



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 11 • № 2 • 2015 С. 127 – 134

УДК 528.3

Використання високоточної зенітної камери для визначення відхилень виска на нафтогазових родовищах

В.М. Гладілін*, І.О. Міскевич, Ю.С. Сліпко

Національний авіаційний університет

Розглянуто особливості практичного застосування матричних приймачів випромінювання в якості реєстраторів інформації для визначення координат точкових зображень зірок. Визначення координат за допомогою ВЗК і відхилення виска, побудова поверхні геоїда за профілем. На профілі знайдено місце розходження векторів (градієнтів) сили тяжести, що вказує на присутність речовини, яка має меншу густину ніж оточуючі пласти земної кори.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ ЗЕНИТНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОТВЕСА НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ, Гладилін В.Н., Мискевич И.О., Слипко Ю.С. — Рассмотрены особенности практического применения матричных приемников излучения в качестве регистраторов информации для определения координат точечных изображений звезд. Определение координат с помощью ВЗК и отклонения отвеса, построение поверхности геоида по профилю. На профиле найдено место расхождения векторов (градиентов) силы тяжести, что указывает на присутствие вещества, имеющего меньшую плотность, чем окружающие пласты земной коры.

USING A HIGH-PRECISION ZENITH CAMERA FOR THE DETERMINATION OF THE PLUMB DEVIATIONS AT OIL-AND-GAS DEPOSITS, by Gladilin V.N., Miskevich I.O., Slipko Yu.S. — Features of the practical using of the matrix receivers of radiation as information recorders to determine the coordinates of point star images. A determination of the coordinates using the high-precision zenith camera and plumb deviation are used for the construction of the geoid surface by the profile. The location of a difference of the vectors (gradient) of gravity on the profiles indicates the presence of a substance that has a lower density than the surrounding layers of the crust.

Ключевые слова: ПЗЗ-матрица; отклонения отвесных линий; точечный источник излучения; матричный приемник излучения.

Key words: CCD matrix; plumb line deviations; point radiation source; matrix radiation detector.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогоднішній момент, не зважаючи на широке впровадження в геодезичне виробництво сучасних технологій глобальних навігаційних систем спостережень (ГНСС) та ін., визначення астрономічного азимута, а в ряді випадків і астрономічних координат, традиційними методами геодезичної астрономії є актуальною задачею. Засоби і апаратура визначення астрономічного азимута достатньо складні, обмежені в оперативності, що потребує їх автоматизації і переходу на якісно нові методи спостережень із застосуванням найновішої техніки, що відповідає рівню високоточних вимірювань.

Підвищення точності в більш широкому плані необхідне для розв'язку цілого комплексу задач геодинаміки, геодезичного забезпечення спеціальних робіт, космічних досліджень, тощо. Наприклад, для редукування результатів траєкторії вимірювань із топоцентричної інструментальної в зоряну (інерціальну) систему координат необхідна автоматизація процесу спостереження зірок і базисних напрямків.

2. ОГЛЯД ОСТАННІХ ПУБЛІКАЦІЙ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

За аналізом закордонних публікацій можна стверджувати, що існує чітка тенденція активного використання матричних приймачів випромінювання (МПВ) та методу відео вимірювань з метою використання в геодезичній астрономії (визначення відхилень прямовисних ліній) [1], визначення профілю локального геоїда за допомогою високоточної зенітної камери (ВЗК) та засобів GPS [3]. Однак відсутній єдиний підхід в розв'язку ряду задач, наприклад, які прилади [4] і методи слід ефективніше застосовувати на практиці. Відсутні рекомендації щодо використання методів із застосуванням портативних засобів спостережень. На сьогодні немає єдиних відомостей про досягнуту точність результатів.

В ході проведеного огляду були виявлені загальні характеристики МПВ. Застосування МПВ відкриває нові можливості (в порівнянні із застосуванням фотоелектронних помножувачів) в геодезичній астрономії, а саме:

* Гладілін Валерій Миколайович; ✉ valeriy.gladilin.55@mail.ru

- визначення координат зображень точкових джерел випромінювання (ТДВ) і кутів в полі зору об'єктиву без застосування механічних мікрометрів;
- визначення координат і азимутів рухомих зірок;
- виконання калібрування МПВ безпосередньо в польових умовах в процесі спостережень;
- визначення відхилень вискових ліній.

3. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Основою методу відео вимірювань є аналіз електричного сигналу, що надходить до МПВ в результаті світлової енергії. Матричне оброблення зображень актуальне під час розв'язку задач у ряді технічних вимірювальних комплексів: геодезичних, астрометричних, навігаційних, де необхідна точність визначення координат в площині аналізу на рівні десятих часток розміру пікселя.

Вихідним параметром визначення положення ТДВ є розподіл світлової енергії в зображенні, побудованому оптичною системою. Після дискретизації і квантування сигналу вихідне зображення буде представлено у вигляді двовимірної матриці цілих чисел (пропорційне сумарному зарядові, накопиченому в окремому пікселі). Під час визначення положення координат зображення використовується набір дискретних величин, розташованих на сітці з постійним інтервалом.

Для визначення точності астрономічних координат за допомогою ВЗК було використано п'ять пунктів геодезичної мережі (в тому числі один пункт триангуляції 1 класу АГМ-1). Астрономічні координати пунктів були визначені по зенітній віддалі та часу кульмінації зірки, що проходить поблизу зеніту.

Зірки, за якими виконувалися спостереження, були підібрані за значенням схилення зірки та широти місця $\delta \approx \varphi \approx 50^\circ 25'$. Параметри зірок наведені в табл. 1.

При виборі робочих зірок враховувалася спектральна чутливість ПЗЗ-матриці, яка підвищується зі збільшенням довжини хвилі. Перевага надавалася червоним, оранжевим та жовтим зіркам. Спектральна характеристика ПЗЗ-матриці наведена на рис. 1.

Еталонування ВЗК здійснювалося на пункті АГМ 1 класу з відомими астрономічними та геодезичними координатами. Спостереження зірок здійснювалося чотирма прийомами. Орієнтування ВЗК в площині меридіану було здійснено з точністю $\pm 15''$. Напрямок істинного меридіану був попередньо визначений гіротеодолітом Gi-B2.

В таблицях 2 та 3 наведені результати та оцінка точності вимірювань геодезичної широти B і довготи L у кутових секундах.

Знайдемо середню квадратичну похибку визначення астрономічних координат з одного прийому спостережень:

$$m_A = \sqrt{m_B^2 + m_L^2} = \sqrt{0,23^2 + 0,27^2} = \pm 0,35''.$$

Обчислена середня квадратична похибка m_A визначення астрономічних координат з одного прийому свідчить про близькість одержаних результатів до теоретичних розрахунків і відсутність суттєвих похибок.

Таблиця 1

№ зірки по Астрономічному щорічнику	Зоряна величина	Спектральний тип зірки	Схилення зірки δ	Пряме сходження α
83	1,8	K5	$49^\circ 50'$	3 год. 24 хв.
476	4,5	F5	$50^\circ 12'$	19 год. 36 хв.
553	3,7	АО	$50^\circ 15'$	22 год. 31 хв.
40	4,1	ВО	$50^\circ 39'$	1 год. 43 хв.

Таблиця 2

№ прийому	Значення астрономічної широти, B''	V''	V^2
1	19,28	+0,125	0,015325
2	19,16	+0,005	0,000025
3	18,83	-0,325	0,105625
4	19,35	+0,195	0,038025
	$B = 19,155$	[0,0]	[0,1593]

Таблиця 3

№ прийому	Значення астрономічної довготи, L''	V''	V^2
1	47,56	+0,10	0,01
2	47,79	+0,33	0,1089
3	47,21	-0,25	0,0625
4	47,28	-0,18	0,0324
	$L = 47,46$	[0,0]	[0,2138]

$$m_B = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[0,1593]}{4-1}} = \pm 0,23'',$$

$$M = \frac{m_B}{\sqrt{n}} = \frac{0,23''}{\sqrt{4}} = \pm 0,115''.$$

$$m_L = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[0,2138]}{4-1}} = \pm 0,27'',$$

$$M = \frac{m_L}{\sqrt{n}} = \frac{0,27''}{\sqrt{4}} = \pm 0,13''.$$

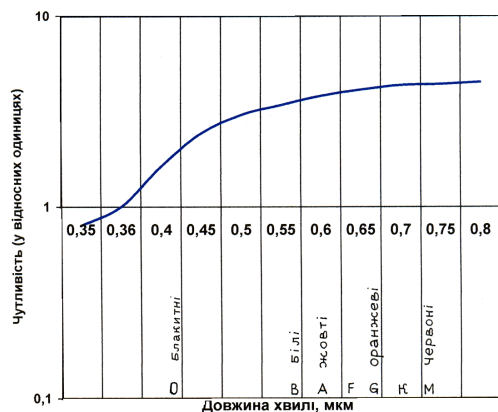


Рис. 1. Спектральна чутливість ПЗЗ-матриці

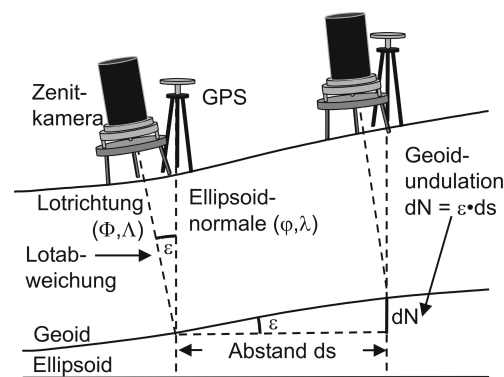


Рис. 2. Сумісне розміщення ВЗК та GPS приймача

Оцінка точності вимірювання астрономічних координат виконана варіаційно-зваженим методом [5], що дало змогу визначити не тільки середню квадратичну похибку та вагу кожної багаторазово виміряної величини, але і виключити систематичну похибку із варіаційно-зваженого результату.

Суть варіаційно-зваженої попередньої обробки польових вимірювань полягає в тому, що ваги результатів ряду вимірювань величини в першому наближенні приймаються рівними одиниці і статистичні характеристики визначаються за формулами

$$\bar{X} = \frac{[x_i]}{n}, \quad m^2 = \frac{[v_i^2]}{n-1}, \quad \overline{m^2} = \frac{m^2}{n}. \quad (1)$$

Ці характеристики дозволяють визначити ваги вимірювань за однією із формул:

$$P_i = \frac{m^2}{v_i^2 + m^2} \quad \text{або} \quad P_i = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} = \exp\left(-\frac{v_i^2}{2m^2}\right) \quad (2)$$

і приступити до обчислень статистичних характеристик ряду у другому наближенні за формулами:

$$\bar{X} = \frac{[x_i P_i]}{[P_i]}, \quad m^2 = \frac{[P_i v_i^2]}{n-1}, \quad \overline{m^2} = \frac{m^2}{P_i}. \quad (3)$$

Наступні наближення виконують аналогічно до другого до повної збіжності статистичних характеристик \bar{X} , m і \overline{m} .

Таким чином, якщо результати польових вимірювань попередньо будуть оброблені варіаційно-зваженим методом, то систематичні похибки із середніх будуть виключені.

Для перевірки ефективності нової методики визначення відхилень вискових ліній було створено перший експериментальний полігон за схемою, наведеною на рис. 2.

На всіх пунктах, в тому числі і вихідному, були виконані астрономічні спостереження за допомогою ВЗК, а також проведені GPS-спостереження. В середньому час вимірювань становив близько однієї години на пункті. Тривалість GPS-сесії — 45–60 хв. Вимірювання виконувалися двома приймачами ProMark 2 фірми “Ashtech Solution” в статичному режимі, обладнання розташовувалось, як вказано на рис. 2.

При одночасному визначенні астрономічних і глобальних координат за допомогою спільної конструкції, що складається з високоточної зенітної цифрової камери та GPS-приймача як єдиного блоку, виникає проблема центрування GPS антени над точкою вимірювання.

Конструктивно антену GPS-приймача неможливо відцентрувати над об'єктивом ВЗК або під ним: у першому випадку неможлива фіксація положення зірок, а у другому — виникають завади на шляху проходження сигналів від ШСЗ до антени, що не забезпечує оптимальний рівень PDOP. Антена закріплюється на певній віддалі b від вертикальної осі обертання моноблоку зенітної камери. Отже, виникає редуційна проблема приведення фізичного центру GPS-антени до центру місця встановлення зенітної камери. Так як поворот моноблоку з антеною здійснюється навколо точки K , то геометрична відстань від осі обертання до фізичного центру GPS-антени як у першому, так і другому положеннях будуть однакові і дорівнюють величині b . Для спрощення розглянемо положення центру антени в прямокутній системі координат у двовимірному просторі. У першому положенні антени будуть визначені планові складові точки A (X_A, Y_A). При повороті моноблоку на 180° , що здійснюється для зменшення помилки ексцентриситету, будуть визначені координати точки B (X_B, Y_B). Координати точки зеніту K можуть бути обчислені як точка перетину двох прямих AK та BK за відомими формулами.

Висоти пунктів 1, 2, 3, 4 були визначені із нівелювання II класу і прив'язані до системи нормальних висот. Нівелювання виконано нівеліром із самовстановлюваною лінією візування. За результатами геометричного та GPS-нівелювання побудовано профіль геоїда з уточненням за матеріалами гравіметричної



Рис. 3. Профіль геоїда

зйомки (рис. 3).

З метою виявлення факторів впливу на точність визначення положення зображення ТДВ зірок можуть бути використані відомі методи визначення координат зображення:

- метод центра ваги — визначення значень середніх координат;
- метод апроксимації функції розсіювання точки (визначення максимуму функції розсіювання точки, що описує вихідне зображення точкового джерела випромінювання);
- метод медіани — визначення координат за умови рівності енергій (площ) ліворуч і праворуч від положення центру зображень;
- рівневий метод полягає в розбитті вихідного сигналу на рівні, знаходженні середніх значень координат для кожного із рівнів з подальшим вибором оптимального значення координат.

Для дослідження похибок, що виникають під час визначення положення зображення ТДВ, в якості вихідної одновимірної моделі розподілу світлової енергії використовувалась функція [2]

$$y(x) = A \exp(-x^2)$$

або її спрощений вид:

$$y(x) = A \cos^2(Bx),$$

де B — константа, що залежить від довжини світлової хвилі, фокусної відстані ВЗК і діаметра вхідного отвору об'єктиву; A — амплітуда сигналу; x — координата в площині аналізу.

Дискретний за координатою x сигнал, одержаний з комірок МПВ, розраховувався як значення інтегральних сум:

$$f(x) = \frac{1}{\Delta x} \int_{x_i}^{x_{i+1}} y(x) dx = \frac{A[(2Bx_{i+1} - 2Bx_i)] + \sin(2Bx_{i+1}) - \sin(2Bx_i)}{4B\Delta x},$$

де $y(x)$ — функція розподілу світлової енергії зображення; $\Delta = x_{i+1} - x_i$ — розмір пікселя; x_i, x_{i+1} — координати границь i -го пікселя; i — порядковий номер пікселя.

Різниця $y(x_i) - f(x_i) = \delta y(x_i)$ є похибкою дискретизації, яка повинна мінімізуватися у квадратичній метриці, тобто $\delta y^2(x_i) \rightarrow \min$.

Для попередніх розрахунків розглянуто частковий випадок: вихідна функція (енергія зображення ТДВ) розподілена на три елементи МПВ. Її максимум знаходиться в середині центрального елемента.

Симетрія $f(x_i)$ відносно максимуму функції $y(x)$ розподілу світлової енергії зображення при зміщенні результату в різних методах обробки сигналу може бути різна. Вказаний вплив був розглянутий для кожного методу обробки.

Встановлено, що мінімальну похибку визначення на модельних сигналах дає метод центра ваги, решта методів дають похибку, що не перевищує $\sim 0,1$ величини розміру пікселя, що в кутовій мірі для високоточної зенітної камери [4] з $f = 1000$ мм та $D = 70$ мм не буде перевищувати $0,1''$.

Основним рівнянням GPS-нівелювання визначено:

$$N = h_{\text{GPS}} - H_{\text{орт}}, \quad (4)$$

де h_{GPS} геодезична висота отримана з GPS-спостережень; $H_{\text{орт}}$ — ортометрична висота.

Висоту квазігеоїда було визначено за наступною формулою:

$$\zeta = h_{\text{GPS}} - H_{\text{норм}},$$

де $H_{\text{норм}}$ — нормальна висота.

Для обчислення ондуляцій геоїда використано співвідношення

$$N = \zeta + \frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\bar{\gamma}} H_{\text{орт}}, \quad (5)$$

де \bar{g} , $\bar{\gamma}$ — середні значення відповідно дійсної і нормальної сили ваги між поверхнею геоїда та довільною точкою на земній поверхні для \bar{g} , та між еліпсоїдом та поверхнею квазігеоїда для $\bar{\gamma}$.

Практично значення \bar{g} знайти неможливо. Heiskanen and Moritz довели, що

$$\frac{\bar{g} - \bar{\gamma}}{\bar{\gamma}} \approx \frac{\Delta g_B}{\bar{\gamma}} H_{\text{орт}}, \quad (6)$$

де Δg_B — аномалія Буге.

З урахуванням (5) вираз (6) можна записати у вигляді

$$N = \zeta + \frac{\Delta g_B}{\bar{\gamma}} H_{\text{орт}},$$

Невідоме значення ортометричної висоти в слабкоаномальних районах може бути замінене на нормальну висоту.

В цілому технологія GPS-нівелювання є досить простим способом отримання висот геоїда (квазігеоїда) на задану територію шляхом безпосереднього порівняння геодезичної та нормальної (або) ортометричної висот.

Практичне використання GPS-методу при виконанні нівелірних робіт вимагає вирішення проблеми переходу від системи геодезичних (глобальних) висот (система WGS-84) до нормальних висот (редукції до Балтійської системи 1977 р.). Оскільки поверхні загальноземного еліпсоїда і квазігеоїда не паралельні і не рівні по висоті, то для визначення параметрів редукції глобальних висот на поверхні необхідно мати в районі робіт систему опорних реперів, висоти яких визначені в обох системах.

Позначимо ці висоти відповідно G і H , а редукційну поправку до першої — через V . Тоді рівняння редукції глобальних висот до нормальних матиме вигляд:

$$G_i + V_i = H_i. \quad (7)$$

Припустимо, що для опорних точок отримано висоти $G_1, G_2, \dots, G_k, \dots, G_r$ і $H_1, H_2, \dots, H_k, \dots, H_r$, де r — кількість опорних реперів. Приймемо також, що один із опорних реперів є вихідним з висотами відносно G_0 і H_0 . Тоді, згідно з (7), запишемо

$$H_k = H_0 + V_k + h_k = G_k + V_k + (H_0 - G_0), \quad (8)$$

де h_k — перевищення k -го опорного пункту над вихідним; V_k — редукційна поправка у глобальну висоту (в міліметрах), яку згідно з рис. 4 представимо залежністю

$$V_k = S_k \sin \varepsilon_k \approx \frac{S_k}{\rho} \varepsilon_k, \quad (9)$$

де ε_k — кут між рівневими поверхнями; $\rho = 206265''$, S_k — відстань в мм.

Нехай ε_0 — максимальне значення цього кута, який знаходиться в одній площині з дирекційним кутом α_0 . Тоді для довільної опорної точки (вихідний репер — опорний репер з дирекційним кутом α_k запишемо:

$$V_k = \frac{S_k}{\rho} \varepsilon_0 \cos(\alpha_k - \alpha_0) = \frac{S_k}{\rho} \varepsilon_0 (\cos \alpha_k \cos \alpha_0 + \sin \alpha_k \sin \alpha_0). \quad (10)$$

Позначимо:

$$\varepsilon_0 \cos \alpha_0 = \varepsilon_x, \quad \varepsilon_0 \sin \alpha_0 = \varepsilon_y, \quad (11)$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ — проекції кута ε_0 на осі абсцис і ординат системи координат.

Тоді

$$V_k = \frac{S_k}{\rho} \varepsilon_x \cos \alpha_k + \frac{S_k}{\rho} \varepsilon_y \sin \alpha_k. \quad (12)$$

Позначивши

$$\frac{S_k}{\rho} \cos \alpha_k = a_k, \quad \frac{S_k}{\rho} \sin \alpha_k = b_k, \quad (13)$$

одержимо вираз для редукційної поправки:

$$V_k = a_k \varepsilon_x + b_k \varepsilon_y, \quad (14)$$

яку візьмемо як базову для визначення кутів ε_x і ε_y із рівнянь поправок:

$$a_k \varepsilon_0 + b_k \varepsilon_y - l_k = \delta_k, \quad l_k = (H_k - G_k) - (H_0 - G_0). \quad (15)$$

Розв'язуючи систему рівнянь за методом найменших квадратів, тобто при умові $[p\delta\delta] = \min$, знайдемо величини $\varepsilon_x, \varepsilon_y$, а потім

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2}, \quad \alpha_0 = \arctg \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}. \quad (16)$$

Після розв'язку системи нормальних рівнянь було одержано:

$$\varepsilon_x = 1,4121'', \quad \varepsilon_y = -5,2934'', \quad \varepsilon_0 = 5,4785'', \quad \alpha_0 = 284^\circ 56'.$$

На рис. 5 наведені виміряні аномалії сили тяжіння, а на рис. 6 — абсолютні відхилення вискових ліній на пунктах спостережень.

На рис. 7 представлено зведені графіки аномалій сили ваги, відносних відхилень вискових ліній та поверхні геоїда.

Як видно із рис. 7, зміна абсолютних відхилень вискових ліній відбувається більш динамічно, ніж зміна аномалій сили ваги, тобто відхилення виска реагує більш різко на зміну поверхні геоїда.

Зазвичай, результати спостережень виражають графічно на картах векторів градієнта сили тяжіння, векторів різної кривини рівневої поверхні, ізоаномал (ліній рівних значень аномалії сили тяжіння), а також на профілях градієнта, кривини і аномалії сили тяжіння вздовж певного напрямку на місцевості. Початком вектора служить точка спостереження, його кінець позначається стрілкою. Масштаб векторів вибирається в залежності від масштабу карти і величини аномалій градієнта в даному районі.

Профіль горизонтального градієнта, кривин і аномалій сили тяжіння будують для напрямків, найбільш цікавих з точки зору розв'язку геологічної розвідки. Найчастіше ці напрями вибирають впоперек простягання обстежуваної геологічної структури (складки, пласта і т.п.) або через середину короткого замкнутого об'єкта (купола, штока і т.п.).

Порівняння результатів вимірювань з геологічними даними дозволило встановити ряд залежностей між величиною аномалії сили тяжіння і геологічною будовою області, що підлягає вивченню. Ці залежності особливо проявляються, якщо користуватися аномаліями тільки у вільному повітрі. Насамперед

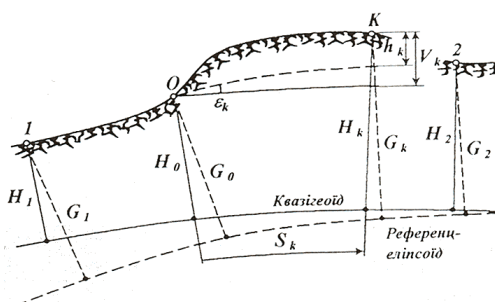


Рис. 4. Схема приведення глобальних висот до нормальних



Рис. 5. Виміряні аномалії сили ваги на пунктах

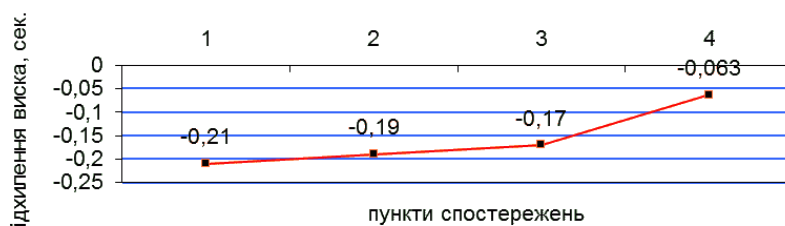


Рис. 6. Абсолютні відхилення вискових ліній на пунктах спостереження

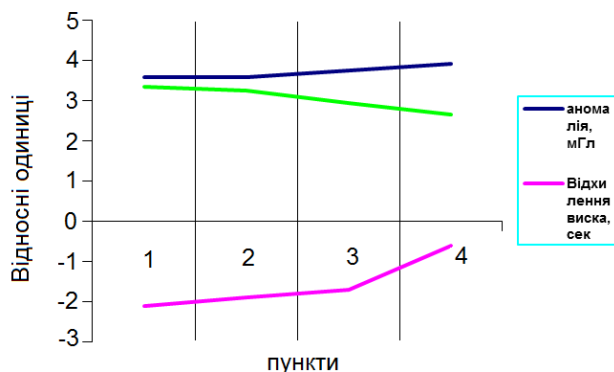


Рис. 7. Профілі гравіметричної поверхні, геоїда та абсолютні відхилення вискових ліній на пунктах спостереження

Таблиця 4

№ пунктів	Аномалія Δg , мГл	Відхилення виска в меридіані, ε''	Відхилення виска в першому вертикалі, η''	Абсолютне відхилення виска, $\theta'' = \varepsilon \cos A + \eta \sin A$	Азимут горизонтального градієнта сили ваги, A
1	+36,0	+0,06	-0,21	-0,21	105°
2	+35,8	+0,02	-0,20	-0,19	104°
3	+37,5	+0,04	-0,17	-0,17	104°
4	+39,2	+0,03	-0,05	-0,06	127°

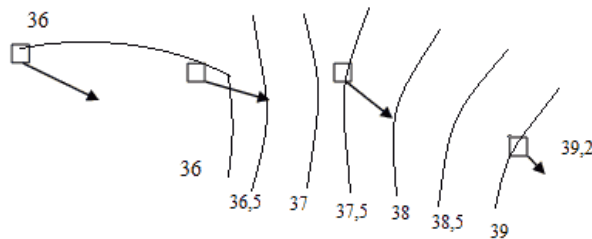


Рис. 8. Вектори горизонтальних градієнтів сили ваги

Виміряні значення відхилень виска по профілю

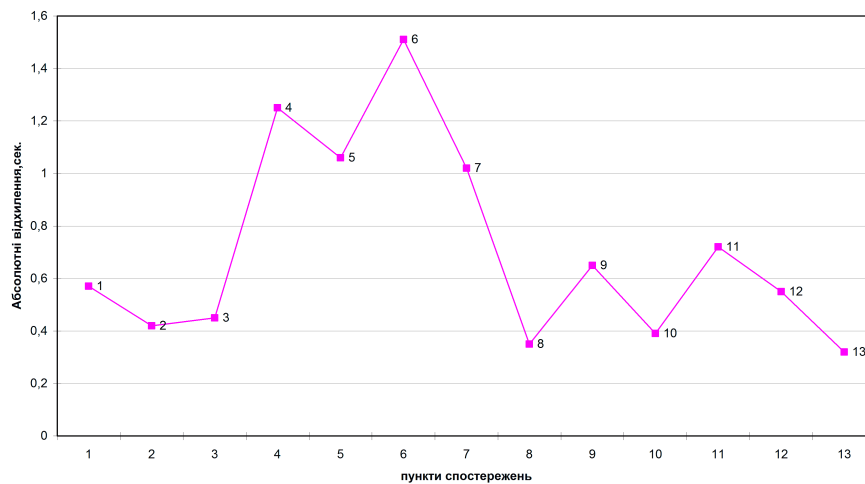


Рис. 9. Виміряні значення абсолютних відхилень вискових ліній

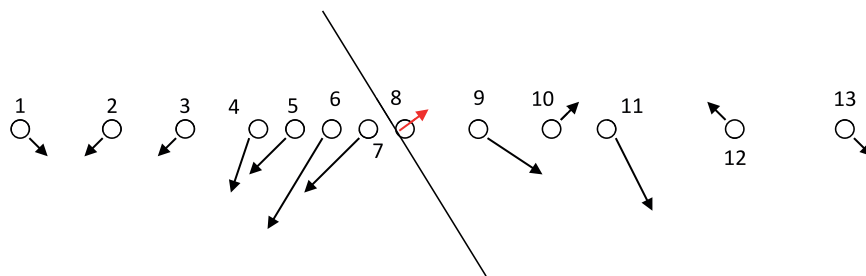


Рис. 10. Вектори горизонтальних градієнтів за профілем

звертають на себе увагу від'ємні аномалії — глибока депресія в районах, багатих нафтовими родовищами. Ці аномалії обумовлені глибоким зануренням кристалічних порід і заповненням цієї впадини легкими осадовими утвореннями.

За значеннями відхилень вискових ліній в площинах меридіану та першого вертикалу були обчислені азимуту градієнтів сили ваги $\frac{\partial \Delta g}{\partial S}$ та абсолютні відхилення вискових ліній θ . Дані приведені в табл. 4.

За обчисленими значеннями абсолютних відхилень та азимутами побудовано профіль горизонтальних градієнтів сили ваги $\frac{\partial g}{\partial S}$ (рис. 8). Напрямок векторів узгоджується з даними гравіметричної зйомки.

Якщо розглядати ізольовану точку земної поверхні, то спостережуване на ній збурення сили тяжіння з рівними правами може бути приписане дії далекої і великої або близької і малої маси, і ці можливості між собою невід'ємні. Але якщо є розподіл ваги у вигляді градієнтів або аномалій $g - \gamma_0$ на деякому

полі, то гострота картини дає певну вказівку на глибину, а також на потужність збурюючих мас. Глибокі маси при рівній максимальній зміні сили тяжіння дадуть, очевидно, лише повільне зростання і спадання і широку картину аномалій, в той час коли близькі маси виявлять швидкий ріст і падіння та гострий, вузький розподіл аномалій.

Гradientи віддалені від центра малі і направлені зовні — це дія самого середовища, яке має глибокі корені і густину меншу, ніж оточуючі породи.

Для виявлення характеру залягання мас і їх конфігурації є важливим встановити місця, де сила тяжіння має максимум або мінімум. Похідна $\frac{\partial g}{\partial S}$ в місцях максимуму та мінімуму проходить через нуль. Маючи криву, яка відображає хід цієї останньої функції, можна з великою впевненістю визначати точки, в яких крива перетинає вісь абсцис, тобто функція перетворюється в нуль.

Часто буває, що аномалія тягнеться смугою. В такому випадку збурюючі маси розповсюджуються в напрямку аномалії, маючи в різних місцях приблизно однаковий поперечний переріз, тобто маси, грубо кажучи, мають вигляд призми або циліндра. Найбільш типові випадки, коли притягувальні маси мають переріз у формі кола, еліпса, прямокутника, трапеції і т.п., вивчені з математичної точки зору і відомий розподіл похідних на поверхні, який вони викликають. Маючи картину спостереження, можна підібрати найбільш близьку теоретичну модель.

З метою виявлення характеру поведінки відхилень вискових ліній були виконані вимірювання на нафтовому родовищі. Напрямок профілю було вибрано із заходу на схід. В середині профілю пункт спостережень №8 (рис. 9, 10) був розташований поряд з буровою свердловиною №18, де нафта добувається з глибини 2341 м. 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 вискових ліній (рис. 9) та векторний профіль горизонтальних gradientів (рис. 10).

Нанесення gradientів у вигляді векторів виявляє напрямок, в якому швидше всього збільшується сила тяжіння і в якому можна очікувати розташування притягувальних мас. Якщо вектори розходяться із деякої області, то це вказує на присутність тут речовини з густиною, яка менша від оточуючих частин земної кори. На рис. 10 між пунктами №7 та №8 вектори gradientів розходяться в протилежні боки і вказують на існування скидової лінії, яка дуже легко прослідковується за допомогою гравіметричних спостережень.

4. ВИСНОВКИ

Перехід від візуальних до оптико-електронних методів спостережень є перспективним, що дозволяє підвищити рівень автоматизації та вдосконаленню існуючих та розробленням нових методів астрономо-геодезичних спостережень. Метод із використанням на базі МПВ, завдяки своїм конструктивним особливостям апаратури, дозволяє підвищити точність вимірювань за допомогою ВЗК та GPS спостережень для визначення профілю поверхні геоїда.

Виконані експериментальні дослідження ВЗК підтвердили теоретичні розрахунки, зокрема точність визначення астрономічних m_d координат не перевищує 0,35. Визначення відхилень вискових ліній за допомогою переносного комплексу ВЗК та GPS-приймача є зручним і компактним засобом вимірювань.

Пошук нафтогазоносних родовищ та їх обстеження є важливою науково-технічною проблемою, пов'язаною із господарським потенціалом України, має суттєву соціальну значимість. Сьогодні найбільш поширеними для пошуку нафтогазоносних родовищ є гравіметричні методи та буріння розвідувальних свердловин. Застосування запропонованих технологій вишукування нафтогазоносних родовищ значно знизить обсяги і кошторис робіт і підвищить ефективність досліджень.

1. Hirt C. und Bürki B. (2002). The Digital Zenith Camera — A New High-Precision and Economic Astrogeodetic Observation System for Real-Time Measurement of Deflections of the Vertical // Proceed. of the 3rd Meeting of the International Gravity and Geoid Commission of the International Association of Geodesy, Thessaloniki (ed. I.Tziavos): 161–166.
2. Брагин А.А. Исследование способов определения координат центра изображения точечного источника излучения // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2009. — № 5. — С.73–80.
3. Гончаренко О.С. Високоточне визначення профілю локального геоїда за допомогою цифрової зенітної камери та засобів GPS // Інженерна геодезія. — Вип.57. — К.: КНУБА, 2011. — С.10–14.
4. Декларативний патент та 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.
5. Чмчян Н.Т. Варіаційно-зважена апроксимація результатів динамічних спостережень // Вісник геодезії та картографії. — 2000. — №3(18). — С.13–14.

Надійшла до редакції 13.11.2015

Прийнята до друку 10.12.2015