

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**Гончаренко Олександр Степанович**

УДК 528.3

**ВДОСКОНАЛЕННЯ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕТОДІВ  
ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОЇДА**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ-2013

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент  
Гладілін Валерій Миколайович,  
Національний авіаційний університет,  
професор кафедри аерокосмічної геодезії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Заблоцький Федір Дмитрович,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри вищої геодезії та астрономії;

кандидат технічних наук  
Кучер Олег Васильович,  
Науково-дослідний інститут геодезії і картографії,  
перший заступник директора

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.056.09 в Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект,31, ауд.466.

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

Автореферат розісланий \_\_\_\_\_ 2013 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради

О.П.Ісаєв

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією із головних задач вищої геодезії і суміжних з нею наук (гравіметрії, теорії фігури Землі, космічної геодезії та астрономії) є визначення параметрів фігури Землі (її форми і розмірів), зовнішнього гравітаційного поля і їх змін в часі. Оскільки фігура геоїда залежить від напрямків прямовисних ліній, які співпадають з напрямками сили тяжіння, а останні в основному залежать від притягуваної дії нерівномірно розподілених всередині Землі мас, то фігура геоїда – геометрично вельми складна. Вивчення гравітаційного поля Землі по своїй суті – геофізична проблема, як і вивчення інших фізичних полів Землі. Однак в силу особливої ваги для геодезії і з врахуванням того, що параметри фігури і гравітаційного поля Землі визначаються із спільної обробки комплексу астрономо-геодезичних, гравіметричних, супутникових та інших вимірювань і спільно використовуються при розв'язанні багатьох задач вищої геодезії, вивчення гравітаційного поля Землі є однією із головних наукових задач геодезії. Визначення поверхні геоїда в межах території України є першочерговою задачею Державної геодезичної служби України. Це пояснюється необхідністю найшвидшого переходу до європейської системи висот, в якій, як відомо, поверхня європейського геоїда використовується як відлікова. Розв'язання такої проблеми потребує проведення детальних гравіметричних вимірювань, що в свою чергу вимагає великих фінансових витрат. Відсутність необхідних коштів змушує переходити до розроблення нетрадиційних методів визначення поверхні геоїда. Останні розробки в цій області, такі як використання методу колокації для розповсюдження поверхні європейського геоїда на територію України не забезпечують необхідної точності визначення цієї поверхні, так як засновані на математичному апараті без залучення даних для території України. Тому розроблення сучасних астрономо-геодезичних методів визначення геоїда території нашої держави є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Обраний напрям досліджень пов'язаний з реалізацією Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003-2010 роки, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 16 січня 2003 р. № 37. Основна частина дисертаційної роботи виконана в межах науково-дослідної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури, а саме: „Дослідження комплексної методики астрономо-геодезичних і гравіметричних визначень гравіметричної поверхні.” (номер державної реєстрації 0100U002799 №96-305 від 6.06.2000р.), де замовником є міністерство освіти і науки України.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розроблення нових та удосконалення існуючих астрономо-геодезичних засобів і методів, які забезпечують підвищення точності визначення відхилень прямовисних ліній

та поверхні локального геоїда. Для досягнення вказаної мети поставлені та виконані такі *завдання* :

- аналіз існуючих методів та засобів визначення відхилень прямовисних ліній та поверхні геоїда;
- розроблення нової методики визначення відхилень прямовисних ліній за допомогою засобів GPS і високоточної Zenitної камери;
- теоретичне обґрунтування і розроблення конструкції високоточної Zenitної камери для визначення астрономічних координат;
- реалізація математичної моделі вимірювань за допомогою високоточної цифрової Zenitної камери для встановлення кореляційних зв'язків між основними чинниками впливу на точність визначення астрономічних координат;
- розроблення алгоритму формування моделі профілю геоїда на локальну територію;
- експериментальні дослідження точності вимірювального астрономо-геодезичного комплексу.

**Об'єкт досліджень:** поверхня локального геоїда.

**Предмет досліджень:** створення комплексу засобів астрономо-геодезичних вимірювань для визначення поверхні геоїда.

**Методи досліджень** базуються на використанні сучасної GPS-технології як одного із основних методів визначення геодезичних координат, застосовані методи математичного моделювання та теорії ймовірностей. Оцінювання параметрів та точності вимірювань здійснювалось за методом найменших квадратів (МНК).

**Наукова новизна одержаних результатів:** полягає у виконанні теоретичних досліджень точності визначення астрономічних координат за допомогою високоточної Zenitної камери, розробленні нової методики визначення відхилень прямовисних ліній за допомогою переносних засобів (GPS- приймача та високоточної Zenitної камери), проведенні експериментальних досліджень точності вимірювань за допомогою високоточної Zenitної камери та одно частотних GPS- приймачів ProMark 2 фірми „Ashtech Solutions”, розробленні принципово нового геометричного методу побудови поверхні геоїда на локальну територію.

**Практичне значення одержаних результатів:** полягає у розробленні методики визначення відхилень прямовисних ліній за допомогою високоточної Zenitної камери та засобів GPS; розробленні нової конструкції високоточної Zenitної камери, що дозволило суттєво підвищити точність визначення астрономічних координат. Новизна технічного рішення підтверджена деклараційним патентом на винахід UA 63575 A № 2003054111-Бюл. №1 від 15.01.2004.

Результати досліджень пройшли експериментальні випробовування та впроваджені в Науково-дослідному інституті геодезії і картографії, в науково-дослідних роботах з бюджетної тематики та в навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури.

Підтверджено правильність теоретичних положень та підвищення точності визначення відхилень прямовисних ліній за допомогою переносних засобів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові положення, які становлять суть дисертації, були сформульовані та вирішені автором самостійно. Особистий внесок автора полягає у постановці задачі теоретичних досліджень ефективності визначення відхилень прямовисних ліній та поверхні локального геоїда за допомогою засобів GPS та високоточної зенітної камери .

У спільних публікаціях особистий внесок автора полягає у проведенні досліджень короткохвильових ондуляцій геоїда та встановленню зв'язку із відхиленнями прямовисних ліній [1, 2], дослідженні кореляційних зв'язків моделі вимірювань між факторами впливу на вимірювання за допомогою високоточної зенітної камери [7], експериментальні дослідження точності визначення відхилень прямовисних ліній та їх геологічна інтерпретація для пошуку нафтогазоносних родовищ [8].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати доповідались на П'ятій Всеукраїнській конференції з геоінформаційних технологій „ГІС-ФОРУМ-99” в 1999р. в м. Києві та науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва і архітектури 2000-2012 рр. в Києві.

**Публікації.** По темі дисертації автором опубліковано 9 наукових робіт, серед них 8 статей у наукових фахових виданнях (4 одноосібні), один деклараційний патент на винахід.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, 3 розділів, заключних висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг роботи становить 125 сторінок, робота містить 28 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел із 107 найменувань на 12 сторінках та додатки на трьох сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі “ **Аналіз існуючих методів визначення поверхні геоїда на локальну територію** ” представлено загальну характеристику проблем визначення та використання відхилень прямовисних ліній та поверхні локального геоїда.

При наявній нерівномірності розміщення астрономо-геодезичних та гравіметричних пунктів фізичний (гравіметричний) та геометричний (астрономо-геодезичний) методи визначення відхилень прямовисних ліній дають результати, які не співпадають між собою. Розбіжності між цими результатами значні і майже у всіх випадках теорії і практики враховуються. В той же час жоден із методів не має такої переваги, щоб можна було використовувати один, нехтуючи іншим. Навпаки, ні гравіметричний, ні

астрономо-геодезичний методи, що застосовуються самостійно, з різних причин сьогодні непридатні для визначення відхилень прямовисних ліній на всій поверхні Землі або на окремих її значних частинах.

Для визначення поверхні геоїда сьогодні в світовій практиці застосовуються гравіметричний, астрономічний, супутниковий або комбіновані методи. Традиційно найбільш вживаними методами визначення моделі геоїда є гравіметричний та астрономічний.

Астрономічні спостереження досить ефективні, але повинні виконуватися протягом темної частини доби. Проте процес вимірювань може бути автоматизованим. Єдиним недоліком залишається залежність від метеорологічних умов.

Найбільш розповсюдженою формою представлення гравітаційного поля Землі (ГПЗ) в задачах космічної геодезії є розкладання потенціалу в ряд за сферичними функціями. За останні двадцять років у світі створено понад п'ятдесят таких моделей. Сучасний стан досліджень в цій області визначається роботами, виконаними в США, Німеччини, Франції, Китаї і Росії. Останньою офіційно признаною російською розробкою є модель ПЗ-90 до 36 степеня.

На сьогодні актуальною задачею стало визначення гармонічних коефіцієнтів геопотенціалу до 360 степеня, що відповідає розрізненості за довжинами хвиль геоїда близько 100 км. При цьому повинно забезпечуватися визначення висот квазігеоїда з похибкою, що не перевищує 1 м. В найближчій перспективі точність визначення висот квазігеоїда повинна бути доведена до 0.5 м.

З позиції оцінки точності відновлення висот квазігеоїда особливе значення має тестування моделі з використанням контрольних значень висот квазігеоїда, одержаних: в Світовому океані – за даними супутникової альтиметрії; на суходолі – за матеріалами гравіметричних знімачів, а також за даними супутникового позиціонування в системах ГЛОНАСС і GPS.

В плані належного контролю найбільшу зацікавленість викликають результати тестування моделі за результатами супутникових координатних визначень на пунктах з відомими нівелірними висотами.

Сучасні методи і засоби космічної геодезії забезпечують можливість створення глобальних моделей геопотенціалу субметрової точності як основи для відтворення і врахування планетарних особливостей геоїда в задачах обробки геодезичної інформації.

В публікаціях як вітчизняних авторів, так і науковців Німеччини, розглянуті теоретичні дослідження та успішні практичні втілення сучасних технологій визначення поверхні геоїда комбінованим методом із застосуванням астрономічних та GPS-засобів.

Комплект переносної апаратури, який складається із високоточної зенітної камери та приймача GPS, є достатнім інструментальним засобом для визначення відхилень прямовисних ліній. Тому для розв'язання задач геодезії на локальних масштабах ця апаратура дозволяє отримати високу роздільну здатність, яка перевершує точність традиційних вимірювань.

За результатами аналізу використаних джерел було встановлено, що на теренах СНД та і в Україні взагалі відсутні публікації з питань використання комбінованого методу визначення поверхні геоїда, тоді як розробці цієї важливої теми у світі приділяється багато уваги. Наразі відсутні концептуальні напрацювання щодо створення роботизованого приладу для визначення в автоматичному режимі у реальному часі астрономічної широти, довготи та азимуту.

Метою цієї роботи є вирішення проблеми щодо використання найбільш ефективних засобів визначення поверхні локального геоїда без залучення додаткових (гравіметричних) вимірювань.

Другий розділ **”Дослідження і розроблення спільної методики вимірювань та обробки астрономо-геодезичних даних для визначення профілю геоїда “** присвячено розробленню нової методики та теоретичному дослідженню точності визначення відхилень прямовисних ліній за допомогою переносних засобів.

Вимірювальний комплекс був розроблений як швидкий та високоточний засіб астрономо-геодезичних вимірювань складових відхилень прямовисних ліній. Одним із основних напрямів застосування вимірювального комплексу є визначення профілю локального геоїда без залучення додаткових (гравіметричних) вимірювань.

Вимірювальний комплекс складається з двох основних компонентів: по-перше, високоточної зенітної камери (ВЗК) з ПЗЗ-матрицею для автоматичного визначення астрономічної широти  $\varphi$  та довготи  $\lambda$ . В процесі обробки використовується база даних зіркових каталогів UCAC та Tycho-2 небесної сфери. По-друге, - GPS-приймача для визначення еліпсоїдальних координат  $B, L$  та точного часу. Комбінація обох компонентів дозволяє визначити складові відхилень прямовисних ліній  $(\varepsilon, \eta)$ :

$$\varepsilon = \varphi - B, \quad \eta = A - D \cos B \quad (1)$$

Використовуючи класичну формулу астрономічного нівелювання можуть бути обчислені ондуляції геоїда  $dN$ .

Відхилення прямовисної лінії в заданій площині  $\theta$  можна виразити через відхилення прямовисної в площині початкового меридіану  $\varepsilon$ , площині першого вертикалу  $\eta$  та азимуту площини  $A$ :

$$\theta = \varepsilon \cos A + \eta \sin A \quad (2)$$

Ондуляції геоїда (рис.1) можуть бути обчислені за формулою

$$dN = \theta ds \quad (3)$$

Профіль геоїда будується за результатами вимірювань на станціях спостережень. Для визначення точності побудови профілю прийнято, що кутовій величині в  $1''$  на відстані 1км відповідає дуга довжиною близько 5мм. Тоді за значенням віддалі між суміжними станціями спостережень та величиною складової відхилень прямовисної лінії  $\theta$  можна обчислити одиничний приріст ондуляції геоїда:

$$\sigma dN = 5\text{мм} \cdot \frac{ds[\text{М}]}{1000[\text{М}]} \cdot \frac{\sigma\theta["]}{1["]} \quad (4)$$

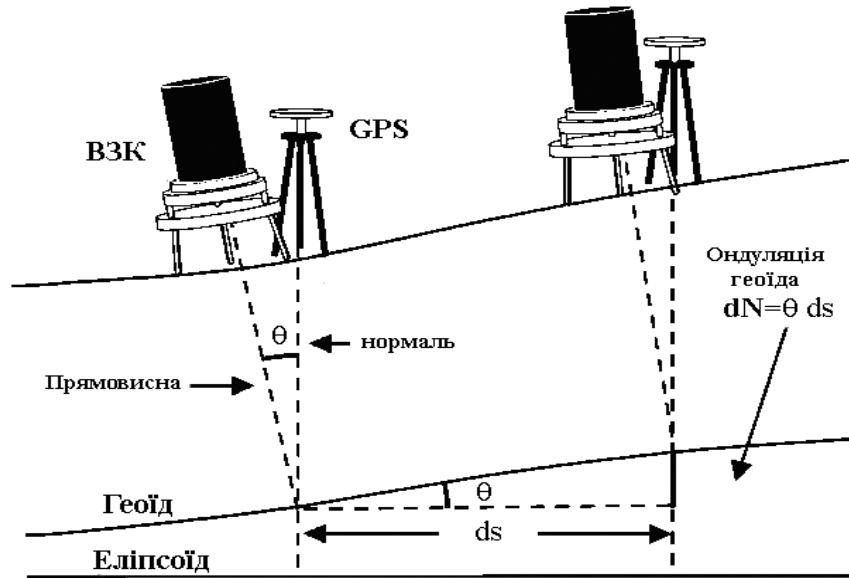


Рис. 1. Методика визначення геоїда

Автором виконана спроба створити модель вимірювань за допомогою високоточної зенітної цифрової камери з метою встановлення кореляційних зв'язків між основними факторами впливу на точність одержання результатів вимірювань.

Основними факторами впливу є:

- чутливість фіксації положення зірки з допомогою ПЗЗ матриці -  $\Delta_s$ ;
  - положення зображення мітки Зеніта на ПЗЗ матриці -  $\Delta_z$ ;
  - точність вимірювання часу -  $\Delta_t$ ;
  - кривизна траєкторії зірки -  $\Delta_k$ ;
  - орієнтування ВЗК за азимутом -  $\Delta_A$ ;
  - зміщення ПЗЗ матриці вздовж осі -  $\Delta_f$ ;
  - нахил матриці відносно фокальної площини -  $\Delta_v$ ;
- Точність вимірювань можна визначити за формулою:

$$\Delta^2(x) = \Delta_s^2 + \Delta_f^2 + \Delta_v^2 + \Delta_z^2 + \Delta_t^2 + \Delta_k^2 + \Delta_A^2 \quad (5)$$

Процес  $X(m_0)$  залежить від похибок вище перелічених факторів, відповідно  $m_0$  буде сукупна похибка від впливу у корельованій системі для кожного сформованого і стабілізованого процесу рівняння (5). Її можна представити квадратним рівнянням регресії виду:

$$m_0^2 = Am_s^2 + Bm_f^2 + Cm_v^2 + Dm_z^2 + Em_t^2 + Fm_k^2 + Gm_A^2 + \lambda + 2r_{s,f}m_s m_f +$$



$$\begin{aligned}
& +2r_{s,v} m_s m_v + 2r_{s,z} m_s m_z + 2r_{s,t} m_s m_t + 2r_{s,k} m_s m_k + 2r_{s,A} m_s m_A + 2r_{f,v} m_f m_v + \\
& + 2r_{f,z} m_f m_z + 2r_{f,t} m_f m_t + 2r_{f,k} m_f m_k + 2r_{f,A} m_f m_A + 2r_{v,z} m_v m_z + 2r_{v,t} m_v m_t + \\
& + 2r_{v,k} m_v m_k + 2r_{v,A} m_v m_A + 2r_{z,t} m_z m_t + 2r_{z,k} m_z m_k + 2r_{z,A} m_z m_A + 2r_{t,k} m_t m_k + \\
& + 2r_{t,A} m_t m_A + 2r_{k,A} m_k m_A,
\end{aligned}$$

(6)

де А, В, С, D, E, F, G – коефіцієнти рівняння регресії;

$\lambda$  – сумарна систематична похибка;

$r_{i,j}$  – коефіцієнт кореляції між факторами  $i$  та  $j$ .

Це рівняння регресії є гіпереліпсоїд у просторі семи факторів. Для того, щоб одержати будь-який однозначний розв'язок цього рівняння необхідно, виразити похибки усіх факторів через будь-який один із них, і знайти коефіцієнт співвідношення між ними.

Для правильного визначення всіх параметрів, які входять у рівняння (6) необхідно обчислити матрицю коефіцієнтів кореляції і на її основі зробити висновок про взаємозв'язки факторів між собою і впливи їх на результуючу похибку  $m_0$ .

Розглянувши можливі кореляційні залежності, приходимо до висновку, що існують такі зв'язки між факторами  $m_s$  і  $m_f$ ,  $m_s$  і  $m_t$ ,  $m_v$  і  $m_k$ ,  $m_z$  і  $m_k$ ,  $m_z$  і  $m_A$ , і враховуючи, що методика симетричних вимірювань вилучає систематичні похибки, рівняння (6) набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
m_0^2 = & Am_s^2 + Bm_f^2 + Cm_v^2 + Dm_z^2 + Em_t^2 + Fm_k^2 + Gm_A^2 + 2r_{s,f}m_s m_f + \\
& + 2r_{s,t} m_s m_t + 2r_{v,k} m_v m_k + 2r_{z,k} m_z m_k + 2r_{z,A} m_z m_A
\end{aligned} \quad (7)$$

При обчисленні кореляційної матриці були виявлені такі зв'язки:

	$m_0$	$m_s$	$m_f$	$m_v$	$m_z$	$m_t$	$m_k$	$m_A$
$m_0$	+1.00	+0.55	+0.48	+0.54	+0.69	+0.61	+0.44	+0.38
$m_s$		+1.00	+0.85	+0.09	-0.11	-0.45	+0.01	+0.05
$m_f$			+1.00	0	+0.07	+0.04	-0.03	+0.02
$m_v$				+1.00	+0.11	-0.04	+0.47	-0.06
$m_z$					+1.00	+0.05	+0.43	+0.33
$m_t$						+1.00	+0.01	-0.02
$m_k$							+1.00	0
$m_A$								+1.00

(8)

З урахуванням одержаних коефіцієнтів кореляції рівняння регресії (7) набуде виду:

$$\begin{aligned}
m_0^2 = & 0.131m_s^2 + 1,323m_f^2 + 1.031m_v^2 + 2.600m_z^2 + 2.977m_t^2 - 2.938m_k^2 - \\
& - 2.554m_A^2 + 1.700m_s m_f - 0.900m_s m_t + 0.940m_v m_k + 0.860m_z m_k + 0.660m_z m_A
\end{aligned} \quad (9)$$

Із рівняння (9) видно, що максимальний вплив на точність визначення астрономічних координат мають:- похибка визначення часу спостереження

$m_t$  та похибка визначення мітки zenіту  $m_z$ . Мінімальний вплив на точність визначення має чутливість ПЗЗ-матриці.

Сучасні засоби вимірювання часу дозволяють гарантовано визначати його значення з точністю до 0,005с. Тому прийmemo похибку визначення часу в кутовій мірі  $m_t=0,075''$ .

Якщо прийняти за умови рівного впливу значення решти похибок рівною 0,15'', і підставити в рівняння (9), значення середньої квадратичної похибки визначення астрономічних координат становитиме  $m_0=0,28''$ . У відповідності з “Інструкцією по побудові державної геодезичної мережі” точність визначення астрономічних координат становить 0,3'' для широти і, відповідно, для довготи 0,45''.

Точність визначення відхилень прямовисних ліній може бути визначена за формулою:

$$m_y^2 = m_a^2 + m_z^2 \quad (10)$$

де  $m_a$  — похибка визначення астрономічних координат ВЗК;

$m_z$  — геодезичних координат GPS.

$m_y$  — похибка визначення відхилень прямовисних ліній.

Розглянемо основні складові похибки  $m_a$ :

– похибка, яка визначається роздільною здатністю системи ВЗК, при цьому задня фокусна відстань об’єктива і діаметр об’єктива ВЗК обмежені вимогами мінімальної ваги габаритів ВЗК як польової переносної апаратури, наприклад,  $f_{об.} = 1000$  мм,  $D_{об.} = 90$  мм. Враховуючи сказане на основі попередніх досліджень, можна прийняти значення похибки через нечутливість системи ВЗК  $-m_1=0,2''$ ;

– похибка через можливі коливання поверхні рідини блока “мітки zenіта” при наявності мікровібрацій, яку прийmemo  $-m_2 = 0,1''$ ;

– похибка через втрату інформації при обробці даних вимірювань (нестабільність електронних пристроїв, округлення значень і т. п.) –  $m_3 = 0,1''$ ;

– можлива деформація оптичних деталей при зміні температури в процесі циклу вимірювання -  $m_4 = 0,1''$ ;

– похибка коливань осей ВЗК відносно горизонту в процесі вимірювань -  $m_5 = 0,2''$ ;

– можливі відхилення вертикальної лінії ВЗК через негоризонтальність повітряних шарів тропосфери  $-m_6 = 0,1''$ ;

– залишкова нечутливість рідинного дзеркала  $m_7 = 0,1''$ .

Враховуючи наведений орієнтовний розподіл похибок при роботі з ВЗК, отримаємо значення

$$m_a = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^7 m_i^2} = \sqrt{0,04+0,01+0,01+0,01+0,04+0,01+0,01} = \pm 0,36'' \quad (11)$$

На точність визначення координат за допомогою високоточної zenітної камери (ВЗК) впливають похибки, пов’язані з елементами конструкції камери та методики виконання робіт. Опрацювання практичного варіанту

камери показало, що в цьому випадку основними факторами, які впливають на точність визначення координат, є:

- чутливість фіксації положення зірки за допомогою ПЗЗ-матриці;
- орієнтування ПЗЗ-матриці відносно оптичної осі ВЗК;
- положення зображення мітки зеніта на ПЗЗ-матриці;
- точність вимірювання часу;
- кривина траєкторії зірки;
- орієнтування ВЗК по азимуту.

При рівному впливові кожної із похибок можна прийняти, що середня квадратична похибка кожного джерела згідно формули (11) не повинна перевищувати значення:

$$m_i = \frac{m_a}{\sqrt{n}} = \frac{0.36''}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

Враховуючи, що орієнтація ПЗЗ-матриці містить:

- зміщення матриці вздовж осі;
- нахил матриці відносно фокальної площини,

то будемо мати всього 7 основних джерел похибок, які впливають на точність визначень:

Тоді із формули (12) отримаємо висновок, що в кутовій мірі кожна із складових похибок не повинна перевищувати  $m_i=0,14''$ , що в лінійній мірі складе

$$m_s = m_i \frac{F_{об}}{\rho} = 0,7 \text{ мкм}, \quad (13)$$

де  $F_{об}$  – фокусна відстань об'єктива ВЗК, рівна 1000 мм..

Вище приведені теоретичні дослідження показують можливість досягнення точності визначення координат переносною зенітною камерою не гірше  $0.36''$ . Подальше підвищення точності можливе при використанні більшої за 1000 мм фокусної віддалі ВЗК, більш складної електронної техніки та штативів, що призведе до збільшення ваги та габаритів апаратури.

На основі наведених вище теоретичних досліджень розроблено схемне рішення високоточної зенітної камери (рис.2), в якому застосовано ряд оригінальних технічних рішень, які дозволяють підвищити роздільну здатність та точність вимірювань.

За інформацією фірм-виробників GPS-обладнання точність визначення планових координат пунктів на земній поверхні одночастотними C/A-кодними GPS-приймачами в автономному режимі становить 3-6 метрів.

. Тоді середня квадратична похибка визначення геодезичних координат  $B$  і  $L$  в кутовій мірі можна визначити згідно виразу:

$$m_{B,L} = \frac{m}{R} \rho'', \quad (14)$$

де  $R$  – середній радіус Землі;  $\rho$  -  $206265''$ ;  $m$  – СКП визначення координат за допомогою GPS у лінійній мірі. Для  $m = 6\text{м}$ ,  $R = 6371000\text{ м}$  з формули (14)

отримаємо  $m_{B,L} = 0,2''$ , відповідно, для  $m = 3\text{м}$  величина похибки  $m_{B,L}$  становитиме  $0,1''$ .

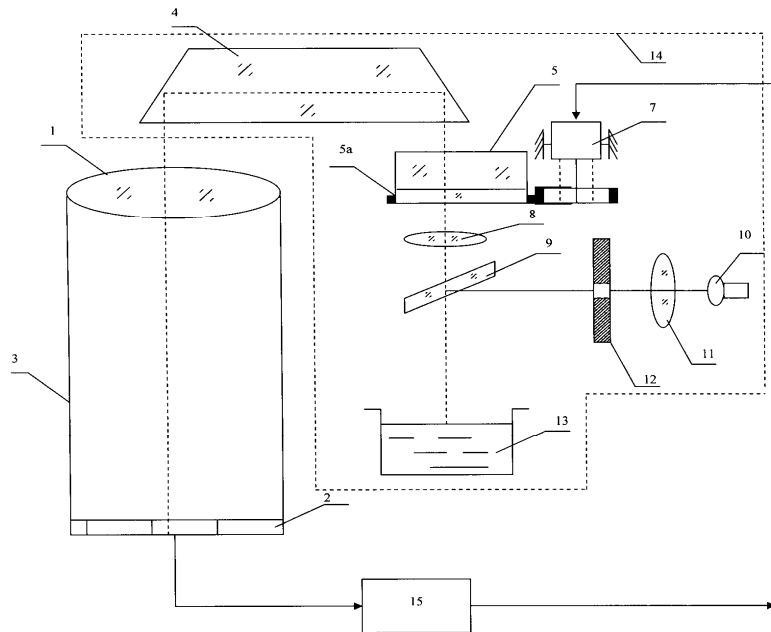


Рис. 2. Будова вдосконаленої цифрової зенітної камери

1- зенітний об'єктив; 2- фото аналізатор (ПЗЗ-матриця); 3- корпус; 4- трипель-призма; 5- оптичний клин; 6- оправа; 7- механізм повороту; 8- об'єктив; 9- напівпрозора пластинка; 10- лазерний світло діод; 11- конденсор; 12- щілинна діафрагма; 13- масляний горизонт; 14-корпус ЗФК; 15- електронний блок керування та обробки інформації.

В кінцевому варіанті середні квадратичні похибки складових відхилень прямої в точці спостереження  $\xi$  і  $\eta$ , які обчислюють за відомими формулами

$$m_{\xi} = \sqrt{m_{\varphi}^2 + m_B^2} = 0,34'' \qquad m_{\eta} = \sqrt{m_{\lambda}^2 + m_L^2 \cos \varphi} = 0,35''$$

при значеннях  $m_B = 0,2''$  і  $m_L = \frac{0,2''}{\cos \varphi} = 0,33''$  не будуть перевищувати величину  $0,36''$ . При використанні диференціального режиму з двома приймачами точність визначення геодезичних координат значно зростає:  $m = 0,005\text{м}$  і  $m_{B,L} = 0,0002''$ .

Прокладання астрономо-геодезичних ходів, що складається із серії визначень відхилень прямої фактично є нівелюванням поверхні геоїда. В процесі роботи передбачалось що прокладений по профільній лінії астрономо-геодезичний хід включає  $n$  точок визначень при відстані  $\ell$  між точками (рис.3).

При цьому прийнято, що нормаль до прямої, яка з'єднує дві сусідні точки є середнє значення складових відхилень виска в профільній площині для цих точок. Тоді похибка визначення такої нормалі буде дорівнювати:

$$m = m'' \sqrt{2} = 0.50'' \quad (15)$$

де  $m''$  – СКП визначення відхилень прямовисних ліній.

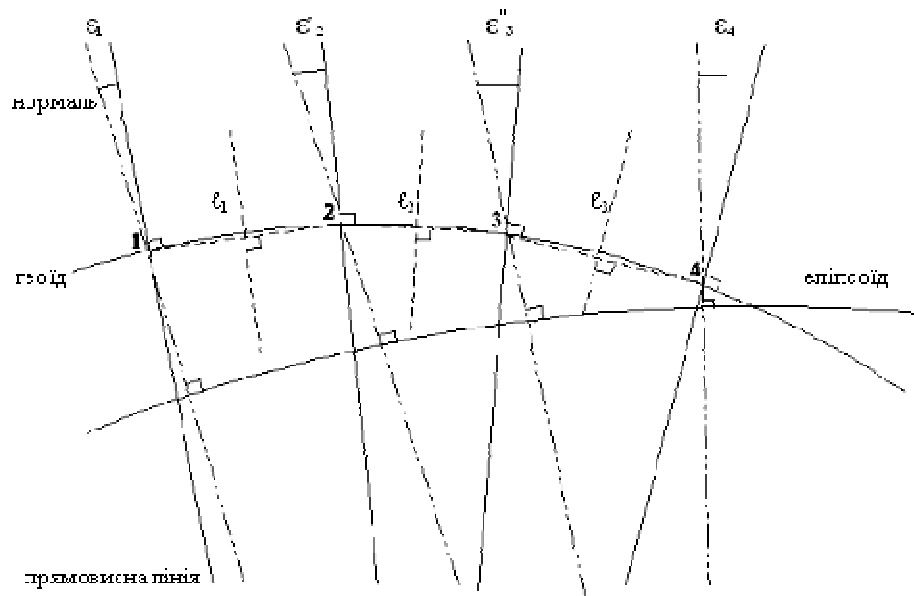


Рис. 3 Прокладання астрономо-геодезичного ходу

Зрозуміло, що багатокутник, утворений безперервним ланцюжком таких відрізків прямих ліній, які з'єднують точки визначення відхилення виска, описують профіль поверхні геоїда.

Похибка нівелювання геоїда між сусідніми точками буде дорівнювати:

$$m_1 = \frac{m''}{\rho''} \sqrt{2} \cdot \ell = 3,42 \text{ мм} \quad (16)$$

а СКП похибки ходу для  $n$  точок дорівнює:

$$m_n = m_1 \cdot \sqrt{n} = 10,8 \text{ мм} \quad (17)$$

Якщо прийняти значення  $\ell = 1 \text{ км}$ , а  $n = 10$ ,  $m'' = 0,36''$ , отримаємо точність визначення поверхні геоїда  $m_n = 10,8 \text{ мм}$ .

В розділі розглянуті принципи формування алгоритму побудови моделі профілю геоїда на локальну територію.

Модель поверхні геоїда містить планову та висотну складову, які формуються окремо.

*Алгоритм формування планової складової геоїда (ПСГ)*

ПСГ – являє собою множину, елементами якої є інформація про координати профілю ( $I_g$ ) і правила його обробки ( $\Pi_e$ ), що дозволяє з необхідною точністю відтворити ситуацію

$$\Pi_e = \{N_{nk} \cap \Pi_k\},$$

де  $\Pi_k$  - правила порядку з'єднання пікетів.

Таким чином, складовими частинами моделі є:

$$I_g = \{X, Y\}$$

В подальшому для профілю геоїда формується ланцюг координат пікетів за відповідними номерами. Процес побудови моделі продовжується доти, доки не будуть використані всі пікети.

В кінцевому виді модель ситуації має наступний вигляд:

$$M = \{(X, Y)_{11}, P_1), ((X, Y)_{12}, P_1), \dots, ((X, Y)_{1s}, P_1); \\ ((X, Y)_{21}, P_2), ((X, Y)_{22}, P_2), \dots, ((X, Y)_{2b}, P_2), \\ ((X, Y)_{g1}, P_g), ((X, Y)_{g2}, P_g), \dots, ((X, Y)_{g2}, P_g)\}, \quad (18)$$

де  $P \in P_g$  – сукупність команд по відтворенню певного типу побудови.

*Алгоритм формування висотної складової геоїда (ВСГ)*

Розглядаючи модель висотної складової геоїда (ВСГ) як частини трьохвимірного простору ( $R^3$ ), можна уточнити поняття моделі з точки зору топології. Модель висотної складової в метричному просторі являє собою множину  $T = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$  точок  $t_i \in R^3$ , що характеризується метрикою  $\rho(t_j, t_k)$  обчисленою за формулою

$$\rho(t_j, t_k) = \sqrt{(X_k - X_j)^2 + (Y_k - Y_j)^2 + (H_k - H_j)^2},$$

де  $X, Y, H$  - координати тих точок, індекси яких збігаються з індексами координат і задовольняють умові:  $F[X_i, Y_i, H_i(X_i, Y_i)] = 0$

Таким чином тип моделі висотної складової залежить від виду функції  $H_i(X_i, Y_i)$ , який може бути суттєво різним. Зокрема, можуть бути використані поліноми будь-якої степені, мультикватратичні рівняння, сплайни і т.п.

При використанні поліномів більш зручні поліноми другої степені. Це дозволяє:

- апроксимувати поверхню за невеликою кількістю опорних точок, що є суттєвим фактором при проведенні наземних польових вимірювань;
- усунути невизначеність поведінки функції між опорними точками;
- виконати оцінку точності апроксимації.

Використання мультикватратичних рівнянь без поділу структурними лініями на ділянки тільки в рівнинних районах дає позитивні результати. Тому для обробки складних поверхонь необхідно притримуватися методики апроксимації поверхні аналогічно кусково-поліномній.

***У третьому розділі ” Експериментальні дослідження точності спільного використання високоточної зенітної камери та GPS-приймача ” наведені результати проведення натурних вимірювань на Гніденцівському нафтоконденсатному родовищі Чернігівської області.***

Метою експерименту було дослідити точність визначення астрономічних координат і відхилень прямовисних ліній за допомогою комплексу переносної апаратури в складі високоточної зенітної камери, розробленої авторами [5] та двох GPS- приймачів ProMark 2 фірми „Ashtech Solutions”, а також дослідити можливість використання комплексу при розвідці нафтогазоносних родовищ.

З метою визначення точності відхилень прямовисних ліній спостереження здійснювалися на пункті триангуляції 1 класу Любимівка,1. Спостереження

здійснювалися на протязі трьох ночей з циклом по чотири прийоми. Результати спостережень представлені в таблиці 1.

Таблиця.1

Результати польових спостережень

Дата	Номер зірки	Геодезична широта, $B$	Геодезична довгота, $L$	Астрономічна широта, $\varphi$	Астрономічна довгота, $\lambda$	$\varepsilon''$	$\eta''$	$\nu''_{\varepsilon}$	$\nu''_{\eta}$
20030418	553	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.15"	30°04'10.66"	3.29	1.62	0.11	0.39
20030418	83	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.24"	30°04'10.94"	3.20	1.34	0.20	0.11
20030418	83	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.08"	30°04'11.17"	3.36	1.11	0.04	0.12
20030418	40	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'14.99"	30°04'11.31"	3.45	0.97	0.05	0.26
20030419	40	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.02"	30°04'10.94"	3.42	1.34	0.02	0.11
20030419	476	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'14.97"	30°04'11.03"	3.47	1.25	0.07	0.02
20030419	476	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'14.79"	30°04'11.23"	3.65	1.05	0.05	0.18
20030419	553	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.08"	30°04'11.36"	3.36	0.92	0.04	0.31
20030420	553	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.06"	30°04'11.46"	3.38	0.82	0.02	0.41
20030420	553	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.06"	30°04'10.66"	3.38	1.62	0.02	0.39
20030420	83	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'14.92"	30°04'10.92"	3.52	1.36	0.12	0.13
20030420	83	50°26'18.44"	30°04'12.28"	50°26'15.12"	30°04'10.92"	3.32	1.36	0.08	0.13
					<b>середнє</b>	<b>3.40</b>	<b>1.23</b>		

$$m_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[0.0808]}{11}} = \pm 0.09'' \quad m_{\eta} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[0.6043]}{11}} = \pm 0.23''$$

$$M_{\varepsilon} = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.09''}{\sqrt{12}} = \pm 0.03'' \quad M_{\eta} = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{0.23''}{\sqrt{12}} = \pm 0.07''$$

Максимальне коливання значень складових відхилення прямої висної лінії в площині меридіану склало 0,45", а в площині першого вертикалу - 0,80". На думку автора, значне коливання величини  $\eta$  пов'язано з температурними змінами в атмосфері, що характерно для весняної погоди. Проте середні квадратичні похибки із результатів вимірів знаходяться в межах допустимого.

З метою виявлення характеру поведінки відхилень прямої висних ліній були виконані вимірювання на нафтовому родовищі. Напрямо профілю було вибрано із заходу на схід. В середині профілю пункт спостережень № 8 був розташований поряд із свердловиною №18. Враховуючи дані геологічної розвідки, спостереження виконувалися як за межами родовища, так і в районі видобування.

За даними вимірювань на пунктах побудовано графік абсолютних значень відхилень прямої висних ліній (рис.4), векторний профіль горизонтальних градієнтів (рис.5) та профіль геоїда (рис.6) .

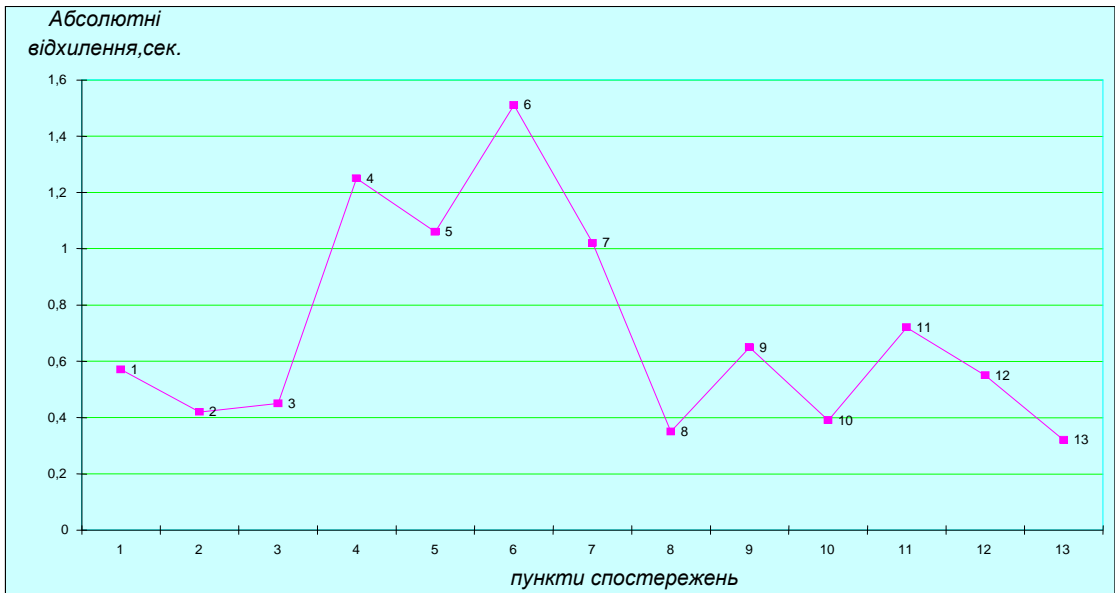


Рис. 4. Виміряні значення абсолютних відхилень прямовисних ліній.

На профілі (рис.6) прослідковується помітне пониження поверхні локального геоїда в районі пунктів 7,8 та 9, що вказує на залягання порід меншої щільності, ніж оточуючі.

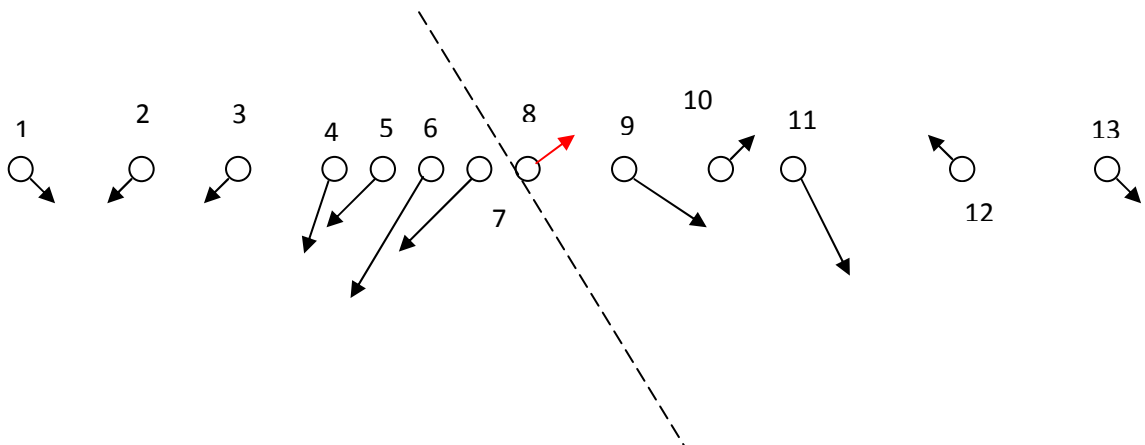


Рис. 5. Векторний профіль горизонтальних градієнтів



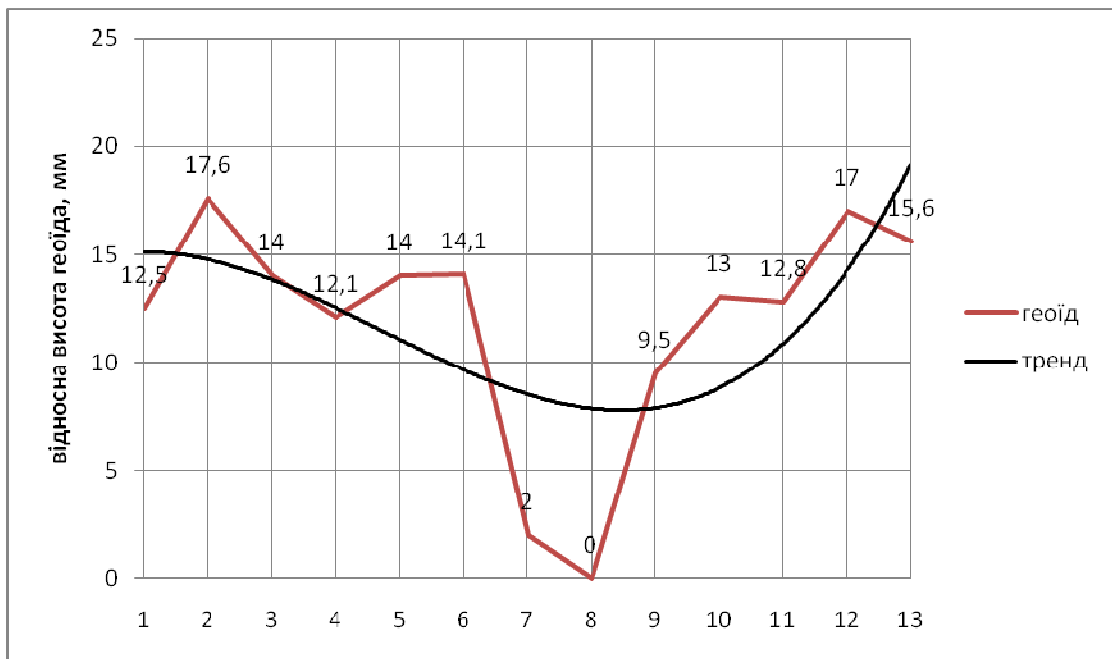


Рис. 6. Профіль геоїда та лінія тренда

## ВИСНОВКИ

У дисертації проведено теоретичне узагальнення та опрацьовано нове вирішення наукової задачі, що виявляється у підвищенні точності визначення відхилень прямовисних ліній та профілю локального геоїда.

Головними науковими і практичними результатами дисертаційної роботи є:

1. Розроблено і теоретично обґрунтовано новий метод визначення абсолютних відхилень прямовисних ліній, в основу якого покладені геометричні принципи на відміну від фізичних методів розв'язку даної задачі. Особливостями методу є використання високоточної зенітної камери та засобів GPS, що дозволило підвищити точність вимірювань за рахунок використання оригінальних схемних рішень конструкції ВЗК.

2. Запропоновано і обґрунтовано за точністю схемні рішення нової високоточної зенітної камери з використанням сучасної елементної бази, що дозволяє реалізувати новий метод визначення відхилень прямовисних ліній. Новизна технічного рішення підтверджена деклараційним патентом на винахід.

3. Створена модель вимірювань за допомогою високоточної зенітної камери дозволила встановити кореляційні зв'язки між основними факторами впливу на точність одержання результатів вимірювання. Встановлено, що максимальний вплив на точність визначення астрономічних координат мають: - похибка визначення часу спостережень та похибка визначення мітки зеніту. Мінімальний вплив має чутливість ПЗЗ-матриці.

4. Розроблено алгоритм формування профілю геоїда на локальну територію.

5. Проведені теоретичні дослідження точності методики підтверджені результатами експериментальних досліджень, які свідчать про близькість

одержаних результатів до теоретичних розрахунків і відсутність суттєвих помилок.

6. Визначення відхилень прямовисних ліній за допомогою переносного комплексу ВЗК та GPS- приймача за новою методикою є зручним і компактним засобом пошуку нафтогазоносних родовищ та їх обстеження, що є важливою державною та науково-технічною проблемою України.

7. Предметом подальших досліджень є впровадження та розроблення цифрових зенітних камер для визначення поверхні локального геоїда в режимі реального часу .

### **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Бурачек В.Г. Вдосконалення методики астрономо-гравіметричного нівелювання / Бурачек В.Г., Гончаренко О.С., Греку Р.Х. // Інженерна геодезія.- Київ ,2000,-Вип. 42.- С.25-28.

2. Гончаренко О.С. Короткохвильові ондуляції геоїда і необхідність їх вивчення астрономо-геодезичними та гравіметричними засобами / Гончаренко О.С., Вітенко В.Я. // Інженерна геодезія.- Київ, 2002. -Вип. 48.-С. 83-88.

3. Гончаренко О.С. Ефективність визначення вискових ліній за допомогою засобів GPS і високоточної зенітної камери / Гончаренко О.С. // Інженерна геодезія.- Київ, 2003.-Вип. 49.-С. 68-72.

4. Гончаренко О.С. Зенітна камера / Гончаренко О.С. // Інженерна геодезія.- Київ, 2004.-Вип. 50.-С. 46-50.

5. Деклараційний патент на винахід UA 63575 А, МКИ G02B17/00. Пристрій для спостереження зірок в зеніті / Боровий В.О., Бурачек В.Г., Гончаренко О.С., Карпінський Ю.О (Україна).-№ 2003054111; заявл.06.05.2003; опубл.- 15.01.2004, Бюл. № 1.

6. Гончаренко О.С. Врахування редукації GPS- антени під час вимірювань за допомогою високоточної зенітної камери / Гончаренко О.С. // Інженерна геодезія. – Київ, 2005. -Вип. 51. С. 95-97.

7. Гончаренко О.С. Дослідження елементів моделі вимірювань високоточною цифровою зенітною камерою / Гончаренко О.С., Гладілін В.М. // Інженерна геодезія, Київ, 2006.- Вип.52.С.45-50.

8. Гончаренко О.С. Можливість використання астрономо-геодезичних і супутникових засобів для пошуку корисних копалин / Гончаренко О.С., Денисюк Б.І // Інженерна геодезія. – Київ, 2008.- Вип. 54. С.51-54.

9. Гончаренко О.С. Високоточне визначення профілю локального геоїда за допомогою цифрової зенітної камери та засобів GPS / Гончаренко О.С.// Інженерна геодезія. Київ, 2011-. Вип. 57. С. 10-14.

### **АНОТАЦІЯ**

Гончаренко О.С. Вдосконалення астрономо-геодезичних методів визначення поверхні локального геоїда. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. – Київський національний університет будівництва і архітектури МОНмолодьспорту України, м. Київ, 2013.

Розроблено і теоретично обґрунтовано новий метод визначення відхилень прямовисних ліній та поверхні геоїда, особливостями якого є використання високоточної зенітної камери та супутникових засобів, що дозволило підвищити точність вимірювань за рахунок використання оригінальних технічних рішень конструкції ВЗК.

Результати експериментальних досліджень підтвердили правильність теоретичних положень та підвищення точності визначення відхилень прямовисних ліній.

*Ключові слова: відхилення прямовисної лінії, геоїд, високоточна зенітна камера, засоби GPS.*

## АННОТАЦИЯ

Гончаренко А.С. Усовершенствование астрономо-геодезических методов определения поверхности локального геоида. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 - геодезия, фотограмметрия и картография. - Киевский национальный университет строительства и архитектуры МОНмолодежьспорт Украины, Киев, 2013.

Разработан и теоретически обоснован новый метод определения уклонений отвесных линий. Особенности метода является использование высокоточной зенитной камеры и средств GPS, что позволило повысить точность измерений за счет оригинальных технических решений конструкции ВЗК. Новизна технического решения подтверждена декларационным патентом на изобретение.

Разработано теоретическую основу и методику определения астрономических координат при помощи ВЗК. Выполнены теоретические исследования факторов влияния на измерения зенитной камерой. Проведенные теоретические исследования точности методики подтверждены результатами экспериментальных исследований, которые свидетельствуют о близости полученных результатов к теоретическим расчетам и отсутствию существенных ошибок.

Разработки и исследования автора нашли практическое применение при выполнении астрономо-геодезических работ на производстве.

*Ключевые слова: уклонение отвесной линии, геоїд, высокоточная зенитная камера, средства GPS.*

## ABSTRACT

Goncharenko O.S. Improvement of astronomic-geodesic methods of determination of surface of local geoid. - Manuscript.

Ph.D. thesis by specialty 05.24.01 - geodesy, photogrammetry and cartography. - Kyiv National University of Construction and Architecture of MESYSU, Kyiv, 2013.

The methods and means for determine plumb lines deflection have been developed. Author has suggested and theoretically substantiated new method, the features of which are the use of high-fidelity zenithal camera and facilities of GPS.

That allowed promoting exactness of measuring due to the use of original technical decisions of construction of zenithal camera.

The results of experimental researches confirmed the rightness of theoretical positions and increase of exactness of determinations of plumb lines deflection.

Investigation of author found introduction in astronomic and geodesic determinations on a production.

*Keywords: plumb line deflection, geoid, high-fidelity zenithal camera, facilities of GPS.*