

528.48(043)
С17

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

САМОЙЛЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 528.48 (043)

С17

**ГЕОДЕЗИЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

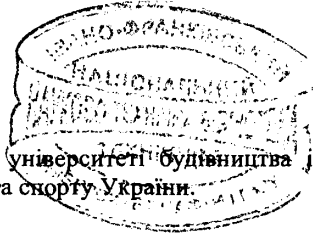
АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.



Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор **Карпінський Юрій Олександрович**,
Науково-дослідний інститут геодезії і картографії (НДІГК), директор.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, **Ямбаєв Харьєс Каюмович**,
Московский государственный университет геодезии и картографии
(МИИГАиК), професор кафедри Геодезії;

доктор технічних наук, професор, **Третяк Корнелій Романович**,
Національний університет «Львівська політехніка», директор
інституту Геодезії.

доктор технічних наук, доцент, **Бурак Костянтин Омелянович**,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри інженерної геодезії.

Захист відбудеться «23» 12 2011 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.09 у Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий «21» 11 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

О. П. Ісаєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з основних складових координатно-часового забезпечення потреб економіки, космічних досліджень, навігації, геодезії будь-якої розвиненої країни є мережа станцій космічної геодезії, на яких визначаються просторові координати у Міжнародній земній системі координат (МЗСК) з використанням різноманітних методів космічної геодезії. Порівняння просторових координат, визначених незалежними методами лазерної локації штучних супутників Землі та Місяця (ЛЛС та ЛЛМ), радіоінтерферометрії з наддовгими базами (РНДБ), доплерівських супутникових систем DORIS, глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), таких як GPS, ГЛОНАСС, Галілео, можливе тільки за наявності локальних геодезичних прив'язок між реперними точками таких динамічних об'єктів, як астрономо-геодезичні прилади (радіотелескопи, станції лазерної локації (СЛЛ) штучних супутників Землі (ШСЗ)) та пунктами ГНСС. Локальні геодезичні прив'язки одержуються традиційними (класичними) геодезичними методами шляхом побудови локальної просторової лінійно-кутової геодезичної мережі та визначення за вимірюваннями з її пунктів геометричних параметрів астрономо-геодезичних приладів. Збільшення точності визначення просторових координат у Міжнародній земній системі координат методами космічної геодезії робить задачу розроблення методів вимірювань та оброблення їх результатів, які б дозволили збільшити точність одержання локальних геодезичних прив'язок, вельми актуальною.

Сучасна тенденція розвитку галузей будівництва, машинобудування, приладобудування, літакобудування, суднобудування тощо полягає в ускладненні конструктивних рішень, використанні все більш складних поверхонь для вирішення проблем обтічності, міцності, покращення дизайну, поліпшення інших властивостей цих поверхонь (наприклад, збільшення корисної площі антен радіотелескопів) при зменшенні їх матеріалоемності та прискорення монтажу конструкцій. При цьому зростають вимоги до точності відтворення проектною геометричною формою поверхні, заданої математичними рівняннями, абсолютного та відносного її положення та орієнтування у просторі, а також виконавчого знімання поверхонь після зведення динамічного об'єкта. Тому це робить актуальним завдання розроблення нових методів вимірювань та оброблення їх результатів.

До динамічних об'єктів, крім астрономо-геодезичних приладів, належать також геодезичні прилади – теодоліти, тахеометри та сканери, інші кутовимірювальні прилади, наприклад, прилади для контролю кутових характеристик встановлення коліс автомобілів. Підвищення або забезпечення ними необхідної точності вимірювань можливе лише за умови наявності високого рівня їх метрологічного контролю. Розроблення методів визначення



an2241

/ МБА

та контролю метрологічних та інших технічних характеристик, у тому числі геометричних параметрів, перерахованих вище приладів є також вельми складним та актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Напрямок дисертаційного дослідження безпосередньо пов'язаний з реалізацією законів України «Про космічну діяльність» (№ 502/96-ВР), «Про метрологію та метрологічну діяльність» (№ 113/98-ВР), «Про стандартизацію» (№ 2408-III, 2001 р.); принципів, що визначені в «Програмі забезпечення функціонування і розвитку Державної мережі моніторингу ГНСС» (затверджена постановою Кабінету Міністрів (КМ) № 470, 2004 р.), «Концепції створення та експлуатації системи координатно-часового і навігаційного забезпечення України з застосуванням глобальних навігаційних супутникових систем», а також в «Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року» (схвалена розпорядженням КМ України № 238-р, 2011 р.). Крім того, принципів, що визначені в «Державній програмі розвитку еталонної бази на 2006-2010 роки» (затверджена постановою КМ України № 228, 2006 р.) та «Плані національної стандартизації на 2008 р.» (затвердженого наказом Держспоживстандарту України №226, 2008 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вирішення науково-прикладної проблеми визначення геометричних параметрів довільно розташованих та орієнтованих у просторі динамічних об'єктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати стан та основні тенденції розвитку інженерно-геодезичного забезпечення визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів;
- визначити принципи, структуру та зміст побудови моделей геометричних параметрів довільно розташованих та орієнтованих у просторі динамічних об'єктів;
- обґрунтувати структуру та схеми побудови інженерно-геодезичних мереж на основі вимог до визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів;
- на основі розроблених принципів розробити та узагальнити методи геодезичних вимірювань при визначенні геометричних параметрів динамічних об'єктів;
- на основі розроблених принципів розробити та узагальнити методи оброблення результатів геодезичних вимірювань при визначенні геометричних параметрів динамічних об'єктів;
- на основі розроблених принципів розробити та узагальнити методи оцінювання точності геометричних параметрів та визначення метрологічних характеристик динамічних об'єктів;

- розробити методи та моделі визначення геометричних параметрів та метрологічних характеристик кутомірних приладів як динамічних об'єктів;
- розробити концепцію універсального геодезичного приладу з функціями визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів;
- провести експериментальні дослідження розроблених методів та моделей для визначення геометричних параметрів складних динамічних об'єктів на прикладі радіотелескопів та станцій лазерної локації супутників.

Об'єкт досліджень. Геометричні параметри динамічних об'єктів.

Предмет досліджень. Методи геодезичних вимірювань та оброблення їх результатів при визначенні геометричних параметрів динамічних об'єктів.

Методи дослідження. Для досліджень використано сучасні математичні методи. Оцінювання геометричних параметрів геодезичних мереж та динамічних об'єктів, а також оцінювання точності вимірювань та самих визначених геометричних параметрів здійснювалось за методом найменших квадратів (МНК).

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено теоретичні основи створення локальних інженерно-геодезичних мереж (ЛІГМ), що забезпечують належну точність визначення просторового положення та орієнтування динамічних об'єктів у глобальних та локальних системах координат, а також сполучення результатів вимірювань, виконаних у різних системах координат.

2. Вперше розроблено принципи визначення геометричних параметрів довільно розташованих та орієнтованих у просторі динамічних об'єктів як сукупності геодезичних побудов: координат точок геодезичної мережі, координат точок на динамічному об'єкті та його геометричних параметрів.

3. На основі запропонованих принципів вперше розроблено методи геодезичних вимірювань та оброблення їх результатів, що об'єднують для сумісного вирівнювання геодезичні вимірювання та геометричні параметри поверхонь та об'єктів, що обертаються. При сумісному вирівнюванні висока точність виготовлення поверхні чи треку точки підвищує точність визначення координат точок геодезичної мережі та геометричних параметрів просторового положення та орієнтування поверхні чи вісі обертання.

4. Вперше запропоновано моделі геодезичних та інших кутомірних приладів, для яких при вирівнюванні результатів спостережень ними одночасно визначаються їх геометричні параметри, усереднені результати вимірювань та їх метрологічні характеристики.

5. Вперше запропоновано моделі астрономо-геодезичних приладів – радіотелескопів та станцій лазерної локації супутників – як динамічних об'єктів, для яких сумісно вирівнюються: результати вимірювань у ЛІГМ; результати вимірювань з точок ЛІГМ на динамічний об'єкт; відліки за його кутомірними датчиками, а також визначаються його геометричні параметри (просторове положення та орієнтування вісей) та метрологічні характеристики.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати досліджень впроваджені:

при створенні локальних інженерно-геодезичних мереж на станції колокації ГАО НАН України у м. Києві, на станції колокації Кримського геодинамічного полігону (КГП) «Сімеїз-Кацівелі», на майданчику Центру далекого космічного зв'язку (ЦДКЗ) поблизу м. Євпаторія;

при визначенні геометричних параметрів та метрологічних характеристик СЛЛ ГАО, двох СЛЛ та радіотелескопа РТ-22 на станції колокації КГП «Сімеїз-Кацівелі» та радіотелескопа РТ-70 ЦДКЗ, а також їх локальних геодезичних прив'язок до GPS-маркерів для порівняння координат, одержаних методами GPS, РНДБ та ЛЛС у міжнародних вимірювальних кампаніях для підтримання Міжнародної земної системи координат;

при державній метрологічній атестації та повірці польового компаратора ПКЛК-98 ДП «Укрметртрестстандарт», призначеного для державної метрологічної атестації та повірки віддалемірів, віддалемірної частини електронних тахеометрів та GPS-приймачів;

у проектах п'яти національних стандартів з повірки вертикальних та горизонтальних циліндричних, а також сферичних резервуарів;

в автоматизованій системі (АС) «Vessel Graduation System» («VGS»), призначеній для визначення геометричних параметрів сферичних, вертикальних та горизонтальних циліндричних резервуарів, їх конічних та еліптичних днищ при повірці названих резервуарів геодезичними методами;

в АС «Radmi» для обчислення геометричних параметрів параболічних антен радіотелескопів та оцінювання їх точності;

в АС «Геодезист» для попереднього оброблення результатів геодезичних вимірювань у локальних інженерно-геодезичних мережах;

в АС «АУПНТ-оброблення» для оцінювання геометричних параметрів та метрологічних характеристик нівелірів, теодолітів та тахеометрів при їх повірці.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, викладені в дисертації, отримані автором самостійно, що підтверджується переліком публікацій. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: [1, 8, 9, 11, 24-28, 35, 37] – методика визначення геометричних параметрів та локальних геодезичних прив'язок СЛЛ та радіотелескопів, а також їх значення; [3] – методика орієнтування двох автоколімаційних теодолітів; [5, 10, 36] – математична модель деформацій споруди; [6] – методика опосередкованого вимірювання кутів теодолітом; [15] – довжини ліній взірцевого базису (польового компаратору); [16, 31-34, 38, 39] – методика визначення геометричних параметрів резервуарів різної форми; [18, 30] – методика повірки теодолітів та кутомірної частини тахеометрів на автоколімаційній установці для повірки нівелірів та теодолітів (АУПНТ).

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних наукових конференціях і семінарах, а саме: «Проблемы астрометрии и космической геодинамики» (м. Київ, 1990 р.), „Zastosowanie technik satelitarnych w geodezji i geodynamice” (м. Грибов, Польща, 1995 р.), «Geodezja inzynieryjna i kataster w gospodarce państwowej» (м. Ржешов (Польща) та м. Львів, 1998 р.), «Вимірювання та облік нафти та нафтопродуктів», (м. Київ, 2005 р.), «Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений» (м. Санкт-Петербург, 2006 р.), «Метрологія та вимірювальна техніка» (м. Харків, 2006 р.), «Метрология и метрологическое обеспечение» (м. Мінськ, 2007 р.), «Геофорум - 2009» (м. Львів, 2009 р.), «Calibration of storage tanks by optical scanning» (м. Гамбург, Німеччина, 2009 р.), «Новые методы измерений и обработки их результатов при поверке (калибровке) резервуаров» (м. Київ, 2010 р.).

Публікації. Основні положення та результати одержані в дисертації опубліковано в 39 наукових працях. Із них 22 у фахових виданнях за переліком ВАК України, з яких 12 одноосібних, одному препринті, 10 наукових публікаціях у інших виданнях та збірниках матеріалів наукових конференцій, також в 6 документах з метрології на правах рукопису.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів і висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 388 сторінок, в тому числі 281 сторінка основного тексту, які включають 19 рисунків та 31 таблицю, список використаних джерел на 209 найменувань – 22 сторінки, 4 додатки – 85 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання і методи досліджень, наведено основні наукові результати та їх практичне значення.

У першому розділі «Аналіз сучасного стану та основних тенденцій розвитку теорії та практики визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів» введено поняття «динамічні об'єкти», що обумовлено необхідністю узагальнення досвіду з визначення їх геометричних параметрів геодезичними методами на загальній методологічній основі. Сформульовано основні найбільш загальні ознаки та властивості динамічних об'єктів, з урахуванням яких проаналізовано літературні джерела.

За результатами аналізу джерел було обґрунтовано введення локальних інженерно-геодезичних мереж (ЛІГМ), для яких відсутні методи нормування точності визначуванних геометричних параметрів, геодезичних вимірювань, вимірювань метеорологічних параметрів атмосфери тощо.

Досі недостатньо розроблені методи виправлення результатів вимірювань довжини за вплив метеорологічних параметрів атмосфери, якщо вони вимірювалися не на всіх точках ЛПГМ, а також методи приведення цих результатів та зенітних відстаней до центрів геодезичних пунктів. Крім того, існуючі методи редукування результатів вимірювань на поверхні відносності та до локальних систем координат непридатні для підготовки даних для сумісного вирівнювання результатів класичних та GPS-вимірювань. Не розроблено методи створення ЛПГМ, що дозволяють виключити з результатів вирівнювань похибки центрування та вимірювання висоти геодезичного приладу без застосування примусового центрування.

Перспективним напрямком досліджень визнано визначення геометричних параметрів поверхонь сучасними геодезичними приладами у режимі реального часу. Тому не можна вважати задовільним відсутність загального методу вирішення задачі визначення геометричних параметрів поверхонь за МНК (просторового положення, орієнтування та геометричних параметрів форми) за результатами геодезичних вимірювань. Крім того, зовсім не розроблено методи вимірювань за дотичною до поверхонь та до точок, що знаходяться на відомій відстані за нормаллю від поверхні. Не розглядалася також ідея вирівнювання геодезичних вимірювань на точки поверхні сумісно з вирішенням задачі апроксимації поверхні за координатами точок та взаємний вплив точності виготовлення поверхні й точності результатів геодезичних вимірювань.

Проаналізовано джерела щодо визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів, що обертаються, та встановлено, що досі остаточно не розроблені методи визначення їх геометричних параметрів та умови застосування цих методів. Не розглядалися питання сумісного вирішення задачі вирівнювання та оцінювання точності за МНК результатів вимірювань в геодезичній мережі та визначення просторового положення вісі обертання апроксимацією колом треку (траєкторії) руху точки при обертанні. Наразі відсутні концептуальні напрацювання щодо створення роботизованого астрогахеометра для визначення в автоматичному режимі у реальному часі астрономічної широти, довготи та азимута, параметрів поверхонь тощо.

Відзначено, що публікації з питань визначення геодезичними методами геометричних параметрів таких складних динамічних об'єктів, як радіотелескопи та станції лазерної локації супутників, в Україні взагалі відсутні, тоді як розробці цієї важливої теми у світі приділяється багато уваги.

Щодо геометричних параметрів теодолітів та кутомірної частини тахеометрів, то виявлено, що їх геометричні параметри та метрологічні характеристики визначалися кожний окремо і за своїм переліком операцій. Не існує комплексної методики повірки, коли за результатами вимірювань за довільними напрямками оцінюються не тільки метрологічні характеристики,

а й основні геометричні параметри і їх точність за МНК. Не практикується обчислення геометричних параметрів геодезичних приладів з додатковими умовами та умовами еталонних горизонтальних і вертикальних кутів за МНК.

У другому розділі «Теорія і практика побудови локальних інженерно-геодезичних мереж при визначенні геометричних параметрів динамічних об'єктів» обґрунтовано необхідність розроблення методики побудови ЛІГМ на станціях колокації, геодинамічних полігонах, польових компараторах, унікальних спорудах та при визначенні геометричних параметрів наукового і технологічного обладнання. Тобто, для тих випадків, коли необхідна точність геодезичних побудов значно перевищує ту, якої можна досягти методами, які застосовуються при побудові Державної геодезичної мережі, мереж згущення та інженерно-геодезичних мереж. ЛІГМ вирізняє також максимально високі вимоги до поєднання класичних методів геодезичних лінійно-кутових вимірювань, геометричного нівелювання, результатів астрономічних вимірювань з координатами, визначеними зі спостережень у глобальних навігаційних супутникових системах (ГНСС).

Для забезпечення необхідної точності визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів здійснено нормування точності їх геометричних параметрів, а також результатів геодезичних вимірювань, метеорологічних параметрів атмосфери (МПА) та коефіцієнта рефракції.

Нормовані СКП вимірювань довжини, горизонтальних напрямків та вертикальних кутів, астрономічних вимірювань та вимірювань у ГНСС обчислюються за формулами

$$\sigma_L^{\text{норм.}} = (a_m + b_m \cdot L \cdot 10^{-6}) \text{ мм}; \quad \sigma_\alpha^{\text{норм.}} = \left(c_m + \frac{a_m}{L} \rho'' \right)'' \quad (1)$$

де L – вимірювана довжина або відстань від приладу до візирної цілі; a_m , b_m , c_m – запропоновані коефіцієнти чотирьох класів точності результатів вимірювань, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Нормування точності геодезичних вимірювань довжини та кута

Клас точності вимірювань довжини та кута	СКП центрування приладу, $\sigma_{ц.}^{\text{норм.}}$, мм	СКП висоти приладу, $\sigma_{iv}^{\text{норм.}}$, мм	СКП коефіцієнта рефракції $\sigma_k^{\text{норм.}}$	Коефіцієнти для обчислень СКП		
				довжини, мм		кута, ...''
				a_m	b_m	c_m
I	0,1	0,2	0,02	0,2	0,2	0,5
II	0,25	0,5	0,05	0,5	0,5	1,0
III	0,5	1,0	0,1	1,0	1,0	2,0
IV	1,0	2,0	0,2	2,0	2,0	5,0

За довжинами S_{C12i} та S_{C21i} , редукованими на поверхню відносності, обчислюються довжини, приведені до центрів пунктів ЛІГМ, за формулою

$$D_{C12i} = \sqrt{S_{C12i}^2 \left(1 + \frac{H_1}{R + H_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_2}{R + H_2}\right) + (H_1 - H_2)^2}. \quad (2)$$

Після відсіву даних вимірювань, які мають грубі помилки, обчислюється усереднена довжина сторони ЛІГМ D_{12} та оцінюється її точність.

Для одержання зенітних відстаней, приведених до центрів геодезичних пунктів ЛІГМ, обчислюються допоміжні відстані за формулами

$$D_{V12i} = \sqrt{S_{C12i}^2 \left(1 + \frac{H_1}{R + H_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_2 + v_{2i}}{R + H_2 + v_{2i}}\right) + (H_1 - H_2 - v_{2i})^2};$$

$$D_{V21i} = \sqrt{S_{C21i}^2 \left(1 + \frac{H_1 + v_{1i}}{R + H_1 + v_{1i}}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_2}{R + H_2}\right) + (H_1 + v_{1i} - H_2)^2}. \quad (3)$$

Кут з вершиною у центрі сфери між радіусами-векторами на точки 1 та 2 ЛІГМ (рис. 1) обчислюється за формулою

$$A_{12} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{S_{12}^A}{R}, \quad (4)$$

де S_{12}^A – редукована на поверхню відносності усереднена довжина D_{12} сторони мережі. Приведені до центрів пунктів ЛІГМ зенітні відстані z'_{12i} та z'_{21i} знаходяться за формулами

$$\sin \delta_{V12i} = \frac{v_{2i}}{D_{V12i}} \sin(z_{12i} - A_{12}); \quad z'_{12i} = z_{12i} + \delta_{V12i}; \quad (5)$$

$$\sin \delta_{V21i} = \frac{v_{1i}}{D_{V21i}} \sin(z_{21i} - A_{12}); \quad z'_{21i} = z_{21i} + \delta_{V21i}; \quad (6)$$

$$\sin \delta_{J12i} = \frac{i_{1i}}{D_{C12i}} \sin z'_{12i}; \quad z''_{12i} = z'_{12i} - \delta_{J12i}; \quad (7)$$

$$\sin \delta_{J21i} = \frac{i_{2i}}{D_{C21i}} \sin z'_{21i}; \quad z''_{21i} = z'_{21i} - \delta_{J21i}. \quad (8)$$

Після відсіву результатів вимірювань, які мали грубі помилки, обчислюються усереднені зенітні відстані \bar{z}_{12} та \bar{z}_{21} й оцінюється їх точність, тобто обчислюється СКП $\sigma_{\bar{z}_{12}}$ та $\sigma_{\bar{z}_{21}}$.

Повний кут вертикальної рефракції обчислюється як нев'язка в трикутнику «центр сфери – точка 1 – точка 2»:

$$W_{12} = A_{12} + 180^\circ - (\bar{z}_{12} + \bar{z}_{21}). \quad (9)$$

Зенітні відстані приведені до центрів геодезичних пунктів локальної інженерно-геодезичної мережі виправляються за вертикальну рефракцію:

$$\bar{z}^0_{12} = \bar{z}_{12} - \frac{W_{12}}{2}; \quad \bar{z}^0_{21} = \bar{z}_{21} + \frac{W_{12}}{2}. \quad (10)$$

Середній коефіцієнт вертикальної рефракції для цієї сторони ЛІГМ за результатами усіх виконаних вимірювань та його СКП обчислюються з виразів

$$k_{12} = \frac{R \cdot W_{12}''}{S_{12}^A \cdot \rho''} = \frac{W_{12}''}{A_{12}''}; \quad \sigma_{W_{12}} = \sqrt{\sigma_{\bar{z}_{12}}^2 + \sigma_{\bar{z}_{21}}^2}; \quad \sigma_{k_{12}} = \frac{R \cdot \sigma_{W_{12}}''}{S_{12}^A \cdot \rho''} = \frac{\sigma_{W_{12}}''}{A_{12}''}, \quad (11)$$

де $\sigma_{\bar{z}_{12}}$, $\sigma_{\bar{z}_{21}}$ – СКП зенітних відстаней.

Доведено, що обчислювати коефіцієнт вертикальної рефракції та оцінювати його точність можна без обчислення перевищень.

Упорядковано локальні системи координат. Виділено локальну астрономічну (ЛАСК), локальну геодезичну (ЛГСК), локальну топоцентричну астрономічну та геодезичну (ЛТСКА та ЛТСКГ) системи координат для побудови ЛІГМ. Вони дозволили вирішити завдання визначення геометричних параметрів складних динамічних об'єктів та локальних прив'язок реперних точок астрономо-геодезичних приладів до GPS-маркерів.

Розроблено методи редукування результатів геодезичних вимірювань на поверхні відносності та до локальних систем координат, необхідні для коректного порівняння та сумісного оброблення результатів класичних геодезичних вимірювань та GPS-вимірювань.

Розроблено методи визначення локальних геодезичних прив'язок реперних точок астрономо-геодезичних приладів космічної геодезії та геодинаміки до GPS-маркерів та їх геоцентричних координат у Міжнародній земній системі відліку ITRF.

У третьому розділі «Загальна теорія визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів» сформульовано основоположні поняття і загальні принципи теорії. На їх основі розроблено нові методи вимірювань та оброблення їх результатів.

Динамічні об'єкти – це створені людиною чи природні об'єкти, що змінюють у просторі своє положення, орієнтування та (або) форму, розміри та (або) взаємне положення своїх частин. Проблема змін, що відбуваються з об'єктами, є філософською, тому що немає нічого сталого серед фізичних об'єктів. Вони так чи інакше змінюються, а це означає, що всі об'єкти в тій чи іншій мірі динамічні.

Геометричні параметри – це числові значення констант (наприклад, координат точок, відстаней або кутів) чи коефіцієнтів математичних залежностей у вигляді будь-яких рівнянь (функцій), або систем рівнянь, які описують просторове положення та орієнтування, геометричну форму об'єкта і його поверхонь, а також, за потреби, швидкість та прискорення їх руху або змін в залежності від різноманітних факторів (аргументів функції).

Найефективнішим методом визначення геометричних параметрів є геодезичний, а математичним апаратом для оцінювання геометричних параметрів та характеристик їх похибки, а також метрологічних характеристик (за наявності) є метод найменших квадратів.

Теорія визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів, довільно розташованих та орієнтованих у просторі, базується на загальних принципах які коротко можна сформулювати наступним чином:

1. Об'єктом геодезичних побудов є не тільки координати точок геодезичної мережі та точок, на які виконуються засічки на об'єкті, а й геометричні параметри динамічного об'єкта в цілому.

2. Методи вимірювань та оброблення результатів цих вимірювань базуються на взаємодії динамічного об'єкта як об'єкта вимірювань і засобу вимірювальної техніки (ЗВТ), який також можна розглядати як динамічний об'єкт.

3. Якщо об'єкти, які взаємодіють, одночасно є ЗВТ або другий має функції ЗВТ, то його метрологічні характеристики визначаються одночасно з геометричними параметрами.

4. Взаємодія ЗВТ та динамічного об'єкта може проходити в статичі (об'єкт зупиняється) та динаміці з фіксацією часу вимірювань або без неї.

5. Геометричними параметрами простого (складного) динамічного об'єкта є просторове положення та орієнтування прямої (прямих), так чи інакше зв'язаних з ним (вісей обертання, вісей поверхонь, перпендикулярів до площин тощо). Геометричними параметрами складного об'єкта є також відносне просторове положення та орієнтування між його вісями.

6. Геометричні параметри та метрологічні характеристики астрономо-геодезичних приладів визначаються за результатами вимірювань геодезичними приладами та ними самими за відповідною програмою і схемою. Рівняння зв'язку при сумісному вирівнюванні включають результати вимірювань у ЛІГМ, з точок ЛІГМ на динамічний об'єкт, відліки за кутомірними датчиками динамічного об'єкта і його геометричні параметри.

7. Геометричні параметри та метрологічні характеристики кутомірних ЗВТ геодезичного призначення (за аналогією і інших ЗВТ) визначаються за результатами вимірювань ними самими або при взаємодії з іншими сталонними ЗВТ за відповідною програмою та схемою. Рівняння зв'язку при сумісному вирівнюванні включають результати вимірювань досліджуваними ЗВТ, їх геометричні параметри, результати вимірювань еталонними ЗВТ.

8. Основною метрологічною характеристикою ЗВТ є середня квадратична похибка до якої входять випадкова та систематичні складові, які є неврахованим або методично не виключеним впливом одного чи декількох наявних геометричних параметрів.

9. Вплив на СКП геометричних параметрів, як систематичних складових похибки, визначається, як відношення СКП, яка включає систематичну та випадкову складову, до СКП, яка включає тільки випадкову складову.

На основі цих загальних принципів розроблено нові методи визначення просторового положення та орієнтування динамічних об'єктів, які мають неозначені фізично вісі, наприклад, вісі поверхонь чи вісі обертання.

Розроблено метод визначення просторового положення та орієнтування вісі, форми та розміру опуклої поверхні динамічного об'єкта вимірюванням горизонтальних та вертикальних кутів за дотичною до поверхні названий методом тангенціальної засічки.

Сумісне оброблення результатів вимірювань методом тангенціальної засічки з двох чи більше точок ЛІГМ дозволяє визначити геометричні параметри опуклої поверхні без застосування інших методів вимірювань. Цей метод особливо ефективний, якщо поверхня непридатна для вимірювання до неї відстані у безвідбивному режимі.

Розроблено метод визначення просторового положення та орієнтування вісі, форми та розміру поверхні динамічного об'єкта за результатами вимірювань горизонтальних і вертикальних кутів та віддалей на точки у просторі, від яких виміряні (відомі) відстані за нормаллю до поверхні названий методом нормального нівелювання.

Тангенціальна, пряма кутова та полярна просторові засічки є частковими випадками нормального нівелювання, коли виміряна відстань за нормаллю до поверхні дорівнює нулю (тобто вона не вимірювалась). Характеристика її похибки може не дорівнювати нулю, тобто вона є похибкою виготовлення поверхні. Сумісне оброблення результатів вимірювань нормального нівелювання поверхні та геодезичних побудов у геодезичній мережі дозволяє проявити позитивний вплив точності виготовлення поверхні на геодезичні побудови.

Розроблено метод визначення просторового орієнтування нормалі до площини за координатами точок, які лежать на цій площині названий координатним площинним методом.

Якщо площина утворюється треком руху точки навколо вісі обертання, то просторове орієнтування цієї площини і є просторовим орієнтуванням вісі обертання.

Розроблено метод визначення просторового орієнтування вісі обертання динамічного об'єкта за результатами вимірювань горизонтальних

та вертикальних кутів за нормаллю до поверхні плоского дзеркала при різних його положеннях названий автоколімаційним просторовим методом.

Повне виключення лінійних вимірювань з методики вимірювань та оброблення дозволяє одержати максимально можливу високу точність визначення геометричних параметрів орієнтування з вимірювань на будь-яких коротких відстанях від автоколімаційного теодоліта до динамічного об'єкта.

Розроблено метод визначення просторового орієнтування недоступного для прямого візування напрямку за вимірюваннями горизонтальних та вертикальних кутів візуванням через пентапризму насадку на об'єктив теодоліта (тахеометра) названий методом опосередкованих просторових вимірювань.

За результатами вимірювань декількох горизонтальних напрямків та зенітних відстаней через пентапризму опосередковано визначається горизонтальний напрямок та зенітна відстань на будь-яку недоступну для прямого візування теодолітом чи тахеометром точку.

Розроблено метод визначення просторового положення динамічного об'єкта за координатами точок треку у вигляді кола, що утворюється при обертанні довкола вісі названий координатним трековим методом.

Координати центра кола, одержані при сумісному обробленні окремо чи в геодезичній мережі, є просторовим положенням вісі обертання.

Реалізацією загальних принципів визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів для відповідних методів вимірювань є подані далі рівняння зв'язку між вимірюваннями чи їх функціями та геометричними параметрами.

Запропоновано рівняння зв'язку для квазіеліптичних поверхонь другого порядку в явному вигляді між визначеними координатами точок на поверхні та її всіма дев'ятьма визначуваними геометричними параметрами, а саме:

- параметрами просторового положення – координатами x_o , y_o , z_o центра поверхні, її вершини або іншої характерної точки, до якої прив'язується внутрішня система координат динамічного об'єкта, вісі обертання або поверхні;

- параметрами просторового орієнтування – тангенсами малих кутів η_x , η_y в площинах xz та yz між віссю координат z та віссю поверхні чи віссю обертання, а також азимутом (дирекційним кутом) великої піввісі еліптичного перерізу поверхні горизонтальною площиною a_F ;

- параметрами форми та розміру – коефіцієнтами a , b , c рівнянь, які дозволяють віднести поверхню (у тому числі одержану при обертанні) до тої чи іншої групи поверхонь, а також задати її геометричні розміри.

На прикладі дво- та однопорожнинного гіперboloїда або конуса у загальному випадку рівняння квазіеліптичної поверхні має вигляд:

$$\frac{\left((y_i - y_o)\cos a_F + (x_i - x_o)\sin a_F - \eta_x \cdot (z_i - z_o)\right)^2}{a^2} + \frac{\left(-(y_i - y_o)\sin a_F + (x_i - x_o)\cos a_F - \eta_y \cdot (z_i - z_o)\right)^2}{b^2} - \frac{(z_i - z_o)^2}{c^2} = (1, -1, 0) \quad (12)$$

Для розроблених квазіеліптичних поверхонь обертання другого порядку, вісь яких спрямована приблизно паралельно вісі z системи координат, горизонтальний переріз має форму кола, а перпендикулярний до вісі поверхні – форму еліпса. Вісь поверхні також може бути направлена приблизно паралельно вісям координат x та y .

Рівняння площини використовується в методі опосередкованих просторових вимірювань, автоколімаційному просторовому методі та координатному площинному методі визначення просторового орієнтування вісі динамічного об'єкта у просторовій прямокутній системі координат і має вигляд:

$$x_{ij} \cos a_F \sin z_F + y_{ij} \sin a_F \sin z_F + z_{ij} \cos z_F - p_j = 0. \quad (13)$$

Або якщо в автоколімаційному просторовому методі у рівнянні (13) позбавитись лінійних величин:

$$\sin \dot{z}_i \cdot \sin z_F \cdot \cos(\dot{a}_i - a_F) + \cos \dot{z}_i \cdot \cos z_F - \cos \gamma_F = 0. \quad (14)$$

Вимірюваними величинами у рівнянні (14) є \dot{a}_i та \dot{z}_i – це виміряні геодезичним приладом горизонтальний напрямок (дирекційний кут) і зенітна відстань. Визначуваними геометричними параметрами просторового орієнтування вісі динамічного об'єкта відносно прямовисної лінії у рівняннях (13) та (14) є a_F та z_F – визначувані за МНК горизонтальний напрямок (дирекційний кут) проєкції нормалі до площини або вісі обертання на горизонтальну площину та зенітна відстань нормалі або вісі обертання. У рівнянні (13) p_j – найкоротша відстань від початку координат до площини з номером j . У рівнянні (14) γ_F – деякий постійний кут, який трактується по різному в кожному конкретному випадку використання формули для різних методів вимірювань.

Для сумісного застосування координатного площинного та координатного трекового методу визначення геометричних параметрів динамічного об'єкта, коли треки точок мають єдиний центр, складаються рівняння зв'язку як рівняння площини (13), перпендикулярної до вісі обертання та рівняння сфери з центром у центрі треку в просторовій прямокутній системі координат:

$$\sqrt{(x_{ij} - x_o)^2 + (y_{ij} - y_o)^2 + (z_{ij} - z_o)^2} - R_j = 0, \quad (15)$$

де x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} – визначені з вимірювань координати точок, що належать до площини та сфери одночасно. Визначаються геометричними параметрами просторового положення вісі обертання динамічного об'єкта є x_o , y_o , z_o – координати центра сфери; R_j – радіус сфери з номером j .

Рівняння (15) може бути записане для випадку, коли треки точок рознесені вздовж вісі обертання:

$$\sqrt{(x_{ij} - x_{oj})^2 + (y_{ij} - y_{oj})^2 + (z_{ij} - z_{oj})^2} - R_j = 0, \quad (16)$$

де x_{oj} , y_{oj} , z_{oj} – координати центра сфери з номером j .

При сумісному застосуванні координатного площинного та координатного треків методів визначення геометричних параметрів динамічного об'єкта, коли вісь обертання об'єкта близька до вертикалі чи горизонталі, доцільніше для обчислень обрати інший підхід, коли замість рівняння сфер (16) для апроксимації треків використовуються рівняння вкладених циліндрів. При цьому рівнянь паралельних площин буде стільки, скільки було треків. Для даного випадку рівняння площини, перпендикулярної до вісі обертання, та рівняння циліндра, вісь якого збігається з віссю обертання у центрі треку, мають вигляд:

$$x_{ij}\eta_x + y_{ij}\eta_y + z_{ij} - p_j = 0; \quad (17)$$

$$\sqrt{(x_{ij} - x_o - \eta_x(z_{ij} - z_o))^2 + (y_{ij} - y_o - \eta_y(z_{ij} - z_o))^2} - R_j = 0, \quad (18)$$

де x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} – визначені при вимірюваннях координати точок, що належать до площини та циліндра одночасно. Визначаються геометричними параметрами просторового положення та орієнтування вісі обертання динамічного об'єкта є x_o , y_o – координати точки, яка умовно прийнята за центр циліндра на висоті z_o , де z_o задається, а не визначається; R_j – радіус циліндра; η_x , η_y – тангенси проєкцій кута нахилу вісі обертання на координатні площини xz та yz .

Згідно з принципами загальної теорії, наведені вище рівняння можуть бути включені до вирівнювання просторової геодезичної мережі.

Для знаходження просторового положення вісі обертання координатним треківим методом можна скористатися стандартним програмним забезпеченням для вирівнювання геодезичних мереж, визначивши при цьому координати центра кола з вирівнювання лінійної засічки. Такий метод вирівнювання повністю еквівалентний апроксимації

координат точок треку колом. Рівнянням зв'язку між x_{ij} , y_{ij} – координатами i -ї точки j -го треку та визначуваними геометричними параметрами є:

$$R_j = \sqrt{(x_{ij} - x_C)^2 + (y_{ij} - y_C)^2}, \quad (19)$$

де R_j , x_C , y_C – шукані геометричні параметри – радіус j -го треку та координати центра кола треку.

Аналогічний вигляд має вихідне рівняння вимірної сторони геодезичної мережі, де замість радіуса стоїть вимірjana довжина. Рівняння поправок радіуса буде повністю ідентичне рівнянню поправок для вимірної довжини сторони горизонтальної геодезичної мережі:

$$v_{Rij} = \cos a_{Cij} \cdot \delta x_{ij} - \cos a_{Cij} \cdot \delta x_C + \sin a_{Cij} \cdot \delta y_{ij} - \sin a_{Cij} \cdot \delta y_C + l_{Rij}; \quad (20)$$

$$l_{Rij} = \sqrt{(x_{ij}^0 - x_C^0)^2 + (y_{ij}^0 - y_C^0)^2} - R_j^0, \quad (21)$$

де v_{Rij} – поправка до наближеного значення радіуса; a_{Cij} – дирекційний кут лінії від центра кола до точки треку з номером i ; δx_{ij} , δy_{ij} – поправки до наближених координат точок треку; δx_C , δy_C – поправки до наближених координат центра кола; l_{Rij} – вільний член рівняння поправок; R_j^0 – наближене значення радіуса кола; x_{ij}^0 , y_{ij}^0 – наближені координати точок треку; x_C^0 , y_C^0 – наближені координати центра кола.

Після вирівнювання у першому наближенні обчислюється виправлене значення радіуса за формулами

$$\delta R_j = \frac{\sum_{i=1}^n v_{Rij}}{n}; \quad R'_j = R_j^0 + \delta R_j. \quad (22)$$

Наближення виконуються доти, доки не будуть витримуватись умови:

$$\sum_{i=1}^n v_{Rij}^2 = \min; \quad \sum_{i=1}^n v_{Rij} \leq \varepsilon_{\text{дон}}, \quad (23)$$

де $\varepsilon_{\text{дон}}$ – заданий допуск на відхилення суми поправок до радіуса від нуля.

Таким чином, витримуються вимоги методу найменших квадратів як до вирівнювання результатів вимірювань в геодезичній мережі, так і до апроксимації точок треку колом. При цьому відбувається позитивний взаємний вплив як результатів вирівнювання мережі на точність апроксимації, так і апроксимації на результати вирівнювання.

Одночасно з визначенням просторового положення координатним треківим методом, можуть визначатися метрологічні характеристики кутомірних датчиків. За відліками за кутомірним датчиком астрономо-

геодезичного приладу, введеними у програму вирівнювання геодезичної мережі як виміряні напрямки на точки треку, визначаються координати вісі обертання датчика та похибки кутомірного датчика.

Показовим прикладом реалізації принципів загальної теорії є взаємодія геодезичного приладу та двох динамічних об'єктів – Землі й небесної сфери при обробленні результатів астрономічних вимірювань. Взаємодія двох останніх відбувається в динаміці, тому до вимірюваних величин добавляється час. Результати вимірювань геодезичним приладом, вихідні координати світил та визначувані геометричні параметри – астрономічні широта, довгота та азимут знаходяться в трьох сферичних системах координат.

Застосування кореляційної матриці координат є реалізацією принципів загальної теорії, коли результати вимірювань, їх функції та визначувані геометричні параметри корельовані між собою та впливають один на інший. Якщо координати визначено опосередковано полярною просторовою чи тангенціальною засічкою, їх кореляційна матриця з урахуванням похибок вихідних координат та азимуту:

$$\begin{aligned} x_i &= x_0 + D_i \cos(a_0 + N_i) \cos \alpha_i; \\ y_i &= y_0 + D_i \sin(a_0 + N_i) \cos \alpha_i; \\ z_i &= z_0 + i_0 + D_i \sin \alpha_i - v_i; \end{aligned} \quad q_{xyz}^i = \bar{A}_i \cdot q_i \cdot \bar{A}_i^T = \begin{pmatrix} q_{x_i} K_{x_i y_i} K_{x_i z_i} \\ K_{y_i x_i} q_{y_i} K_{y_i z_i} \\ K_{z_i x_i} K_{z_i y_i} q_{z_i} \end{pmatrix}, \quad (26)$$

де x_i , y_i , z_i – координати точки на поверхні, геометричні параметри якої визначаються; x_0 , y_0 , z_0 – координати вихідної точки, над якою центровано тахеометр; a_0 – дирекційний кут орієнтуючого напрямку на другу вихідну точку; D_i – виміряна або наближена нахилена віддаль; N_i – вимірний горизонтальний напрямок; α_i – вимірний вертикальний кут; i_0 – висота приладу над точкою; v_i – виміряна висота наведення на візирну ціль встановлену на поверхню при виконанні полярної чи прямої просторової кутової засічки; q_i – матриця зворотних ваг вихідних координат та вимірних величин; q_{x_i} , q_{y_i} , q_{z_i} – зворотні ваги визначених координат; $K_{x_i y_i}$, $K_{x_i z_i}$, $K_{y_i x_i}$, $K_{y_i z_i}$, $K_{z_i x_i}$, $K_{z_i y_i}$ – кореляційні моменти; \bar{A}_i – матриця часткових похідних за вихідними координатами та вимірними величинами.

Для тангенціальної засічки матрицю зворотних ваг координат за формулою (26) обчислюють, прийнявши зворотну вагу вимірної довжини (тому, що вона не вимірюється) досить великою у порівнянні зі зворотними вагами безпосередньо вимірних довжин - більшою у $10^3 \dots 10^4$ разів.

Для нормального нівелювання рівняння зв'язку між вимірними величинами, якими є координати точок, вимірними відстанями за нормаллю

до поверхні та визначуваними геометричними параметри поверхні об'єкта, а також зворотна вага цієї відстані:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x_1, y_1, z_1, \tau_1 \dots \tau_k) &= d_1 \\ \dots \\ \varphi_i(x_i, y_i, z_i, \tau_1 \dots \tau_k) &= d_i \quad ; \quad Q_{d_i} = |a_{i1} a_{i2} a_{i3} a_{i4}| \\ \dots \\ \varphi_n(x_n, y_n, z_n, \tau_1 \dots \tau_k) &= d_n \end{aligned} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc|c} q_{x_i} & K_{x_i y_i} & K_{x_i z_i} & 0 & a_{i1} \\ K_{y_i x_i} & q_{y_i} & K_{y_i z_i} & 0 & a_{i2} \\ K_{z_i x_i} & K_{z_i y_i} & q_{z_i} & 0 & a_{i3} \\ 0 & 0 & 0 & q_{d_i} & a_{i4} \end{array} \right| \end{array}, \quad (27)$$

де d_i , $q_{d_i} = \sigma_{d_i}^2$ – вимірні відстані за нормаллю до поверхні об'єкта і їх зворотні ваги; σ_{d_i} – СКП вимірної відстані за нормаллю до поверхні об'єкта або СКП виготовлення поверхні в даній точці.

Через кореляційну матрицю (27) висока точність виготовлення поверхні може мати при вирівнюванні вимірювань істотний позитивний вплив на точність геодезичних вимірювань виконаних у геодезичній мережі.

Одним з найважливіших прикладів реалізації принципів загальної теорії є їх застосування до вирівнювання результатів вимірювань, виконаних з точок мережі на динамічний об'єкт разом з визначенням його геометричних параметрів. Для цього для вимірювань на точку на поверхні чи на треку, виконаних з різних точок мережі, складаються однакові рівняння поправок. Для них матриця коефіцієнтів рівнянь поправок набуде суцільного характеру на відміну від діагональної матриці коефіцієнтів для полярної засічки:

$$A = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} & \frac{\partial \varphi}{\partial y_1} & \frac{\partial \varphi}{\partial z_1} & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_t} & \frac{\partial \varphi}{\partial y_t} & \frac{\partial \varphi}{\partial z_t} & a_{t1} & a_{t2} & a_{t3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_m} & \frac{\partial \varphi}{\partial y_m} & \frac{\partial \varphi}{\partial z_m} & a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_m} & \frac{\partial \varphi}{\partial y_m} & \frac{\partial \varphi}{\partial z_m} & a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & A_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{t1} & a_{t2} & a_{t3} & A_t \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & A_m \end{array} \right| \end{array} ; \quad V = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c|c} v_{x_1} & V_1 \\ v_{y_1} & \dots \\ v_{z_1} & \dots \\ \dots & V_t \\ \dots & \dots \\ v_{x_m} & \dots \\ v_{y_m} & V_m \\ v_{z_m} & \dots \end{array} \right| \end{array} ; \quad AV = U = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} u_1 \\ \dots \\ u_t \\ \dots \\ u_m \end{array} \right| \end{array}, \quad (28)$$

де t – номер просторового напрямку, вимірюного на точку; m – загальна кількість просторових напрямків, вимірюваних на дану точку; u_t – радіальні відхилення – деякі узагальнені проміжні умовно вимірні величини.

Рівняння поправок однакові для кожного просторового напрямку, а зворотна вага радіального відхилення для кожного з рівнянь буде іншою, визначеною за другою з формул (27).

З урахуванням принципів загальної теорії розроблено концепцію створення універсального роботизованого астротхеометра, для якого запропоновано вирішення низки задач визначення просторового положення

та орієнтування вісєй динамічних об'єктів в автоматичному режимі реального часу.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження геометричних параметрів динамічних об'єктів – радіотелескопів та станцій лазерної локації супутників геодезичними методами» описано застосування теорії побудови ЛПМ та визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів на станціях колокації до радіотелескопів РТ-22 КраО та РТ-70 ЦДКЗ, а також СЛЛ. Це дозволило одержати всі їх взаємозв'язані геометричні параметри з точністю, достатньою для вирішення всіх наукових та експлуатаційних задач. За визначеними, розробленими геодезичними методами, просторовим положенням та орієнтуванням їх азимутальної та кутомісної вісєй обертання визначені локальні геодезичні прив'язки реперних точок радіотелескопів та СЛЛ до GPS-маркерів та визначено геометричні параметри математичної моделі їх наведення на світила та супутники, а також їх зміни в часі.

Локальні геодезичні прив'язки використовуються для порівняння координат, визначених ЛЛС-, РНДБ-, GPS-, DORIS-методами та виявлення їх систематичних похибок. Дослідження локальних рухів (деформацій) реперних точок астрономо-геодезичних приладів проводиться для введення у визначені ними координати відповідних поправок.

За розробленими методами визначені параметри просторового орієнтування азимутальної та кутомісної вісєй радіотелескопа та геометричної вісєі дзеркала в зеніт і в горизонт. За ними обчислені інші геометричні параметри радіотелескопа – колімаційна похибка, місце нуля та похибка орієнтування нуля датчика азимутальної вісєі.

Кути нахилу γ_{Rx} та γ_{Ry} геометричної вісєі дзеркала за вісями x та y – це різниці між встановленими за датчиками відліками кута повороту за азимутом та кутом нахилу і фактичним просторовим орієнтуванням геометричної вісєі дзеркала (фактичним астрономічним азимутом та кутом нахилу). Іншими словами, їх можна назвати абсолютними похибками кутомірних датчиків азимутальної та кутомісної вісєй або поправками до орієнтування вісєі дзеркала (з врахуванням знака).

Ці різниці (похибки) за віссю y пов'язані з іншими геометричними параметрами радіотелескопа такою системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \gamma_{Ry(90^\circ)} &= C + \delta_A \cos \alpha_1 + \delta_{LR} \sin \alpha_1 + \gamma_y \sin \alpha_1; \\ \gamma_{Ry(5^\circ)} &= C + \delta_A \cos \alpha_2 + \delta_{LR} \sin \alpha_2 + \gamma_y \sin \alpha_2, \end{aligned} \quad (29)$$

де C – невідома колімаційна помилка геометричної вісєі дзеркала радіотелескопа, тобто її неперпендикулярність до кутомісної вісєі; δ_A – невідома похибка орієнтування нуля датчика азимутальної вісєі (похибка нуль-

пункту); $\delta_{LR} = 12''$ – неперпендикулярність кутомісної до азимутальної вісі; $\gamma_y = \gamma_0 \cdot \cos(A_y - A_y) = -99,3''$ – нахил азимутальної вісі в площині кутомісної вісі при азимуті що дорівнює $A_y = 270^\circ$; $\alpha_1 = 90^\circ$, $\alpha_2 = 5^\circ$ – відліки за кутомірним датчиком кутомісної вісі, яким приблизно дорівнюють кути нахилу (кути місця) геометричної вісі дзеркала радіотелескопа при вимірюваннях на дзеркало в zenit та майже в горизонт.

Виходячи із першого рівняння (29) колімаційну помилку обчислюємо для випадку, коли дзеркало спрямоване в zenit, за формулою

$$C = \gamma_{Ry(90^\circ)} - \delta_{LR} - \gamma_y = -63'' \quad (30)$$

Похибку орієнтування нуля датчика азимутальної вісі δ_A обчислюємо для випадку, коли дзеркало спрямоване майже в горизонт. Виходимо із другого рівняння (29) та обчисленого за (30) значення колімаційної помилки:

$$\delta_A = (C + \gamma_{Ry(5^\circ)}) / \cos \alpha_i = -70'' \quad (31)$$

За різницями (похибками) за віссю x безпосередньо обчислюємо місце нуля кутомірного датчика кутомісної вісі за формулами з таблиці 3 при відліках $\alpha_1 = 90^\circ$ та $\alpha_2 = 5^\circ$.

Таблиця 3

Місце нуля кутомірного датчика кутомісної вісі радіотелескопа РТ-22 спрямованого в zenit та на 5° вище горизонту

Відлік за кутомірним датчиком	Формула для обчислень місця нуля та вагової деформації дзеркала антени	Значення геометричного параметра з вимірювань	
		геодезичних на епоху 2004,6	астрометричних на епоху 1994,6
$\alpha_1 = 90^\circ 00'$	$MO_{90^\circ} = \gamma_{Rx(90^\circ)} = \eta_{x(90^\circ)} \cdot \rho''$	- 3' 37,8''	- 1' 21,6''
$\alpha_2 = 5^\circ 00'$	$MO_{5^\circ} = \gamma_{Rx(5^\circ)} = \eta_{x(5^\circ)} \cdot \rho''$	- 5' 53,3''	- 3' 38,4''
	$d = MO_{90^\circ} - MO_{5^\circ}$	- 2' 15,5''	- 2' 16,8''

З таблиці 3 випливає, що місце нуля антени радіотелескопа, визначене різними методами на різні епохи, не збігаються, а вагові деформації збігаються.

Локальні геодезичні прив'язки та просторові координати реперних точок радіотелескопів відносно вихідних GPS-маркерів у Міжнародній земній системі відліку ITRF2000, визначені з оброблення класичних вимірювань, публікуються та застосовуються для порівняння з координатами, одержаними методами ГНСС, РНДБ та ЛЛС центрами оброблення даних.

Розробленими геодезичними методами визначено метрологічні характеристики кутомірних датчиків азимутальної та кутомісної вісесі радіотелескопів РТ-22 і РТ-70. Встановлено наявність ексцентриситету кутомірного датчика азимутальної вісі радіотелескопа РТ-22, що сягає більш ніж $3'$, тоді як для кутомірного датчика кутомісної вісі його не виявлено.

За розробленими методами одержано також геометричні параметри Кримського геодинамічного полігона «Сімеїз - Кацівелі» як динамічного об'єкта. На майданчику радіотелескопа РТ-22 виявлено зону відносної стабільності, на якій вибрано точки, вихідні для всього геодинамічного полігона. За результатами вимірювань та їх оброблення встановлено, що майданчик СЛЛ КрАО відносно майданчика радіотелескопа РТ-22 практично не зміщується, а майданчик СЛЛ КЛО відносно майданчика радіотелескопа РТ-22, а також все узбережжя від КЛО до радіотелескопа РТ-22 зміщується із швидкістю $5...12$ мм на рік у південному або південно-східному напрямку.

Так, відносно радіотелескопа максимальні величини векторів зміщення за 14 років становлять 72 мм, 107 мм та 173 мм. Таким чином, мис Кікінейз та узбережжя на захід від нього утворилось внаслідок цього руху.

У п'ятому розділі «Розроблення теорії та практика визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів – кутомірних приладів» розроблено оптимальний метод вимірювань, що дозволяє підвищити продуктивність праці при повірці теодолітів, та кутомірної частини тахеометрів на автоколімаційній установці для повірки нівелірів і теодолітів АУПНТ.

Розроблено строгий, з точки зору МНК, метод сумісного оброблення результатів повірки, який дозволяє оцінити геометричні параметри теодолітів і кутомірної частини тахеометрів та СКП вимірювань горизонтальних і вертикальних кутів одним повним прийомом для довільно розташованих у просторі напрямків. Рівняння, що зв'язують визначувані геометричні параметри теодоліта або тахеометра, які є систематичними складовими похибки вимірювань, з вимірними значеннями горизонтальних напрямків та вертикальних кутів окремо при крузі зліва та крузі справа загалом мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 N_{ij}^{KL} &= \delta N_i + N_j + C + \beta_0 \operatorname{tg} \alpha_{ij}^{KL} + \varepsilon_n^x \cdot \sin N_{ij}^{KL} + \varepsilon_n^y \cdot \cos N_{ij}^{KL} + \varepsilon_a^x \cdot \sin N_i^a + \varepsilon_a^y \cdot \cos N_i^a; \\
 N_{ij}^{KP} \pm 180^\circ &= \delta N_i + N_j - C - \beta_0 \operatorname{tg} \alpha_{ij}^{KP} - \varepsilon_n^x \cdot \sin N_{ij}^{KP} - \varepsilon_n^y \cdot \cos N_{ij}^{KP} - \varepsilon_a^x \cdot \sin N_i^a - \varepsilon_a^y \cdot \cos N_i^a; \\
 \alpha_{ij}^{KL} &= \alpha_j + MO + \varepsilon_\theta \cos(\alpha_{ij}^{KL}); \quad \alpha_{ij}^{KP} = -\alpha_j + MO - \varepsilon_\theta \cos(\alpha_{ij}^{KP}), \quad (32)
 \end{aligned}$$

де i – номер прийому вимірювань; j – номер або найменування напрямку, що вимірюється; N_{ij}^{KL} , N_{ij}^{KP} та α_{ij}^{KL} , α_{ij}^{KP} – вимірний теодолітом або

тахеометром горизонтальний напрямок та вертикальний кут при крузі зліва та крузі справа. Визначувані геометричні параметри: δN_i – орієнтуючий кут, що характеризує кут, на який було повернуто лімб горизонтального круга між прийомами; N_j – дійсне значення напрямку, що відоме як еталонне або визначається (оцінюється) як вирівняне з декількох прийомів; C – колімаційна похибка; β_0 – неперпендикулярність горизонтальної та вертикальної вісей; $\varepsilon_a^x, \varepsilon_a^y$ та $\varepsilon_a^x, \varepsilon_a^y$ – проєкції лінійного елемента (параметра) ексцентриситету лімба та аліади горизонтального круга на вісі координат, виражені в кутових секундах; α_j – дійсне значення вертикального кута, що відоме як еталонне або визначається як усереднене з декількох прийомів; MO – місце нуля; ε_a – проєкція на прямовисну лінію лінійного елемента (параметра) ексцентриситету аліади (труби) вертикального круга, виражена у кутових секундах. Додатково: N_i^a – кут, на який повертається теодоліт або тахеометр разом з підставкою за ходом годинникової стрілки відносно його початкового кутового положення, прийнятого за нуль.

Розроблено строгий за МНК метод включення до оброблення результатів перевірки рівнянь додаткових умов горизонтальних та вертикальних кутів, умов еталонних горизонтальних напрямків і вертикальних кутів, що дозволить підвищити точність та достовірність оцінювання геометричних параметрів теодолітів і кутомірної частини тахеометрів та СКП вимірювань ними. Ці умови дозволяють виявити геометричні параметри приладів, які іншими методами виявити важко або неможливо, наприклад, ексцентриситет вертикального круга або зміну неперпендикулярності вісі обертання труби й аліади.

Додаткові умови горизонтального та вертикального розгорнутого кута 180° виникають у результаті їх відтворення з певною відомою точністю за допомогою двох автоколіматорів, направлених один на одного (лівий (Л) та правий (П)), наприклад, при повірці на АУПНТ. Їх записують у вигляді рівнянь зв'язку:

$$N_{\text{Л}} - N_{\text{П}} = \pm 180^\circ; \quad \alpha_{\text{Л}} + \alpha_{\text{П}} = 0^\circ. \quad (33)$$

Якщо дійсні значення горизонтальних напрямків та вертикальних кутів відомі, наприклад, з високоточних попередніх вимірювань, то виникають рівняння зв'язку умов еталонних горизонтальних напрямків і вертикальних кутів:

$$N_{E(\text{П})} = N_{\text{П}}; \quad N_{E(\text{Л})} = N_{\text{Л}}; \quad \alpha_{E(\text{П})} = \alpha_{\text{П}}; \quad \alpha_{E(\text{Л})} = \alpha_{\text{Л}}. \quad (34)$$

Рівняння поправок в матричному вигляді одержано на основі рівнянь зв'язку (32):

$$\begin{vmatrix} a_{11ij} & 0 \\ 0 & a_{22ij} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} v_{N_{ij}^{KJ}} \\ v_{N_{ij}^{KJ}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11ij} & b_{12ij} & b_{13ij} & b_{14ij} & b_{15ij} & b_{16ij} & b_{17ij} & b_{18ij} \\ b_{21ij} & b_{22ij} & b_{23ij} & b_{24ij} & b_{25ij} & b_{26ij} & b_{27ij} & b_{28ij} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \delta \delta N_i \\ \delta N_j \\ C \\ \beta_0 \\ \varepsilon_a^x \\ \varepsilon_a^y \\ \varepsilon_a^x \\ \varepsilon_a^y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} l_{1ij} \\ l_{2ij} \end{vmatrix};$$

$$\begin{vmatrix} a_{11ij} & 0 \\ 0 & a_{22ij} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} v_{\alpha_{ij}^{KJ}} \\ v_{\alpha_{ij}^{KJ}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11ij} & b_{12ij} & b_{13ij} \\ b_{21ij} & b_{22ij} & b_{23ij} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \delta \alpha_j \\ MO \\ \varepsilon_a \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} l_{1ij} \\ l_{2ij} \end{vmatrix}. \quad (35)$$

До них приєднуються рівняння поправок для додаткової умови та умов еталонних горизонтальних напрямків і вертикальних кутів:

$$v_{N_{ДУ(180^\circ)}} = -\delta N_{\Pi} + \delta N_{Л} + l_{ДУ(180^\circ)}; \quad v_{N_{E(\Pi)}} = \delta N_{\Pi} + l_{E(\Pi)}; \quad v_{N_{E(Л)}} = \delta N_{Л} + l_{E(Л)}; \quad (36)$$

$$v_{\alpha_{ДУ(180^\circ)}} = \delta \alpha_{\Pi} + \delta \alpha_{Л} + l_{ДУ(180^\circ)}; \quad v_{E(\Pi)} = \delta \alpha_{\Pi} + l_{E(\Pi)}; \quad v_{E(Л)} = \delta \alpha_{Л} + l_{E(Л)}. \quad (37)$$

Після складання та вирішення нормальних рівнянь, СКП вимірювань горизонтального напрямку одним напівприйомом $\mu_{0,5}$ та одним повним прийомом знаходяться за формулами:

$$\mu_{0,5} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v_{ij}^2 + \sum_{l=1}^d P_{ДУ} v_{ДУ}^2 + \sum_{f=1}^e P_E v_E^2}{(2 \cdot n \cdot m + d + e) - K}}; \quad \mu_1 = \frac{\mu_{0,5}}{\sqrt{2}}, \quad (38)$$

де n – загальна кількість прийомів вимірювань; m – загальна кількість горизонтальних напрямків; d – кількість додаткових умов горизонтальних кутів; e – кількість еталонних горизонтальних напрямків; K – загальна кількість невідомих; $P_{ДУ}$ та P_E – ваги додаткових умов та умов еталонних горизонтальних кутів.

СКП μ'_i вимірювання горизонтальних напрямків одним повним прийомом за умови, що до неї входять систематичні складові похибки, обчислюється за формулами:

$$N_{ij} = \frac{N_{ij}^{KJ} + N_{ij}^{KJ} \pm 180^\circ}{2}; \quad v'_{ij} = N_{ij} - N_j - \delta N_i; \quad \mu'_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v'_{ij}{}^2}{n \cdot (m-1)}}. \quad (39)$$

Відповідно до принципів загальної теорії відношення μ'_1 – СКП, яка включає випадкову складову та геометричні параметри як систематичні складові, до μ_1 – СКП, яка включає тільки випадкову складову, обумовлює вплив визначуваних геометричних параметрів, як систематичних складових, на похибки результатів геодезичних вимірювань.

СКП неперпендикулярності, наприклад, горизонтальної вісі до вертикальної, а також значень проєкцій ексцентриситету лімбу на вісі координат, визначених з n прийомів, обчислюється за формулами:

$$S_{\beta_0} = \mu_{0,5} \sqrt{Q_{n+m+1}} ; \quad S_{e_x^x} = \mu_{0,5} \sqrt{Q_{n+m+2}} ; \quad S_{e_n^y} = \mu_{0,5} \sqrt{Q_{n+m+3}} . \quad (40)$$

де Q_{n+m+j} - зворотні ваги визначуваних геометричних параметрів, визначені як діагональні члени зворотної матриці до матриці нормальних рівнянь.

За аналогічними формулами оцінюється точність визначених геометричних параметрів вертикального круга.

ВИСНОВКИ

У дисертації розроблені загальні теоретичні принципи визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів довільно розташованих та орієнтованих у просторі до яких відносяться математично описувані поверхні, об'єкти що обертаються, геодезичні та інші кутомірні прилади тощо.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи такі:

1. Аналіз стану та основних тенденцій розвитку інженерно-геодезичного забезпечення визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів, а саме просторового положення та орієнтування їх вісей обертання та вісей поверхонь, а також форми та розміру цих поверхонь, показав необхідність розроблення нових методів вимірювань та оброблення їх результатів.

2. Застосування розроблених принципів до будь-яких динамічних об'єктів дозволяє визначати з необхідною точністю, просторове положення та орієнтування довільно розташованих у просторі та матеріально не означених вісей поверхонь та вісей обертання, форму та розміри поверхонь, а також метрологічні характеристики за їх наявності.

3. Запропоновані методи створення локальних інженерно-геодезичних мереж задовольняють вимоги щодо визначення з необхідною точністю просторового положення та орієнтування динамічних об'єктів у локальних і геоцентричних системах координат на станціях колокації, геодинамічних полігонах, польових компараторах тощо.

4. Розроблені нові методи вимірювань в основі яких лежать принципи визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів, а саме:

- тангенціальна засічка;

- нормальне нівелювання;
 - координатний площинний метод;
 - автоколімаційний просторовий метод;
 - метод опосередкованих просторових вимірювань;
 - координатний трековий метод.
5. На основі запропонованих принципів розроблені нові методи оброблення результатів вимірювань та оцінювання їх точності при визначенні геометричних параметрів динамічних об'єктів, які реалізовані у вигляді:
- рівнянь площин та квазіеліптичних поверхонь на прикладі поверхонь другого порядку;
 - системи рівнянь площин та сфери (сфер);
 - системи рівнянь площин та циліндрів;
 - системи рівнянь зі сферичного трикутника «полюс – світило – зеніт місяця спостереження».
6. Отримано кореляційну матрицю результатів вимірювань одержаних з нормального нівелювання, яка забезпечує підвищення точності визначення геометричних параметрів при сумісному вирівнюванні за рахунок врахування точності виготовлення поверхні або треку точки.
7. Застосування розроблених принципів до кутомірних приладів як динамічних об'єктів дозволяє комплексно, методом вимірювання за довільно орієнтованими у просторі напрямками, визначити з оцінкою точності їх геометричні параметри, а також оцінювати їх вплив, як систематичних похибок на метрологічні характеристики.
8. Застосування розроблених принципів до методів вимірювань та оброблення їх результатів дозволили створити концепцію універсального роботизованого астротaxeометра, який в автоматичному режимі реального часу може визначати з одночасною оцінкою точності:
- астрономічну широту, довготу та азимут;
 - геометричні параметри поверхонь;
 - довжини з врахуванням моделі МПА;
 - елементи позацентровості;
 - власні геометричні параметри та метрологічні характеристики.
9. Практичне застосування розроблених принципів дозволяє досягти поставленої мети – вирішити проблему визначення геометричних параметрів довільно розташованих та орієнтованих у просторі динамічних об'єктів.
10. На основі запропонованих автором принципів, методів та моделей визначення геометричних параметрів до астрономо-геодезичних приладів (АГП), зокрема до радіотелескопів РТ-70 ІЦДКЗ та РТ-22 на станції колокації КГП «Сімеїз-Кацівелі» вирішуються з необхідною точністю такі завдання:
- виконується колокація різних методів космічної геодезії та астрономії (РНДБ, ЛЛС, ЛЛМ, ГНСС та DORIS);
 - виконуються координатно-часові вимірювання для Державної служби єдиного часу та еталонних частот;

- підтримується Міжнародна земна система координат;
- проводиться міжнародна співпраця в галузі координатного забезпечення вихідними даними ГНСС;
- визначаються метрологічних характеристик АГП;
- удосконалюються моделі наведення АГП на об'єкти вимірювань.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Самойленко А.Н. Определение взаимного положения двух астрономических приборов геодезическими методами / Самойленко А.Н., Чуланов П.А. // Инженерна геодезія. – 1989. – Вип. 32. – С. 83-86.
2. Самойленко А.Н. Универсальный алгоритм уравнивания высотных инженерно-геодезических сетей // Инженерна геодезія. – 1991. – Вип. 34. – С. 84-87.
3. Самойленко А.Н. Способ взаимного ориентирования теодолитов на коротком базисе / Самойленко А.Н., Жиркова Н.Н. // Инженерна геодезія. – 1992. – Вип. 35. – С. 82-85.
4. Самойленко А.Н. Определение внецентренности теодолита при помощи его оптического отвеса и вертикального круга // Инженерна геодезія. – 1993. – Вип. 36. – С. 85-88.
5. Самойленко А.Н. Исследование температурных деформаций каркаса промышленного здания / Самойленко А.Н., Мищенко Н.А. // Геодезия и картография. – 1993. – № 9. – С. 18-20.
6. Баран П.І. Способи вимірювання кутів теодолітом з пентагональною насадкою на об'єкти труби / Баран П.І., Самойленко О.М. // Инженерна геодезія. – 1994. – Вип. 37. – С. 13-19.
7. Самойленко О.М. Універсальний спосіб зрівнювання астрономічних спостережень широти, довготи і азимуту // Вісник геодезії та картографії. – 1995. – № 2. – С. 39-45.
8. Bolotin S. GPS Observational Campaign in the Geodynamics Test Area "Simeiz-Katsively": Data Processing and Results / Bolotin S., Gaiovitch I., Khoda O., Samoilenko A., Yatskiv Ya. // Додаток до журналу «Космічна наука і технологія». – 1995. – Т. 1. № 2. – 16 с.
9. Samoilenko A. Local geodetic tie of the Borowiec-1 SLR station to GPS markers / Samoilenko A., Rudenko S., Schillak S. // Artificial satellites – Journal of Planetary Geodesy. – Warszawa: PAN, – 1997. – Vol. 32, No. 3, – P. 175-184.
10. Войтенко С.П. Математичне моделювання горизонтальних деформацій / Войтенко С.П., Самойленко О.М. // Инженерна геодезія. – 1999. – Вип. 41. – С. 20-23.
11. Самойленко А.Н. Определение геометрических параметров радиотелескопа РТ-70 геодезическими методами / Самойленко А.Н., Засць В.В. // Инженерна геодезія. – 2005. – Вип. 51. – С. 244-253.

12. Самойленко О.М. Методика виконання геодезичних вимірювань при визначенні просторового положення азимутальної та кутомісної осей обертання радіотелескопу РТ-22 // Інженерна геодезія. – 2006. – Вип. 52. – С. 176-185.

13. Самойленко О.М. Геодезична прив'язка радіотелескопів та станцій лазерної локації супутників до GPS-маркерів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес, – 2006. – Вип. I. – С. 46-52.

14. Самойленко О.М. Оптимізація методики визначення метрологічних характеристик горизонтального круга теодолітів та кутомірної частини тахеометрів при їх державній метрологічній атестації та перевірці // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», – 2007. – Вип. II. – С. 45-54.

15. Тревого І.С. Контроль стабільності інтервалів взірцевого геодезичного базису / Тревого І.С., Денисов О.М, Самойленко О.М. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – Вип. 69. – С. 60-62.

16. Самойленко А.Н. Повышение точности определения геометрических параметров и градуировки вертикальных цилиндрических резервуаров при их поверке / Самойленко А.Н., Заец В.В. // Измерительная техника. – 2007. – № 3. – С. 29-33.

17. Самойленко О.М. Оптимізація методики визначення метрологічних характеристик вертикального круга теодолітів та кутомірної частини тахеометрів при їх державній метрологічній атестації та повірці // Інженерна геодезія. – 2008. – Вип. 54. – С. 178-189.

18. Самойленко О. Перспективи розвитку метрологічного забезпечення вимірювань площинного кута в галузі геодезії / Самойленко О., Заец В., Кукарека Б. // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2009. – Вип. I. – С. 81-84.

19. Самойленко О.М. Апроксимація поверхонь динамічних об'єктів сумісно з вирівнюванням результатів геодезичних вимірювань з урахуванням їх похибок та похибок вихідних даних // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. I. – С. 80-85.

20. Самойленко О.М. Визначення просторової орієнтації осі обертання динамічного об'єкта геодезичним автоколімаційним методом // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 1. – С. 26-29.

21. Самойленко О.М. Застосування геодезичного автоколімаційного методу для визначення і контролю метрологічних характеристик стендів регулювання розвалу та сходження коліс автомобілів // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 2. – С. 13-18.

22. Самойленко А.Н. Определение геометрических параметров динамического объекта – радиотелескопа РТ-22 КраО по результатам геодезических измерений в 1994, 2004 и 2008 годах // Инженерная геодезия. – 2011. – Вып. 56. – С. 57-74.

23. Самойленко А.Н. Локальная геодезическая сеть на Симеизском геодинамическом полигоне. – К., 1996. – 36 с. (Препр. ГАО-96-1Р / ГАО НАН Украины).

24. Миронов Н.Т. Геоцентрические координаты и относительные положения двух лазерных дальномеров ГАО АН УССР и специальных геодезических знаков (маркеров) / Миронов Н.Т., Самойленко А.Н., Яць В.М., Яцків Я.С. // Кинематика и физика небесных тел. – 1988. – Т. 4, № 6. – С. 88-90.

25. Болотіна О.В. Дослідження динаміки геодезичних прив'язок станції колокації „Сімеїз – Кацівелі” / Болотіна О.В., Самойленко О.М., Болотін С.Л., Литвин М.О., Козел В.Л. // Бюлетень Українського центру визначення параметрів обертання Землі. – К.: Компанія ВАІТЕ. – 2007. – №2. – С. 21-25.

26. Самойленко О.М. Результати геодезичної прив'язки радіотелескопа та станцій лазерної локації супутників до GPS-маркерів на Кримському геодинамічному полігоні „Сімеїз – Кацівелі” / Самойленко О.М., Хо́да О.О., Заєць В.В. // Кинематика и физика небесных тел. – 2007. – Т. 23, № 1. – С. 3-10.

27. Болотіна О.В. Дослідження нестабільності положення пунктів станції колокації „Сімеїз – Кацівелі” / Болотіна О.В., Самойленко О.М., Болотін С.Л., Козел В.Л. // Кинематика и физика небесных тел. – 2008. – Т. 24, № 5. – С. 388-400.

28. Самойленко О.М. Результати третьої геодезичної кампанії на локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України / Самойленко О.М., Адаменко О.В., Болотіна О.В., Заєць В.В., Хо́да О.О. // Кинематика и физика небесных тел. – 2008. – Т. 24, № 6. – С. 452-462.

29. Самойленко А.Н. ПМА 081/23.11-98. Метрология. Полевой компаратор линейно-угловой ПКЛК-98 для проведения государственной метрологической аттестации и поверок средств измерительной техники геодезического назначения (СИТ ГН). Программа и методика государственной метрологической аттестации в качестве рабочего эталона 2-го разряда. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2003. – 27 с.

30. Самойленко А.Н., Заєць В.В. МПУ 164/01-2003. Метрология. Нивелиры, теодолиты, тахеометры (угломерная часть). Методика поверки. – К.: ГП «Укрметртестстандарт», 2003. – 30 с.

31. Самойленко О.М., Заєць В.В. МПУ 294/03-2009. Метрология. Резервуари сталеві горизонтальні циліндричні. Методика перевірки геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2009. – 62 с.

32. Самойленко О.М., Заєць В.В. МПУ 296/03-2009. Метрологія. Резервуари сталеві сферичні для скрапленого газу. Методика повірки геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2009. – 54 с.

33. Самойленко О.М., Заєць В.В. МПУ 297/03-2009. Метрологія. Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2009. – 92 с.

34. Самойленко О.М., Заєць В.В. МПУ 298/03-2009. Метрологія. Резервуари вимірювальні вертикальні циліндричні з еліптичними днищами. Методика повірки геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2009. – 64 с.

35. Jaks W. Local geodetic survey for SLR station in Kiev / Jaks W., Yatskiv Ya.S., Mironov N.T., Samoilenko A.N. // Проблемы астрометрии и космической геодинамики: Матер. междунар. сем., Киев, 1990. – К.: Наук. думка, 1991. – С. 115-121.

36. Войтенко С.П. Дослідження впливу температурних факторів на вертикальні деформації споруд / Войтенко С.П., Самойленко О.М. // Матер. наук. конф. „Geodezja inzynieryjna i kataster w gospodarce narodowej” – Lwow-Rzeszow: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 1998. – С. 15-18.

37. Gaiovitch I. Collocation of Different Geodetic Techniques at the Main Astronomical Observatory in Kiev / Gaiovitch I., Khoda O., Osmak A., Samoilenko A. // Proceedings of the International Workshop on Geodetic Measurements by the Collocation of Space Techniques on Earth (GEMSTONE). – Tokyo (Japan), 1999. – P. 225-229.

38. Самойленко А.Н. Технические и вычислительные средства для определения общей и интервальных вместимостей резервуаров стальных горизонтальных геометрическим методом / Самойленко А.Н., Заец В.В. // Матер. науч. конф. „Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века” – Донецк: 1999. – Т. 3. – С. 6-9.

39. Самойленко А.Н. Опыт применения и усовершенствование установки автоколлимационной для поверки нивелиров и теодолитов АУПНТ / Самойленко А.Н., Заец В.В., Кукарека Б.П. // Тр. Междунар. конф. «Метрология и метрологическое обеспечение». – Минск: БелГИМ, 2007. – С. 305-308.

АНОТАЦІЯ

Самойленко О. М. Геодезичні методи визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів. – Рукопис.

Дисертацією є рукопис на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія і картографія. – Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2011.

Запропоновано об'єднати об'єкти, що змінюють своє просторове положення, орієнтування та форму, як динамічні для розроблення на єдиній методологічній основі нових методів вимірювань, оброблення та інтерпретації їх результатів з метою визначення геометричних параметрів. Введено поняття локальних інженерно-геодезичних мереж (ЛІГМ), методи створення яких враховують всі особливості визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів. На основі розроблених загальних принципів теорії визначення геометричних параметрів динамічних об'єктів розроблено нові методи вимірювань та оброблення їх результатів при визначенні геометричних параметрів поверхонь та динамічних об'єктів, що обертаються, сумісно з вирівнюванням ЛІГМ. Розроблені універсальні методи реалізовано при визначенні геометричних параметрів та метрологічних характеристик радіотелескопів, у тому числі їх дзеркал, станцій лазерної локації (СЛЛ) супутників, циліндричних та сферичних резервуарів, теодолітів, тахеометрів, стендів регулювання розвалу-сходження коліс автомобілів, а також локальних геодезичних прив'язок радіотелескопів та СЛЛ до GPS-маркерів.

К л ю ч о в і с л о в а : динамічний об'єкт, вісі, геометричні параметри, просторове положення, орієнтування, метрологічні характеристики.

АННОТАЦИЯ

Самойленко А. Н. Геодезические методы определения геометрических параметров динамических объектов. – Рукопись.

Диссертацией есть рукопись на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.24.01 – Геодезия, фотограмметрия и картография. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2011.

Предложено объединить объекты, которые изменяют свое пространственное положение, ориентирование и форму, как динамические для разработки на единой методологической основе новых методов измерений, обработки и интерпретации их результатов с целью определения геометрических параметров. Введено понятие локальных инженерно-геодезических сетей (ЛИГС), методы создания которых отражают все особенности определения геометрических параметров динамических объектов на станциях коллокации, геодинамических полигонах, полевых компараторах для поверки геодезических приборов, а также сооружений, технологического и научного оборудования.

Разработан метод приведения результатов измерений длин и зенитных расстояний к центрам пунктов ЛИГС для корректного их уравнивания и оценки точности, а также редуцирования результатов геодезических измерений на поверхность относимости и в локальные системы координат

для обеспечения максимального совпадения пространственных координат, полученных из классических геодезических измерений и GPS-измерений.

Разработаны принципы определения геометрических параметров динамических объектов произвольно расположенных и ориентированных в пространстве. Основной из них формулируется так: объектом геодезических построений есть не только точки (геодезической сети, точки, на которые выполняются засечки и т. д.), но и геометрические параметры динамического объекта в целом, которые включаются в совместную обработку с ними с целью оказания взаимного положительного влияния на точность конечного результата.

На основе общих принципов разработаны метод нормального нивелирования и тангенциальный метод определения пространственного положения, ориентирования и формы поверхностей. Разработаны уравнения квазиэллиптических поверхностей второго порядка, которые связывают координаты точек на поверхности динамического объекта и все девять ее геометрических параметров в явном виде для облегчения поиска их приближенных значений и коэффициентов уравнений поправок при аппроксимации.

На основе общих принципов разработаны автоколлимационный, координатный плоскостной и координатный трековый методы определения геометрических параметров, а также метрологических характеристик динамических вращающихся объектов. Доказана эквивалентность определения пространственного положения оси вращения динамического объекта путем аппроксимации координат точек окружностью и уравниванием этих же построений в геодезической сети.

Корреляционная матрица координат точек на поверхности используется для учета влияния на геометрические параметры поверхностей динамических объектов погрешностей геодезических измерений и погрешностей координат исходных пунктов. Через корреляционную матрицу также объединяются задачи уравнивания результатов геодезических измерений и определения геометрических параметров поверхностей динамических объектов при аппроксимации.

Разработана концепция роботизированного астротахеометра для определения в режиме реального времени геометрических параметров поверхностей, собственных геометрических параметров, астрономической широты, долготы и азимута на базе универсального метода их оценивания и т. д.

Благодаря разработанным геодезическим методам получено пространственное положение и ориентация азимутальной и угломестной осей вращения, осей антенн, другие геометрические параметры, а также метрологические характеристики датчиков азимутальной и угломестной осей астрономо-геодезических приборов (АГП) – радиотелескопов РТ-22 и РТ-70

и станций лазерной локации искусственных спутников Земли как динамических объектов. Получены также локальные геодезические привязки АГП к GPS-маркерам в Международной земной системе отсчета ITRF2000 для сравнения координат, полученных методами GPS, РНДБ и ЛЛС в международных измерительных кампаниях по поддержанию Международной земной системы координат.

Разработан метод определения геометрических параметров и метрологических характеристик угломерных геодезических приборов, а также оценивания их точности с помощью оптимальной или любой произвольной комбинации измерений ими горизонтальных направлений и углов наклона.

Разработан метод обработки результатов поверки теодолитов и угломерной части тахеометров с дополнительными условиями и условиями эталонных горизонтальных и вертикальных углов для повышения точности оценки геометрических параметров и метрологических характеристик теодолитов и угломерной части тахеометров.

К л ю ч е в ы е с л о в а : динамический объект, оси, геометрические параметры, пространственное положение, ориентация, метрологические характеристики.

ANNOTATION

Samoylenko O.M. Geodetic method of estimation geometrical parameters of the dynamic objects. – Manuscript.

Dissertation is presented in form of manuscript for competition of scientific degree Doctor of Engineering in speciality 05.24.01 – Geodesy, photogrammetry and cartography. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2011.

It is proposed to combine objects that change their spatial location, setting and form as dynamic ones for development on the common methodological basis new methods of measurement, processing and interpretation of their results to determine their geometrical parameters. It is introduced concept of local geodetic networks (LGN), creation methods of which include all peculiarities of estimation geometrical parameters of the dynamic objects. Based on the general principles of the theory of geometric parameters defining dynamic objects developed new methods of measurement and processing of their results during determination of the geometrical parameters of surfaces and dynamic objects that rotate together with alignment of LGN. It has been developed universal methods applied in determination the geometrical parameters and metrological characteristics of radio telescopes, including their mirrors, satellite laser ranging stations, cylindrical and spherical tanks, theodolites, total stations, wheel aligners, and local geodetic ties of radio telescopes and laser location stations to GPS-markers.

Key words: dynamic object, axes, geometrical parameters, spatial location, setting, metrological characteristics.