

УДК 515.2

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ ТОЧОК ПАНОРАМНОГО ЗНІМАННЯ**

Свідрак І.Г., к.т.н.,

Баранецька О.Р., к.т.н.,

Топчій В.І., к.т.н.,

Шевчук А.О.,

*Національний університет «Львівська політехніка»*

Галкіна Н.С.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького*

Тел. (0322) 258-23-60

***Анотація*** – досліджено визначення просторових координат точок панорамного знімання за допомогою методів кінематичних проєкційних відображень (лінійні та нелінійні оператори кінематичного проєкціювання).

***Ключові слова*** – панорамне знімання, кінематичні проєкційні відображення, образ, прообраз точок кінематичного проєкціювання.

*Постановка проблеми.* В фототеодолітному зніманні панорамні камери знаходять значне застосування. Це пояснюється тим, що панорамні знімки мають наступні переваги по відношенню до звичайних:

- великий кут поля зору (до  $360^\circ$ );
- висока роздільна здатність зображення;
- можливість розташування опорних та контрольних точок за межами об'єкту, що досліджується.

Тому панорамне знімання застосовується не лише у фотопографії, а і в маркшейдерії, військовій справі та інших галузях науки та техніки.

*Аналіз останніх досліджень.* За останні 30-40 років накопичено значний потенціал по розробці теорії панорамного знімання [1]. В той же час на сучасному етапі розвитку фототопографії, коли суттєво підвищуються вимоги до точності отримання координат точок об'єкту (прообразу), розв'язано питання впровадження аналітичного методу (за рахунок сполучення ЕОМ із стереокомпаратором), виникла необхідність детального дослідження теоретичних основ панорамного

знімання. Але при дослідженні, як виявилось, в розв'язанні цих проблем методам нарисної геометрії немає альтернативи [ 2 ].

*Формулювання цілей статті.* Поставлено завдання вивести рівняння для визначення просторових координат точок панорамного знімання використовуючи кінематичні лінійні та нелінійні відображення миттєвими комплексами та конгруенціями.

*Основна частина.* Як відомо, методика обробки панорамних знімків передбачає три основних етапи. На першому етапі по реальному знімку отримують умовний плоский знімок. Стосовно інженерної фотограмметрії ці залежності мають вигляд:

$$\begin{aligned} x_p &= f \cdot \operatorname{tg} \frac{x}{f}, \\ z_p &= z \cdot \operatorname{sec} \frac{x}{f}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $x, z$  - вимірні координати панорамного знімку;  $f$  - фокусна віддаль (дорівнює еквівалентному плоскому знімку);  $x_p, z_p$  - координати плоского знімку.

На другому етапі для визначення просторового положення умовного знімку використовуються існуючі залежності:

$$\begin{aligned} X &= Y \frac{a_1 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \frac{x}{f} + a_2 \cdot f + a_3 \cdot z \operatorname{sec} \frac{x}{f}}{b_1 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \frac{x}{f} + b_2 \cdot f + b_3 \cdot z \cdot \operatorname{sec} \frac{x}{f}} \\ Z &= Y \frac{c_1 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \frac{x}{f} + c_2 \cdot f + c_3 \cdot z \operatorname{sec} \frac{x}{f}}{b_1 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \frac{x}{f} + b_2 \cdot f + b_3 \cdot z \cdot \operatorname{sec} \frac{x}{f}}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $X, Y, Z$  - просторові координати точок об'єкту;  $a_1, b_1, c_1$  - напрямні косинуси, які є функціями від кутів Ейлера (в фотограмметрії їм відповідають кути  $\alpha, \omega, x$ ). Просторове положення умовного знімку, тобто кути  $\alpha, \omega, x$ , знаходять шляхом розв'язання системи рівнянь (2) для декількох опорних точок, що відображені на знімку і мають відомі просторові координати в системі об'єкту.

На третьому етапі за вимірними на панорамному знімку координатам точок, що досліджуються, та відомих елементах умовного знімку ( $\alpha, \omega, x$ ) знаходять просторові координати цих точок.

Детальний аналіз теорії панорамного знімання дозволяє зробити наступний висновок: визначені елементи зовнішнього орієнтування панорамної камери не строго відповідають дійсним, що зумовлено наступним. По-перше, оскільки головна оптична вісь панорамної камери в процесі знімання змінює своє положення (обертається), то кут  $\alpha$  є величиною умовної фіксації. По-друге, відхилення

вертикальної осі обертання камери викликає наявність тілесного кута, який відповідає сумісному впливу кутів  $\omega$  і  $x$ . Враховуючи вищесказане, формули (2) можна привести до наступного виду:

$$X = Y \frac{f \cdot \operatorname{tg} \frac{x}{f}}{f \cdot \cos \Omega - z \cdot \operatorname{sii} \Omega \cdot \sec \frac{x}{f}} + 1,$$

$$Z = Y \frac{f \cdot \operatorname{sii} \Omega + \cos \omega \cdot \sec \frac{x}{f}}{f \cdot \cos \Omega - z \cdot \operatorname{sii} \Omega \cdot \sec \frac{x}{f}} + 1,$$
(3)

де кут  $\Omega$  - кут нахилу осі циліндра панорамного знімку. Але і ці формули містять в собі деякі неточності: не враховуються залежності між циліндричними координатами точок панорамного знімку, який

має довільну просторову орієнтацію і просторовими координатами точок об'єкту.

Для усунення похибки, тобто для безпосереднього визначення координат точок об'єкту, було застосовано лінійні та нелінійні оператори кінематичних проекційних відображень.

Отримані параметричні рівняння (4) (параметр  $\alpha$ ) дають реальну картину просторового положення об'єкту при відображенні панорамного знімку на площину та виконанні просторового орієнтування отриманої площини. На рис. 1 показано миттєве положення прообразу  $A_0$ .

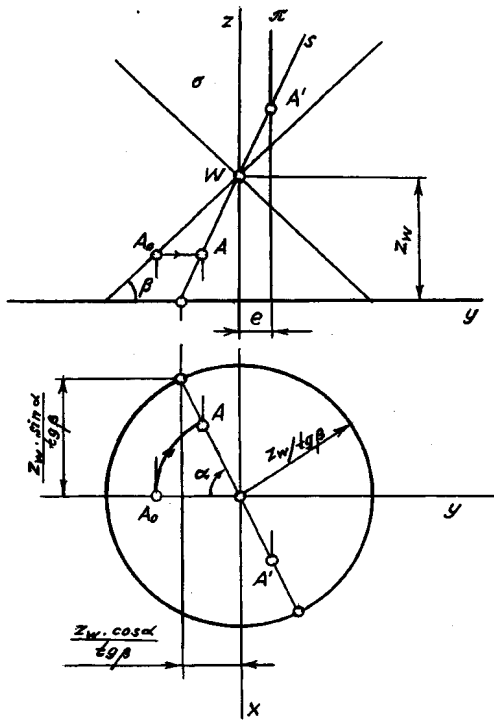


Рис.1.

$$y_A = e, x_A = -e \cdot \operatorname{tg} \alpha, z_A = z_w \cdot \left( 1 + \frac{e}{\frac{z_w}{\operatorname{tg} \beta} \cdot \cos \alpha} \right).$$
(4)

При розгляді цього процесу в кінематиці отримуємо променеву конічну поверхню а (рис. 2).  $P(x,y,z) = 0$

$$x^2 + y^2 - \left( \frac{z - l(\cos \omega + \operatorname{sii} \omega \cdot \operatorname{tg} \beta)}{\operatorname{tg} \beta} \right)^2 = 0.$$
(5)

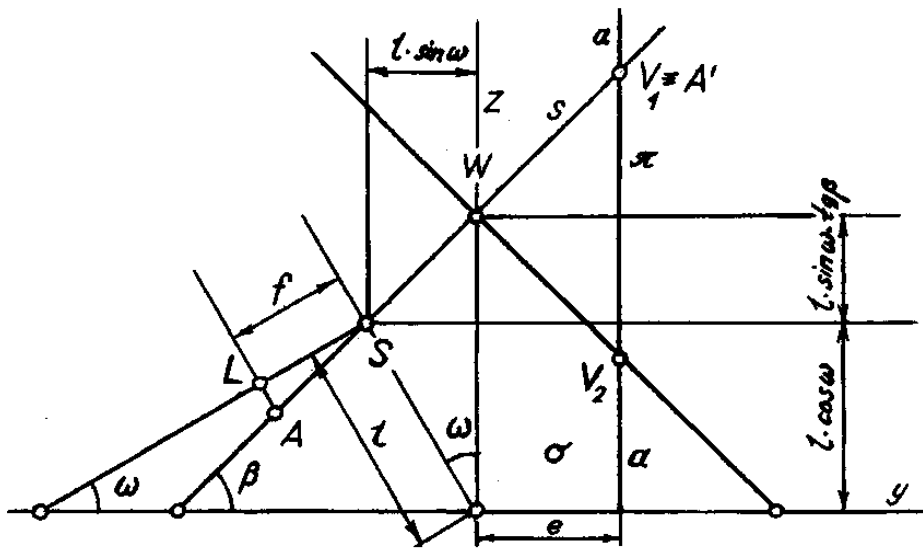


Рис.2.

Перетин  $\alpha$  з площиною  $\pi(y = e)$ .  $F(x, z) = 0$

$$x^2 + e^2 - \left( \frac{z - l(\cos \omega + \sin \omega \cdot \tan \beta)}{\tan \beta} \right)^2 = 0. \quad (6)$$

Після перетворень рівнянь (4), остаточно отримуємо

$$X = Y \cdot \tan \frac{x}{f} + l \left( \cos \Omega + \frac{z}{f} \cdot \sin \Omega \right); \quad (7)$$

$$Z = Y \cdot \frac{x}{f} \cdot \sec \frac{x}{f} + l \left( \cos \Omega + \frac{z}{f} \cdot \sin \Omega \right).$$

Попередній аналіз формул (3) і (7) показав, що вони абсолютно тотожні у випадку відсутності нахилу панорамної камери.

Для визначення точності запропонованих формул проведений відповідний експеримент. Контрольні точки, які відобразилися на вимірній фотопанорамі, були виміряні на стереокомпараторі.

Знімання проводилося фототеодолітом з фокусною відстанню  $f = 300$  мм, місце нуля аплікати  $l = 52,5$  мм, відстань до об'єкту знімання  $Y = 1100$  м. Кут нахилу камери  $\Omega$  відповідно змінювався в границях від  $0'$  до  $10'$ . Дійсні координати та координати, які підлягають спотворенню за кут нахилу  $\Omega$ , обчислені за формулами (3) і (7). Після відповідної математичної обробки визначені середньоквадратичні похибки за формулами (3) склали  $m_x(\text{Л}) = 0,0900$  м,  $m_z(\text{Л}) = 1,7823$  м, а за формулами (7)  $m_x = 0,0824$  м,  $m_z = 0,6763$  м.

*Висновки.* Аналізуючи величини похибок можна зробити наступні висновки:

1. Значення похибки  $m_x$  фактично рівні. Це пояснюється тим, що обертання камери здійснюється навколо вісі X.

2. В той же час похибка  $m_z$  визначена за запропонованими формулами у три рази менша ніж визначена за класичними формулами. Зміна координати  $Z$  залежить від нахилу вертикальної вісі камери та абсолютної величини самої координати  $Z$ .

Отже, отримані на основі кінематичного лінійного та нелінійного проєкціювання формули (7) надають можливість аналітичне обробляти інформацію, яку несуть панорамні знімки, без будь-яких обмежень, що накладаються на їх просторове положення.

#### Література

1. *Коншин М.Д.* Применение панорамного аэрофотоаппарата при аэрофотографической съемке / М.Д. Коншин // Геодезия и картография.– №1.– 1993. – С. 33-36.
2. *Кучко А.С.* Аэрофотогеодезия / А.С. Кучко // Основы и метрология. – М.: Недра, 1994. – 273с.
3. *Пулькевич И.Г.* Лінійні та нелінійні оператори кінематичних проєкційних відображень/ И.Г.Пулькевич // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип.80. – К.: КНУБА, 2009. – С.57-61.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ТОЧЕК ПАНОРАМНОЙ СЪЕМКИ

И.Г. Свидрак, О.Р. Баранецкая, В.И. Топчий, А.А.Шевчук,  
Н.С. Галкина

**Аннотация** – исследовано определение пространственных координат точек панорамной съемки с помощью методов кинематических проекционных отображений (линейные и нелинейные операторы кинематических проекционных отображений).

### DETERMINATION OF SPATIAL CO-ORDINATES OF POINTS OF PANORAMIC SURVEY

I. Svidrak, O. Baranetska , V. Topchy , A. Shevchyk, N. Galkina

#### *Summary*

**Determination of spatial coordinates of points of panoramic survey is Explored by the methods of kinematics reflections of projections (linear and nonlinear operators kinematics projections reflections).**