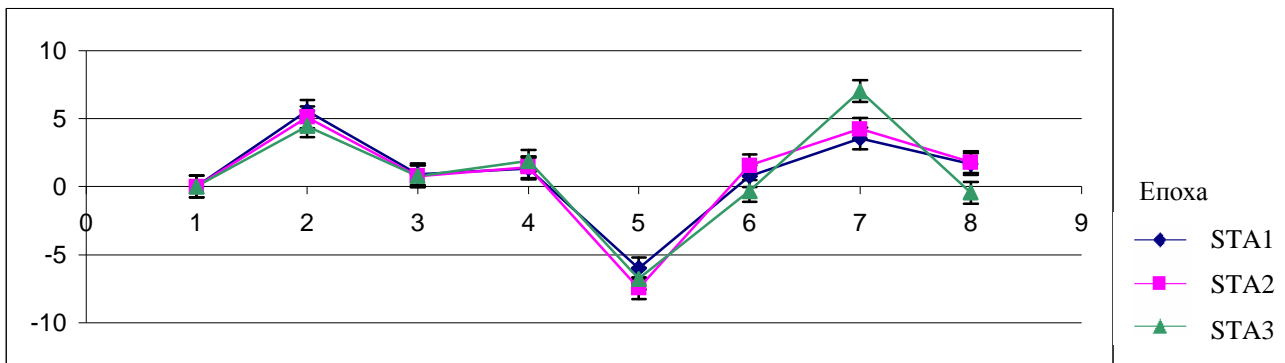


Рис. 3. Деформація споруди по осі X (північ-південь)

dy_{2j} , мм

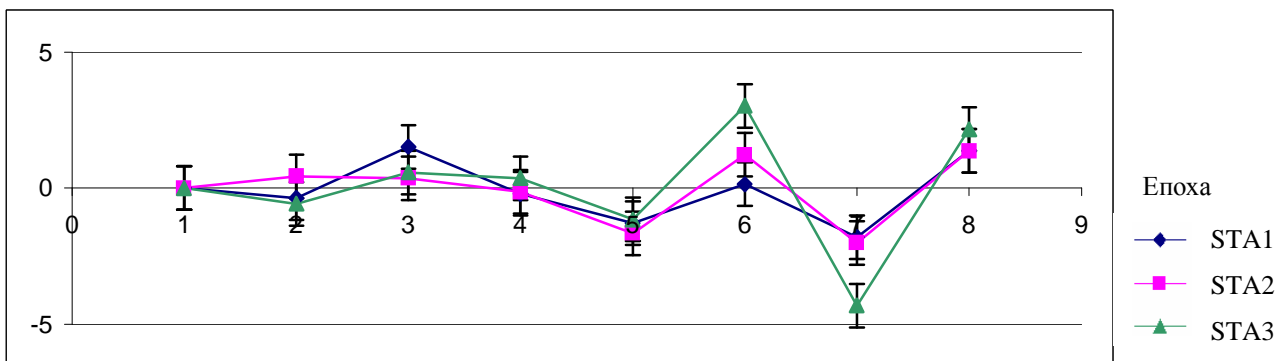


Рис. 4. Деформація споруди по осі Y (захід-схід)

dz_{3j} , мм

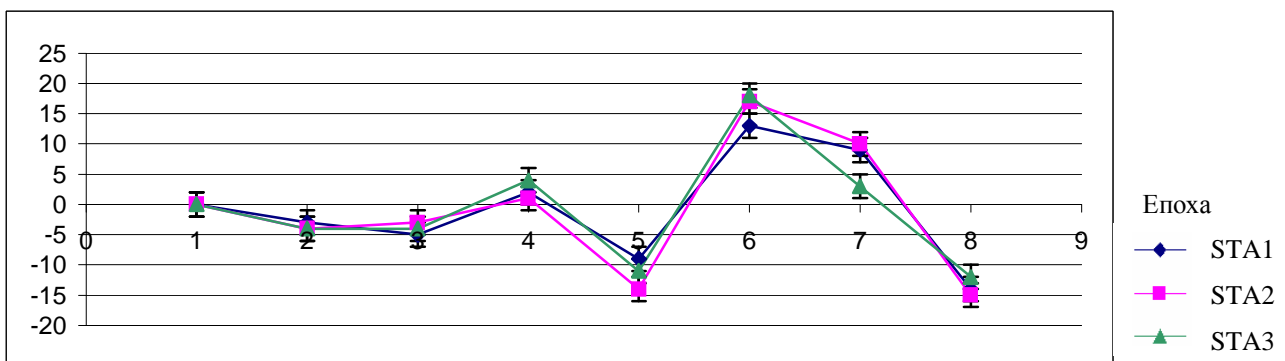


Рис. 5. Деформація споруди по осі Z (зеніт-надир)

Аналізуючи графічне подання деформацій, робимо висновок про стійкість споруди. Хоча і спостерігаються значні деформації, але вони мають постійний характер для всієї будівлі. Деформації фасадної сторони не перевищують ± 5 , тильної ± 3 , висотної ± 15 мм.

Після отримання відповідних позитивних результатів нами проводилось грубе розмічування точок кріплення антен за допомогою електронного тахеометра. Після монтажу опор були виконані контрольні спостереження (юстування). Далі проводили GPS-спостереження для отримання абсолютних координат та азимутів. Ці виміри використовувались для контролю параметрів, що визначалися. Для кінцевого виставлення у вертикальний створ проводили геометричне нівелювання, а для горизонтального – використовували оптичний метод.

Необхідно відмітити високу подібність результатів, отриманих із GPS-спостережень та традиційних. Середнє квадратичне відхилення для вертикального напрямку становить 3 мм, для горизонтального – 1 мм.

2. Встановлення діаграм направленості антен, розміщених в закритих приміщеннях, в заданому напрямку до базової лінії.

Розв'язування задачі проводилося за допомогою спеціально розробленого нестандартного обладнання (далі – прилад) та двох теодолітів.

Загальний вигляд розробленого приладу показано на рис. 6. Прилад складається з плити 1, основи 2, які з'єднуються між собою за допомогою спеціального болта-осі 3, двох маркерів 4, каліброваної втулки 5, кронштейна 6 та двох регулювальних гвинтів 7. На основі було зроблено чотири отвори. Центральний отвір призначений для кріплення основи за допомогою болта-осі. Два отвори, які виконані симетрично щодо центрального отвору і знаходяться на одній з ним лінії, призначені для встановлення маркерів. Четвертий отвір виконаний під заданим для встановлення діаграм направленості антен кутом щодо базової лінії і призначений для встановлення оптичного приладу (наприклад, теодоліту). За допомогою каліброваної втулки 5 один з маркерів встановлюється на більшу висоту. Кронштейн 6 та регулювальні гвинти 7, на яких зроблено мікрометричну різьбу, призначені для точного повороту та фіксації основи.

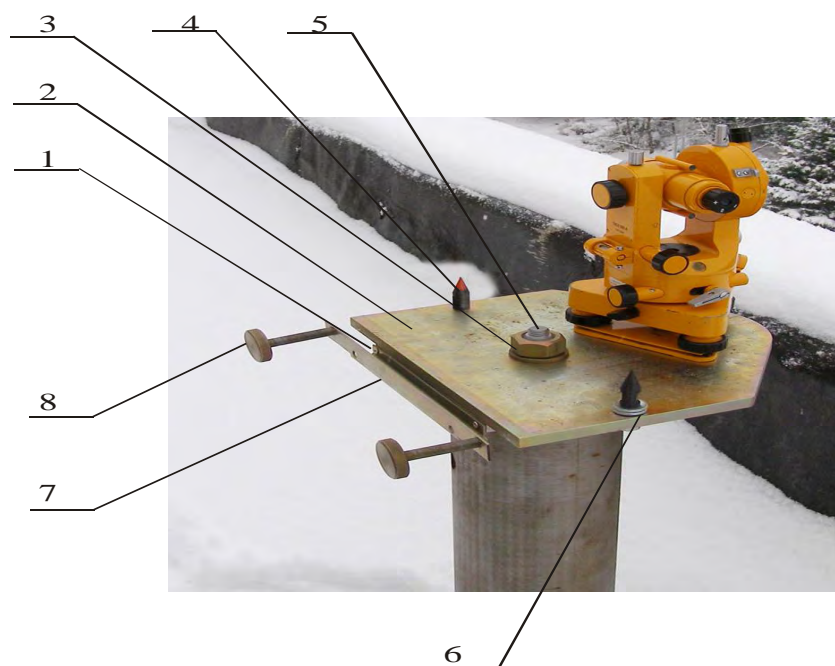


Рис. 6. Загальний вигляд приладу

Прилад встановлюється на щоглу через болт-вісь і закріплюється до неї за допомогою гвинтів. Визначення напрямку встановлення діаграм направленості антен проводилось так:

1. На центральну щоглу встановили розроблений прилад з закріпленим оптичним приладом (теодолітом 2Т30), як показано на рис. 6. Трубу для спостереження теодоліта виставили паралельно до базової лінії встановлення антен. Після цього вказану трубу перевели в надір.

1. На одну з крайніх щогл встановили другий теодоліт (3Т2КП), за допомогою якого виставили маркери приладу по базовій лінії встановлення антен. Для зручності спостереження другий маркер встановили на калібровану втулку.

2. Сумістили нанесену на антені лінію-мітку з лінією візування труби для спостереження на теодоліті 2Т30. Після цього антену зафіксували.

3. Не рухаючи теодоліт 2Т30, перенесли прилад на одну з крайніх щогл, а другий теодоліт – з крайньої щогли на центральну.

4. Аналогічно провели виставлення маркерів приладу і встановлення антени в заданому напрямку щодо базової лінії на решта щогл.

3. Оцінка точності запропонованого методу.

Позначимо через a – плече бази, через d – плече приладу (рис. 7). Через d позначено похибку виміру кута за допомогою теодоліта. З геометричних міркувань зрозуміло, що кут b є похибкою встановлення діаграм направленості антен, що виникає за рахунок застосування приладу.

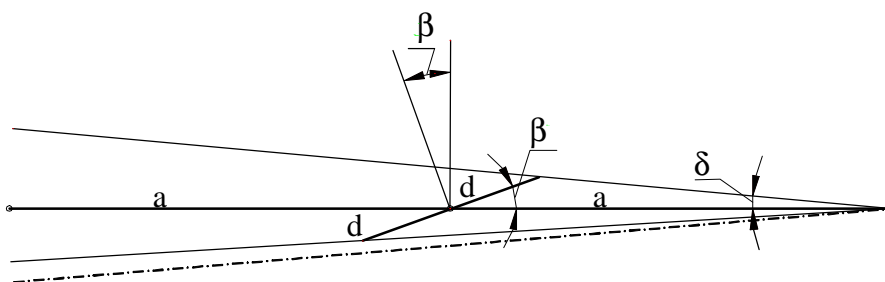


Рис. 7. До оцінки точності

На підставі рис. 7, згідно з теоремою синусів, можемо записати

$$d = \frac{a \sin d}{\sin(b + d)}, \quad (1)$$

але оскільки кути d та b малі, то

$$b = \frac{ad}{d} - d. \quad (2)$$

Зважаючи на те, що величини a, d, d – відомі, із співвідношення (2) можна легко визначити похибку встановлення діаграм направленості антен b .

Висновки:

1. Запропоновано методику визначення параметрів опорних точок системи для встановлення антен з точністю до одного міліметра.

2. Запропоновано метод, який дає змогу забезпечити встановлення діаграм направленості антен, розташованих в закритих приміщеннях, у заданому напрямку.

3. Отримано аналітичне співвідношення, яке дає можливість визначити точність встановлення діаграм направленості антен залежно від точності застосованого теодоліта та геометричних параметрів спеціально розробленого нестандартного обладнання.

1. Ана Паула С. Ларокка, Рикардо Эрнесто Шааль. Миллиметровая точность при измерении динамических характеристик сооружений // www.navgeocom.ru/gps/index.htm 2. Донец А.М. Решение задачи геодезического мониторинга высотных зданий и сооружений методом спутниковой геодезии с использованием измерительно-вычислительного комплекса Trimble // www.navgeocom.ru/gps/index.htm 3. Войтенко А.В., Куприянов В.С., Виноградов А.В. О точности передачи координат пунктов ГГС на вспомогательные пункты с помощью спутниковых приемников // *Геодезия и картография*. – 2005. – № 5. – С.13–15. 4. Савчук С.Г. Вища геодезія / Сфероїдна геодезія. – Львів: Ліга-Прес. – 2000. – 248 с. 5. *Геодезичний енциклопедичний словник / За ред. В. Літинського*. – Львів: Євровіт, 2001. – 668 с. 6. Антонюк В.П., Воронков С.О., Іванов В.І., Тревого І.С., Клепфер Є.І., Корольов В.М., Макаревич В.Д., Проць Б.І., Савчук С.Г. Патент на винахід 73903. Спосіб метрологічного контролю приймально-вимірювального наземного комплексу супутникових систем та пристрій для його здійснення. Опубл. 15.09.2005. Бюл. № 9. – 2005. – 8 с. 7. Клепфер Є., Іванов В., Антонюк В., Корольов В., Оліярник Б., Савчук С., Тревого І., Макаревич В. Можливості визначення відносного місцеположення з міліметровою точністю: Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Ліга-прес. – 2004. – С. 384–390. 8. Клепфер Є., Іванов В., Антонюк В., Корольов В., Воронков С., Савчук С., Тревого І., Макаревич В. Питання точності визначення відносного місцеположення на основі GPS-технологій: Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів, 2005. – С. 80–87.

УДК 53.088.22

Г.С. Сидоренко

Науково-навчальний центр “Метрологія”

ВЕРИФІКАЦІЯ ГАЗОДИНАМІЧНОЇ ТЕОРІЇ БАЛІСТИЧНОГО ГРАВІМЕТРА

Ó Сидоренко Г.С., 2006

Викладено план і наведено результати керованого фізичного експерименту щодо верифікації газодинамічної теорії балістичного гравіметра. Підтверджено можливість коригування результатів вимірювань прискорення сили ваги шляхом введення відповідних поправок, визначуваних експериментально.

There is presented the method of physical experiment, which allows to confirm the correctness of developed gas-dynamic theory of ballistic gravimeter by means of physical result.

1. Постановка проблеми і аналіз публікацій, які характеризують її стан. Сучасні завдання вищої геодезії вимагають розвитку мережі пунктів, координати яких визначені за допомогою глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС), і накопичення точкових гравіметричних даних [1]. Такі дані можуть бути отримані, зокрема, за сумісного використання портативного балістичного гравіметра (БГ) і приймача ГНСС у складі граві-геодезичного комплексу [2]. Під час абсолютних визначень прискорення сили ваги (ПСВ) [1, 2] за допомогою балістичного гравіметра [3, 4, 5] вимірюють просторові й часові параметри траєкторії руху давача БГ (оптичного відбивача інтерферометра Майкельсона), що падає під дією гравітаційного поля Землі. За таких вимірювань первинною інформацією є відомі лінійні відрізки траєкторії, які давач БГ проходить в режимі падіння за відомі відрізки часу [6]. Проте значення цих параметрів залежить не тільки від ПСВ, але й від багатьох інших фізичних чинників. Одним з них є реальне розрідження газового середовища (РГС) в барокамері давача БГ. Молекули повітря, що залишилися після відкачування газу з барокамери, зіштовхуються з давачем БГ і викликають його гальмування, спотворюючи дійсне