

УДК 528.72/73

## ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ЗНІМАННЯ

**В. Глотов, В. Макаревич, М. Наводич, О. Тумська**

Національний університет "Львівська політехніка"

**Ключові слова:** програмне забезпечення, цифрове знімання.

### Постановка завдання

Розвиток сучасних інформаційних засобів розширює можливості застосування цифрових неметричних камер у різних галузях науки та техніки. Потреба у такому обладнанні балансує сьогодні на межі з економічністю та технологічною доступністю. Однак основний вітчизняний продукт який застосовується для орієнтування наземних цифрових зображень "Models", не повністю відповідає вимогам власне наземного цифрового знімання. Це стосується насамперед прямої та оберненої фотограмметричної засічки як для поодиноких знімків, так і для стереопари. Зокрема, для реалізації прямої засічки необхідно вводити координати центральних точок для лівого та правого знімків, що під час наземного знімання є зайвим. Стосовно оберненої засічки існують нерозв'язані задачі, пов'язані з впливом кореляційних зв'язків між елементами зовнішнього і внутрішнього орієнтування, та особливості точнісних характеристик наземних фотограмметричних вимірювань.

Отже, актуальним завданням є розроблення алгоритму і складання та апробація програмного забезпечення, яке могло би задовольнити потреби не тільки навчального процесу, а і виробництва.

### Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

Як вже зазначалося, у наземному зніманні сьогодні відбувається технологічний підйом. Неметричні цифрові камери все більше застосовують для розв'язання задач, які пов'язані із дистанційним зондуванням. Не буде перебільшенням сказати, що їхня потужність зростає дуже активно, для прикладу, роздільна здатність цифрової камери фірми Hasselblad сягає вже 60 млн. пікселів. А з іншого боку, собівартість цифрових неметричних камер значно менша, ніж їхніх метричних аналогів.

Однак для активного застосування вищевказаних камер необхідне відповідне програмне забезпечення, яке могло би компенсувати та автоматизувати деякі технологічні процеси під час оброблення зображень та визначення координат точок досліджуваних об'єктів. По-перше, це стосується визначення координат опорних точок геодезичними методами (наприклад, прямою геодезичною засічкою), тобто встановлення оперативного зв'язку із електронним тахеометром або GPS-приймачем. По-друге, попіксельне врахування дисторсійних спотворень об'єктива; по-третє, врешті, точність та технологічність орієнтування наземних зображень.

Вирішивши ці нагальні проблеми, можна із впевненістю стверджувати, що наземне цифрове знімання буде застосовуватися у різних галузях економіки (в архітектурних обмірах, визначенні схилів процесів, військовій справі, медицині тощо).

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Сьогодні існують і активно розробляються дуже багато програмних продуктів для оброблення цифрових зображень, отриманих за допомогою аеро- та космічного знімання.

Розглянемо стисло деякі з них. Не варто зупинятися на аналізі програмного продукту Models, як добре відомого в Україні. Його можливості вже не раз аналізували автори [2-4].

У публікаціях [1, 6, 7] зосереджена увага на нових можливостях 3D-моделювання в ЦФС PHOTOMOD при реалізації прямої та оберненої фотограмметричних засічок. Однак цей програмний продукт не передбачає оброблення наземних цифрових знімків, отриманих неметричними камерами.

Фотограмметричний комплекс INPHO (Німеччина) [5]: підкреслюється гнучкість програмного продукту завдяки модульній структурі, яка найбільш відповідає завданням цифрової фотограмметрії. Особливістю системи є строге математичне моделювання та високий ступінь автоматизації для досягнення найвищої технологічності. Але ці всі модулі створено для оброблення аеро- та космічного знімання.

Компанія Visionmap розробила повний комплект для обробки результатів аерознімання АЗ [8]. Її автори стверджують, що система відповідає міжнародним стандартам та форматам; передбачає: копіювання знімків із супровідною інформацією; попередню обробку та перевірку результатів польоту; фототріангуляцію; перевірку результатів фототріангуляції та зовнішнє орієнтування за опорними точками; експортування великоформатних знімків для стереомалювання; розрахунок ЦМР; створення ортофотоплану та перевірка якості виконання робіт.

### Невирішені частини загальної проблеми

Однією з частин проблеми є відсутність автоматизованого та мобільного програмного забезпечення для оброблення зображень цифрового наземного знімання.

### Постановка завдання

Для повного й якісного застосування наземного цифрового знімання та застосування у ньому цифрових неметричних камер необхідно передовсім розробити відповідний комплекс програмного забезпечення для обробки цифрових зображень.

**Виклад основного матеріалу**

Розглянемо насамперед алгоритм запропонованого програмного забезпечення.

Обчислення кутів скосу:

$$\phi_n = \psi_n - 270^\circ \quad \phi_n = \psi_n - 270^\circ, \quad (1)$$

де  $\psi$  – кут, який відраховується від базису за годинниковою стрілкою до горизонтальної проекції оптичної осі.

2. Обчислення кутів  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} \alpha_n &= A + \phi_{n,n} - 90^\circ, \\ \alpha_n &= A + \psi_n - 2\pi \\ \alpha_n &= A + \psi_n - 2\pi \end{aligned} \quad (2)$$

де  $A$  – дирекційний кут базису знімання.

4. Значення геодезичних координат точок:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}^{\Gamma} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{S_n}^{\Gamma} + \begin{pmatrix} b_2 \\ a_2 \\ c_2 \end{pmatrix} + \frac{B_t}{P_t} \begin{pmatrix} f \\ x_{tn} \\ z_{tn} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

5. Координати вертикального знімка:

$$\begin{aligned} x_t &= f \frac{a_1 x + a_2 f + a_3 z}{b_1 x + b_2 f + b_3 z}, \\ z_t &= f \frac{c_1 x + c_2 f + c_3 z}{b_1 x + b_2 f + b_3 z}. \end{aligned} \quad (4)$$

6. Трансформований паралакс та компоненти базису:

$$\begin{aligned} p_t &= x_{tn} - x_m \\ B_t &= B_Y - \frac{x_m}{f} \cdot B_x, \\ B_x &= X_{S_n} - X_{S_n} + (b_{2n} - b_{2n}), \\ B_y &= Y_{S_n} - Y_{S_n} + (a_{2n} - a_{2n}). \end{aligned} \quad (5)$$

7. Для кожної точки лівого (правого) знімка складають рівняння:

$$\begin{aligned} &|d_1 \delta X_Q + d_2 \delta Y_Q + d_3 \delta Z_Q| + \\ &+ |d_4 \delta \alpha + d_5 \delta \omega + d_6 \delta \chi| - \\ &- |d_1 \delta X + d_2 \delta Y + d_3 \delta Z| + \\ &+ |d_7 \delta f + d_8 \delta x_0| + \left| \bar{x} - x \right| = v_x, \\ &|d'_1 \delta X_Q + d'_2 \delta Y_Q + d'_3 \delta Z_Q| + \\ &+ |d'_4 \delta \alpha + d'_5 \delta \omega + d'_6 \delta \chi| - \\ &- |d'_1 \delta X + d'_2 \delta Y + d'_3 \delta Z| + \\ &+ |d'_7 \delta f + d'_8 \delta x_0| + \left| \bar{z} - z \right| = v_z, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $d_1, d_2, \dots, d_9$  – часткові похідні, отримані з рівнянь (7) диференціюванням за відповідними змінними.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= f \frac{a_1 (X - X_S) + b_1 (Y - Y_S) + c_1 (Z - Z_S)}{a_2 (X - X_S) + b_2 (Y - Y_S) + c_2 (Z - Z_S)}; \\ \bar{z} &= f \frac{a_3 (X - X_S) + b_3 (Y - Y_S) + c_3 (Z - Z_S)}{a_2 (X - X_S) + b_2 (Y - Y_S) + c_2 (Z - Z_S)}; \end{aligned} \quad (7)$$

де  $x, z$  – вимірні координати;  $\bar{x}, \bar{z}$  – обчислені координати,  $a_i, b_i, c_i$  – напрямні косинуси.

Відповідно значення похідних матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial X_Q} = \frac{1}{R} (-a_1 f + a_2 \bar{x}), \\ d_2 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial Y_Q} = \frac{1}{R} (-b_1 f + b_2 \bar{x}), \\ d_3 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial Z_Q} = \frac{1}{R} (-c_1 f + c_2 \bar{x}), \\ d_4 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial \alpha} = -d_2 (X^\Gamma - X_Q) + d_1 (Y^\Gamma - Y_Q), \\ d_5 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial \omega} = -f \cdot \sin \chi + \bar{x} \left( \operatorname{tg} \omega - \frac{z^\Gamma - z_Q}{R \div \cos \omega} \right), \\ d_6 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial \chi} = \bar{x}, \\ d_7 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial f} = \frac{\bar{x}}{f}, \\ d_8 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial x_0} = 1, \\ d_9 &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial z_0} = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'_1 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial X_Q} = \frac{1}{R} (-a_3 f + a_2 \bar{z}), \\ d'_2 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial Y_Q} = \frac{1}{R} (-b_3 f + b_2 \bar{z}), \\ d'_3 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial Z_Q} = \frac{1}{R} (-c_3 f + c_2 \bar{z}), \\ d'_4 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial \alpha} = -d_2 (X^\Gamma - X_Q) + d_1 (Y^\Gamma - Y_Q), \\ d'_5 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial \omega} = -f \cdot \cos \chi + \bar{z} \left( \operatorname{tg} \omega - \frac{z^\Gamma - z_Q}{R \cdot \cos \omega} \right), \\ d'_6 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial \chi} = -\bar{x}, \\ d'_7 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial f} = \frac{\bar{z}}{f}, \\ d'_8 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial x_0} = 0, \\ d'_9 &= \frac{\partial \bar{z}}{\partial z_0} = 1. \end{aligned}$$

Отже, розв'язуючи систему рівнянь (6), отримаємо остаточні значення елементів зовнішнього орієнтування. Після цього за формулами (3)–(5) знайдемо координати точок об'єкта.

Безпосереднє програмне забезпечення складається з таких основних розподілено розташованих на комп'ютерах елементів:

- централізованої бази даних, побудованої на основі сервера СУБД Firebird 2.5 (може розташовуватись на будь-якому комп'ютері комплексу або на віддаленому комп'ютері);
- основним програмним елементом є клієнт-серверна програма під назвою DFS-1 (Digital photogrammetric station), що забезпечує:
- дистанційне наземне стереознімання об'єктів місцевості;
- виключення дисторсійних спотворень на знімках;
- спряження з програмним забезпеченням електронного тахеометра та виконання розрахунків прямої геодезичної засічки за одержаними з електронного тахеометра даними;
- зовнішнє орієнтування методом оберненої фотограмметричної засічки;
- оперативне визначення координат методом прямої фотограмметричної засічки.

Головне вікно програми показано на рис. 1. Воно розділено на три блоки. Перший блок у нормальному стані є прихованим, відображає інформацію про помилки та "нештатні ситуації" в роботі оператора. Другий у нормальному стані є також прихованим. Його можна відкрити вручну або автоматично під час надходження до відповідних, заданих у налаштуваннях програми тек, відеофрагментів подій. У цьому блоці оператор, натиснувши на кнопку "3", потрапляє до вікна вибору актуального відеокадру з пакета розкадрованого відеофрагмента події. Після вибору відеокадру потрапляє до програми суміщення знімка, отриманого з фотоапарата, і відеокадру, в якій на фотознімок наносяться помітки подій. Третій блок містить кнопки виклику програм, що за допомогою стереопари визначають координати подій.

Виконання усіх підготовчих завдань приховане в головному меню програми, яке складається із елементів, що відкривають модальні вікна налаштувань. Головне вікно, у якому зібрано основні елементи етапу підготовки, показано на рис. 2.

Для вибору налаштувань фотокамери або IP-камери використовують окреме вікно внутрішнього орієнтування камер (рис. 3). Для кожної відео- чи фотокамери у цьому вікні, окрім інших параметрів, задається шлях до файлу, що містить інформацію про дисторсійні спотворення зображень. Для того, щоб автоматизувати отримання цих файлів, використовується окрема форма, вікно якої зображене на рис. 4

У програмі передбачено декілька варіантів імпортування опорних точок до бази даних, зокрема варіант завантаження опорних точок безпосередньо з файлів електронного тахеометра (рис. 5).

Точки не тільки заносять до загальної таблиці, але й ще додатково отримують певні параметри, такі як ім'я, дата й час виконання геодезичних вимірювань, прив'язка до заданого фотограмметричного базису, а також вони можуть заводитись як координати базису.

Основне вікно, що розподіляє опорні точки між базисами, наведено на рис. 6.

Вікно дає змогу відфільтрувати із щойно введених чи уже наявних у базі опорних точок найхарактерніші

для здійснення оберненої фотограмметричної засічки. Можна також автоматично вибрати точки та переглянути їх розташування у деякій умовній системі координат, що прив'язана до фотограмметричного базису і розташована паралельно до середньостохастичної площини розташування точок (див. рис. 7).

Елементи зовнішнього, внутрішнього орієнтування, статистичні характеристики, а також відповідні елементи управління виведено на бокову панель вікна стереовізування, що дає змогу в комплексі виконувати як обернену, так і пряму фотограмметричну засічку

Для апробації роботоздатності програмного забезпечення виконано експериментально-дослідницькі роботи спочатку на лабораторному полігоні (рис. 9).

Знімання виконано цифровою неметричною камерою Canon Mark II, а координати опорних та контрольних точок визначено прямою геодезичною засічкою за допомогою електронного тахеометра. Відповідно відстань до об'єкта становила 10 м, базис знімання – 1,8 м,  $f = 70$  мм.

Орієнтування виконано за 9 опорними точками, розташованими за стандартною схемою; контроль здійснено за 11 контрольними точками. В результаті середні квадратичні похибки:  $m_x = 2,6$  мм,  $m_y = 23,1$  мм,  $m_z = 2,0$  мм.

Експериментально-виробничі випробування відбувалися на території Дубівської селищної ради Тячівського району Закарпатської області. Населений пункт Дубове (селище міського типу) розміщений на північному сході Тячівського району в гірському масиві області. Райцентр – місто Тячів.

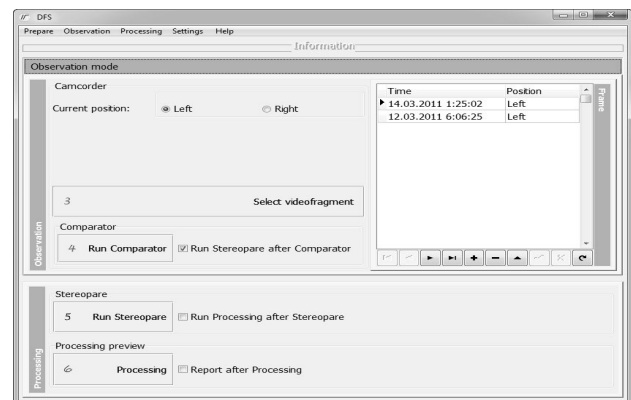


Рис. 1. Головне вікно програми

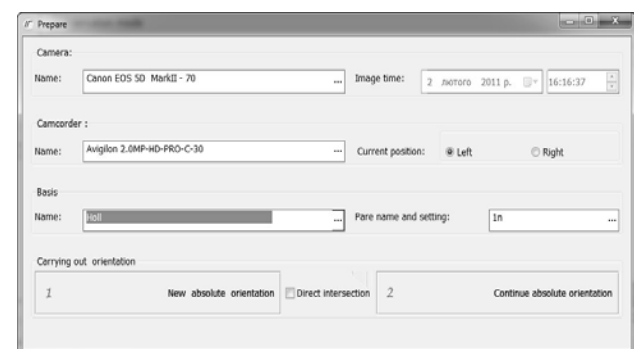


Рис. 2. Вікно для встановлення видів знімальної камери

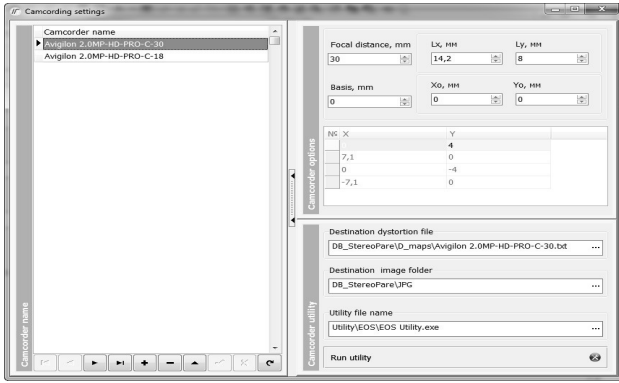


Рис. 3. Вікно налаштувань фотокамери або IP-камери

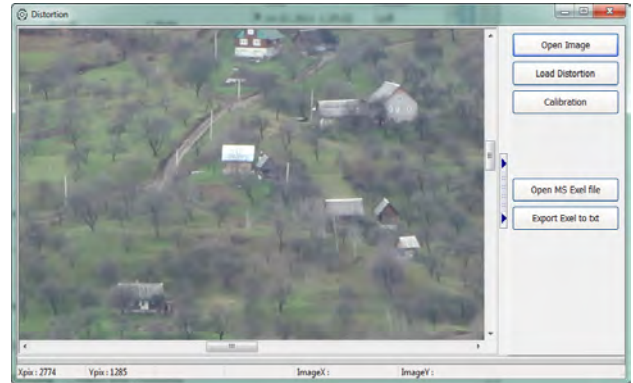


Рис. 4. Вікно врахування дисторсійних попіксельних спотворень цифрових зображень

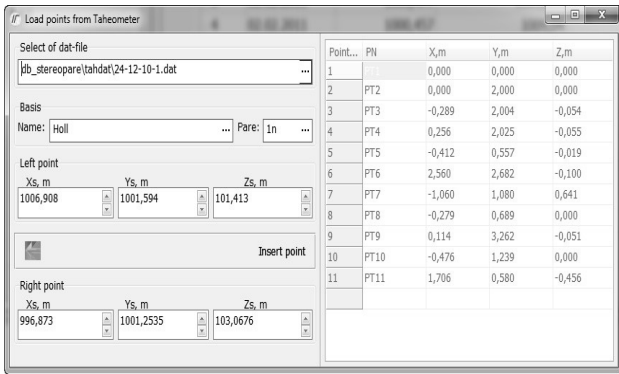


Рис. 5. Вікно для автоматичного введення виміряних значень з електронного тахеометра

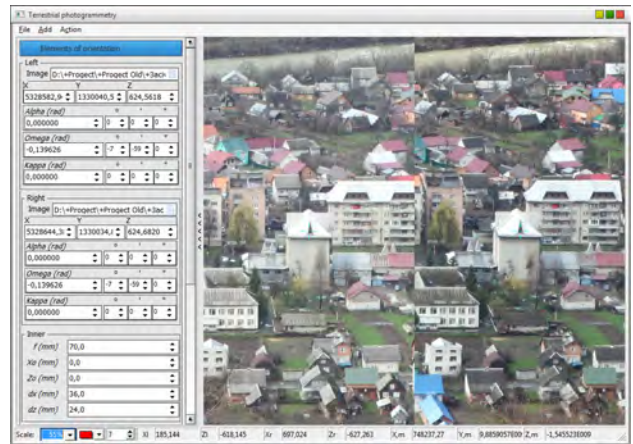


Рис. 8. Вікно встановлення ЕЗО цифрових зображень з використанням оберненої фотограмметричної засічки

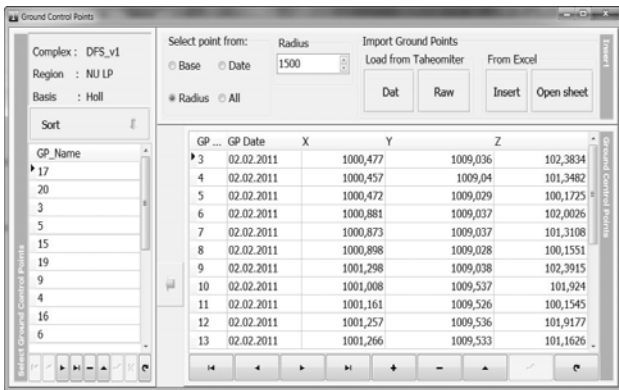


Рис. 6. Вікно вибору опорних точок за стандартною схемою та радіусом захоплення



Рис. 9. Загальний вигляд лабораторного полігона із маркованими точками

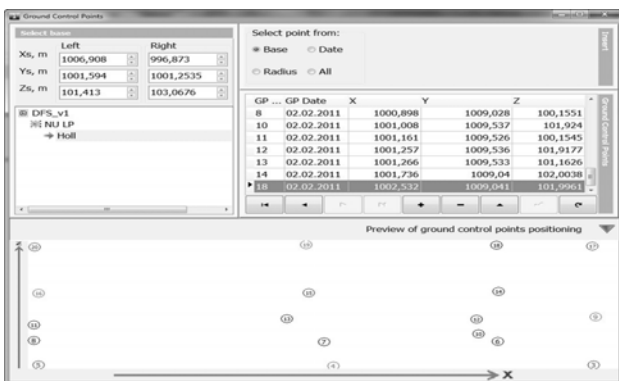


Рис. 7. Вікно встановлення лінійних елементів зовнішнього орієнтування зі схемою розташування опорних точок



Рис. 10. Загальний вигляд району робіт: с.м.т. Дубове (стереопари з нанесеними опорними точками)

Район робіт простягається вздовж річки Тересва, яка належить до басейну р. Тиса. Ширина ріки Тересва 10–15 м, глибина – до 2 м, швидкість течії – 2,5 м/с. Русло звивисте, дно кам'янисте, під ним кам'яна порода. Береги пологі, часто розлогі, укріплені бетонними блоками. Ґрунти глинясті, з гірськими породами, дерново-підзолисті, темно-сірі опідзолені.

Будівлі розташовані вздовж центральних доріг та на схилах. Центр селища щільно забудований, будинки переважно одно- та триповерхові, на схилах села розташовано одноповерхові будівлі та присадибні побудови (рис. 10).

Незабудована територія заповнена луками та горами, а на околицях села ліс.

У районі добре розвинена мережа доріг. Безпосередньо через цей район робіт проходять дороги з твердим покриттям, завширшки до 9 метрів. Район робіт забезпечений дорогами з поліпшеним покриттям. Розвинена і мережа польових доріг, якими можна користуватись у суху погоду. Під час дощів польові дороги не можуть використовуватись.

Рельєф місцевості гірський, будівлі у селищі розташовані здебільшого на берегах річки та на схилах вододільних хребтів. Відмітка селища 350 м, найвища точка – гора Апицька, 1511 м над рівнем моря. На околицях селища, недалеко від водорозділів, є садові земельні ділянки та починається ліс.

Польові роботи склалися з комплексу процесів цифрового наземного знімання за допомогою цифрової камери Canon Mark II, причому виконувалося воно цифровим фототеодолітом із верхньої частини схилу.

Перед початком знімання здійснено рекогноскування: ознайомлення з характерними особливостями місцевості, перевірка достовірності картографічних матеріалів, вибір місця знімання, оцінка можливості підйому до нього.

Зауважимо, що знімання населеного пункту велось з одного схилу (борта), оскільки особливості рельєфу дають можливість повністю передати будівлі та інші елементи ситуації. Окрім цього, знімання відбувалося у міжвегетаційний період – на початку квітня (4.04.2011), позаяк рослинність присадибних ділянок істотно перешкоджає відображенню будівель тощо. Виконане знімання цифровою знімальною камерою Mark II із фокусною віддаллю 70 мм з нормальним нахилом (-8°). Ракурсом знімання охоплено територію від долини ріки до хребта, тобто у кадр зображення практично не входить небосхил.

Для перевірки точності отримання координат опорних та контрольних точок наземних цифрових знімків задіяно GPS-приймач. Попередньо склали проект розташування опорних точок. В результаті запроєктовано 20 точок по всій площині стереопари (рис. 10).

Координати точок базису знімання визначали аналогічно за допомогою GPS-приймача у статичному режимі, відповідно СКП – 5 мм у плані та 2 см по висоті.

Виконані виміри, орієнтування та прив'язка геодезичного базису.

За допомогою електронного тахеометра виміряно горизонтальні та вертикальні кути на опорні та контрольні точки (реально 20 напрямків) з двох точок

базису для подальшого розв'язування прямої геодезичної засічки, а також проміри довжин, горизонтальних положень та перевищень базисів.

У режимі RTK встановлено координати вищевказаних точок та контрольних точок для контролю точності орієнтування зображень та подальшого визначення координат.

У результаті обробки отриманих матеріалів за запропонованим програмним забезпеченням СКП відповідно становили:  $m_x = 0,24$  м,  $m_y = 0,67$  м,  $m_z = 0,14$  м.

### Висновки

1. Аналіз літератури вказує на актуальність розроблення програмних продуктів для розв'язання фотограмметричних задач.

2. Застосований алгоритм та програмний продукт уможливив оперативну та точнішу обробку наземних цифрових зображень, отриманих цифровими неметричними камерами.

3. Як лабораторна, так і польова апробація дає підставу стверджувати, що запропоноване програмне забезпечення є реальним засобом у комплексі застосування наземного цифрового знімання у різних галузях науки і техніки.

4. Надалі планується вдосконалити запропоновану програму, адаптувавши алгоритм та експлуатаційні особливості наземного стереофотограмметричного методу.

### Література

1. Адров В.Н. Фотограмметрическая обработка данных цифровой аэросъемки в системе PHOTOMOD / В.Н. Адров // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, № 4(27). – 2007. – С. 61–63.
2. Глотов В.М. Моніторинг острівних льодовиків Антарктичного узбережжя / В.М. Глотов // Вісник геодезії та картографії. – К., 2006. – № 1. – С. 31–34.
3. Глотов В.М. Особливості цифрового знімання при створенні великомасштабних планів Антарктичного узбережжя в районі станції “Академік Вернадський” / В.М. Глотов // Вісник геодезії та картографії. – К., 2005. – № 3. – С. 22–25.
4. Глотов В.М. Особливості технологічної схеми цифрового фототеодолітного знімання для складання фронтальних планів / В.М. Глотов, В.В. Чижевський // Міжвідомч. наук.-техн. зб. “Геодезія, картографія і аерофотознімання”. – Львів, 2003. – № 64. – С. 114–117.
5. Лютивинская М.В. Фотограмметрический комплекс INPHO (Германия) – передовое решение для обработки аэро- и космических снимков / М.В. Лютивинская // Компания “Совзонд”. www.sovzond.ru.
6. Смирнов А.Н. Новые возможности 3D-моделирования в ЦФС PHOTOMOD / А.Н. Смирнов, А.Н. Пирогов // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, № 2. – 2009.
7. Чекурин А.Д. Новая версия системы PHOTOMOD / А.Д. Чекурин, Д.Б. Кочергин и др. // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, № 4. – 2008.
8. Наземная система обработки АЗ. www.vizionmap.com.ru.

**Функциональні випробування програмного забезпечення наземного цифрового знімання**

В. Глотов, В. Макаревич, М. Наводич, О. Тумська

Запропоновано програмне забезпечення для обробки наземного цифрового знімання. Підкреслено технологічність в експлуатації та можливість застосування прямої та оберненої фотограмметричних засічок без центральних точок. Наведено результати лабораторних та польових випробувань, що дало змогу виконати всебічну апробацію програмного продукту.

**Функциональные испытания программного обеспечения наземной цифровой съемки**

В. Глотов, В. Макаревич,  
М. Наводыч, О. Тумская

Предложено программное обеспечение для обработки наземной цифровой съемки. Подчеркивается

технологичность в эксплуатации и возможность использования прямой и обратной фотограмметрических засечек без центральных точек. Приведены результаты лабораторных и полевых испытаний, что дало возможность провести всестороннюю апробацию программного продукта.

**Functional testing of terrestrial digital surveying software**

V. Glotov, V. Makarevych,  
M. Navodych, O. Tumska

Authors propose software for processing of terrestrial digital surveying. Attention is paid to technological effectiveness during exploitation and possibility of using direct and indirect photogrammetric intersections without central points. Laboratory and field testings give possibility to implement comprehensive approbation of the product. The testing results are presented.

**II З'ІЗД УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ГЕОДЕЗІЇ І КАРТОГРАФІЇ**

**31 жовтня – 1 листопада 2011 р.**

**м. Київ**

**www.utgk.com.ua**

**тел.: +380503706402**



**INTERGEO®**

Kongress und Fachmesse für Geodäsie,  
Geoinformation und Landmanagement  
Nürnberg, 27.–29. September 2011

**INTERGEO–2011**

**27–29 вересня 2011 р.**

**м. Нюрнберг, Німеччина**



**25 вересня – 1 жовтня 2011 р.**

**м. Інсбрук, Австрія**

Відбудеться щорічна комісія FIG та міжнародний науково-технічний симпозиум “Кадастр 2.0”.

**25 September – 1 October 2011**

**Innsbruck, Austria**

**FIG Com7 Annual Meeting 2011 and International Symposium “Cadastre 2.0”.**

<https://sites.google.com/site/figsymposium2011/>