

УДК 528.44:332.3

Ю. ГУБАР

Кафедра кадастру територій, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38(032)2582631, ел. пошта Yuriy.P.Hubar@lpnu.ua

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОХИБОК ПОЛОЖЕННЯ МЕЖОВИХ ЗНАКІВ, ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ, НА ВАРТІСТЬ НЕРУХОМОСТІ

**Мета** цієї роботи – дослідження впливу похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості. Аерознімання вже протягом кількох десятиліть є ефективним інструментом для виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та проведення різних видів моніторингів, однак для оцінювання нерухомості такі методи не застосовують. Сучасні технології створення топографічних та кадастрових планів ґрунтуються саме на використанні матеріалів цифрового аерознімання [Бурштинська Х., 2013]. Однак собівартість застосування літаків та гелікоптерів для локального великомасштабного знімання на порядок вища і тому альтернативним рішенням є використання БПЛА [Галецький В., Глотов В., Колесніченко В., 2012; Глотов В., Церклевич А., Збруцький О., 2016]. **Методика.** Безпілотні літальні апарати (БПЛА) найчастіше застосовують як дешеву альтернативу традиційного аерознімання з літаків, гелікоптерів, мотодельтапланів і космічного (супутникового) знімання. Окрім значної економічної ефективності (здешевлення у десятки разів), БПЛА мають додаткові переваги, а саме: маловисотність, точковість, мобільність, екологічна чистота польотів [Hubar Yu., 2016]. Роботи із землеустрою здебільшого виконуються безсистемно і без надійного контролю, тому застосування звичайних геодезичних методів та результатів опрацювання вимірювань не дає змоги отримати необхідну точність координат пунктів, межових знаків та знімальної основи. Все це призводить до виникнення проблем суміщення меж прилеглих ділянок внаслідок використання неякісної кадастрової інформації у базах даних, які формували упродовж значного періоду регіональні центри ДЗК [Глотов В., Смолій К., 2008]. **Результати.** Застосування БПЛА доводить важливість їх для виконання оціночних робіт, що дасть змогу підвищити точність визначення координат меж об'єктів нерухомості та істотно пришвидшить процедуру оцінювання. Встановлено, що для великих населених пунктів точність визначення координат необхідно значно збільшити, адже вартість нерухомості у цих населених пунктах доволі велика і відповідно похибки у визначенні координат об'єктів нерухомості призводять до похибок у вартості об'єктів нерухомості населеного пункту, що юридично недопустимо і тому для дуже великих міст доцільно виконувати знімання на невеликих висотах і поступово підвищувати точність фотографування місцевості. **Наукова новизна та практична значущість.** Доведено важливість застосування БПЛА для оцінювання вартості об'єктів нерухомості, оскільки одержані у результаті виконаних обчислень середні квадратичні похибки у вартості 1 м<sup>2</sup> об'єкта нерухомості менші за 0,3 % від його загальної вартості. Практична значущість застосування БПЛА зумовлена їхніми додатковими перевагами порівняно з традиційними методами знімань, а саме можливістю: отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десятки сантиметра) на місцевості; детального знімання невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови.

**Ключові слова:** оцінка нерухомості; безпілотний літальний апарат; апріорна оцінка точності; дистанційне зондування землі; ринкова вартість нерухомості.

### Вступ

На сучасному етапі найперспективнішим напрямом у галузі поєднання дистанційного зондування і геоінформаційних технологій стану землекористувань є можливість застосовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА). Адже технології із застосуванням БПЛА у край необхідні й дають змогу вийти на новітній рівень виконання землевпорядних робіт. Для того, щоб започаткувати виготовлення ортофотоплану, необхідне специфічне дороге приладове та програмне забезпечення. А для створення ортофотоплану [Бурштинська Х., 2013; Глотов В., 2014;

Дорожинський О., 2009; Матійчик М., 2013] потрібно лише:

- персональний комп'ютер та відповідне програмне забезпечення;
- безпілотний літальний апарат (для подальших досліджень ми застосовуємо БПЛА “Trimble UX5”);
- опрацьовані методи GPS-знімання для планово-висотної прив'язки цифрового зображення;
- територію для дослідження;

На сучасному етапі роботи із землеустрою здебільшого виконують безсистемно і без надійного контролю, тому застосування звичайних геоде-

зичних методів та результатів опрацювання вимірювань не дає змоги досягти необхідної точності координат пунктів, межових знаків та знімальної основи. Все це призводить до того, що почастишали проблеми суміщення меж прилеглих ділянок внаслідок використання неякісної кадастрової інформації у базах даних, які формували упродовж значного періоду регіональні центри ДЗК [Chen J., 2012; Глотов В., 2008].

### Мета

**Мета** роботи – дослідження впливу похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості. Це ефективний інструмент виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та проведення різних видів моніторингу, однак для оцінки нерухомості такі методи поки що не застосовують.

### Методика

Формування аргументованого судження щодо вартості об'єкта оцінки потребує всебічних знань соціально-економічної ситуації у регіоні дослідження, стану ринку нерухомості, технічних характеристик об'єкта оцінки та особливостей його розміщення на території населеного пункту. Це зумовлює необхідність збирання та аналізу різної ринкової, правової, технічної, фінансової та іншої інформації, з чого власне і розпочинається будь-яка оцінка. Застосувати БПЛА доцільно на етапі збирання і аналізу вихідних даних, який реалізується у трьох напрямках, щоб створити уявлення про:

- чинники, що зумовлюють вартість нерухомості;
- показники, що формулюють оцінювану нерухомість;
- параметри конкурентності ринку нерухомості.

Судження, розрахунки та висновки оцінювачів повинні ґрунтуватися на наведеному вище. Насамперед досліджують загальні дані, що мають ціноутворювальну природу. Вони стосуються соціальних, економічних, адміністративних і екологічних умов, що впливають на вартість. Основна мета дослідження загальних даних полягає у формуванні уявлення про етапи розвитку ринку нерухомості, кон'юнктуру, динаміку цін купівлі-продажу й оренди, порівняльну прибутковість різних об'єктів нерухомості.

Отже, технологічний процес виконання оцінки нерухомості із застосуванням БПЛА, на нашу думку, повинен мати такий вигляд:

- процес оцінювання повинен охоплювати увесь комплекс робіт, який умовно можна розділити на декілька етапів, кожен з яких має вагоме значення для того, щоб виконана оцінка відповідала канонам об'єктивності та незалежності;

- діяльність оцінювача мусить розпочинатися з первинного дослідження ситуації, для того щоб на початковій стадії одержати уявлення про мету оцінки, її функції, особливості об'єкта оцінки. І тому, на нашу думку, на цій стадії необхідно володіти інформацією, отриманою за допомогою БПЛА. І тільки після цього формулюється остаточне завдання на виконання оцінки і укладається договір із замовником;

- власне оцінка розпочинається зі збирання та аналізу даних, що дає змогу сформувати переконання щодо ринкової вартості об'єкта оцінки та ціноутворювальних чинників. Досліджується: ситуація на ринку, на якому представлено об'єкт оцінки; характеристики об'єктів-аналогів і об'єкта оцінки; співвідношення попиту та пропозиції на такі об'єкти;

- за підсумками виконаної оцінки складають звіт – результуючий документ, що слугує важливим доказом на користь достовірності отриманого результату;

- зібрані за допомогою БПЛА та проаналізовані оцінювачем дані слугують основою для встановлення КНЕВ об'єкта оцінки та обґрунтування вибору адекватного методичного підходу до оцінювання [Hubar Yu., 2016; Губар Ю., 2017].

На початок робіт потрібно виконати рекогносцювання території, тобто роботи для виявлення об'єктів на місцевості, які були б найоптимальнішими для запуску БПЛА і створення ПВП, що відповідають вимогам виготовлення великомасштабних топографічних планів, а саме:

- будівлі (нумерація, матеріал, кількість поверхів та призначення);
- вулиці (назва, покриття, ширина);
- лінії електропередач (ЛЕП);
- гідрографія (глибина, напрям, швидкість течії);
- рослинність (ліс, луки, рідколісся, чагарники, сінокоси тощо).

Використання БПЛА дає змогу швидко здійснити цифрове знімання спроектованої території та одержати об'єктивні відомості про наявність будівель у населеному пункті, оскільки зображення залишається істинним документом, завдяки якому завжди можна переконатися у положенні та конфігурації меж ділянок [Droeschel D., 2013; Станкевич С., 2011].

Однак такі переваги БПЛА над наземними традиційними методами кадастрових знімачів зобов'язують здійснювати дослідження площ об'єктів нерухомості або координат межових знаків. Використання БПЛА дає змогу прискорити виконання оцінки об'єкта нерухомого майна та забезпечує відкритість вибору об'єктів-аналогів, а також дозволяє одержувати іншу, потрібну для оцінки нерухомості, інформацію.

Для визначення СКП координат точок на місцевості із використанням БПЛА та з метою оцінювання подальшого впливу цих похибок на вартість об'єктів нерухомості, оскільки опрацювання зображень виконуватиметься із застосуванням оберненої фотограмметричної засічки, доцільно застосувати такий алгоритм [Лобанов А., 1984; Gini R., 2013; Makelainen A., 2013]:

$$\begin{cases} X = B \cdot \frac{x_{\text{пт}}}{p}; \\ Y = B \cdot \frac{y_{\text{пт}}}{p}; \\ Z = -B \cdot \frac{f}{p_t}. \end{cases} \quad (1)$$

де  $B$  – базис, м;  $x_{\text{пт}}$  – половина горизонтальної складової пристрою із зарядовим зв'язком (ПЗЗ)-матриці ЦНЗК, мм;  $y_{\text{пт}}$  – половина вертикальної складової ПЗЗ-матриці ЦНЗК, мм;  $p_t$  – паралакс, мм.

Паралакс обчислимо за формулою:

$$p_t = B \cdot \frac{f}{H}, \quad (2)$$

де  $f$  – фокусна віддаль, мм;  $H$  – висота фотографування, м.

Базис розрахуємо за формулами:

$$B = \frac{(100\% - P_X) \cdot b_X}{100\%} \cdot m, \quad (3)$$

де  $P_X$  – поздовжнє перекриття зображення, %;  $b_X$  – базис на стереопарі, мм;  $m$  – знаменник масштабу цифрового зображення.

Або

$$B = \frac{X \cdot p_t}{x_{\text{пт}}} = \frac{Y \cdot p_t}{y_{\text{пт}}} = -\frac{Z \cdot p_t}{f}. \quad (4)$$

Знаменник масштабу цифрового зображення визначимо за формулою:

$$m = \frac{H}{f}. \quad (5)$$

Оскільки кути нахилу цифрового зображення не перевищують  $3-5^{\circ}$ , за відповідної стабілізації БПЛА, застосуємо спрощені формули трансформування:

$$\begin{aligned} x_{\text{пт}} &= x + \left( f + \frac{x^2}{f} \right) \cdot \alpha + (x \cdot y / f) \cdot \omega - \\ &- y \cdot \chi + x \cdot \left( 1 + \frac{x^2}{f} \right) \cdot \alpha^2 + \\ &+ x \cdot \left( 1/2 + \frac{y^2}{f^2} \right) \cdot \omega^2 - (1/2) \cdot x \cdot \chi^2 + \\ &+ \left( 2 \cdot \frac{x^2}{f^2} \right) \cdot \alpha \cdot \omega - (2 \cdot x \cdot y / f) \cdot \alpha \cdot \chi + \\ &+ \left( x^2 - y^2 / f \right) \cdot \omega \cdot \chi. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} y_{\text{пт}} &= y + (x \cdot y / f) \cdot \alpha + \left( f + \frac{y^2}{f} \right) \cdot \omega + x \cdot \chi + \\ &+ y \cdot \left( 1/2 + \frac{x^2}{f^2} \right) \cdot \alpha^2 + y \cdot \left( 1 + \frac{y^2}{f^2} \right) \cdot \omega^2 - \\ &- (1/2) \cdot y \cdot \chi^2 + x \cdot \left( 1 + 2 \cdot \frac{y^2}{f^2} \right) \cdot \alpha \cdot \omega + \\ &+ \left( x^2 - y^2 / f \right) \cdot \alpha \cdot \chi + (2 \cdot x \cdot y / f) \cdot \omega \cdot \chi. \end{aligned}$$

Можна записати:

$$\begin{cases} dx_{\text{пт}} = dx + \left( f + \frac{x_{\text{пт}}^2}{f} \right) \cdot d\alpha + \frac{x \cdot y}{f} \cdot d\omega - y \cdot d\chi \\ dy_{\text{пт}} = dy + \frac{x \cdot y}{f} \cdot d\alpha + \left( f + \frac{y_{\text{пт}}^2}{f} \right) \cdot d\omega + x \cdot d\chi \end{cases} \quad (7)$$

Аналогічно знайдемо  $dp$ . Приймавши, що

$$\Delta H = B \cdot v = \frac{H}{f} \cdot b \cdot v, \text{ і враховуючи вплив лише похибок}$$

елементів взаємного орієнтування, отримаємо:

$$\begin{cases} dX = m \cdot x_{\text{пт}} \left( \frac{dB}{B} + \frac{dx_{\text{пт}}}{x_{\text{пт}}} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{f^2 + x_{\text{пт}}^2}{x_{\text{пт}} \cdot f} d\alpha + \right. \\ \left. + \frac{y_{\text{пт}}}{f} d\omega - \frac{y_{\text{пт}}}{x_{\text{пт}}} d\chi + \frac{f}{p_t} d\Delta\alpha - \right. \\ \left. - \frac{b}{f} dv + \frac{x_{\text{пт}}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \right. \\ \left. + \frac{x_{\text{пт}} y_{\text{пт}}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \frac{y_{\text{пт}}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{\text{пт}}}{f} dv \right); \\ dY = m \cdot y_{\text{пт}} \left( \frac{dB}{B} + \frac{dy_{\text{пт}}}{y_{\text{пт}}} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{\text{пт}}}{f} d\alpha + \right. \\ \left. + \frac{f^2 + y_{\text{пт}}^2}{y_{\text{пт}} \cdot f} d\omega + \frac{x_{\text{пт}}}{y_{\text{пт}}} d\chi + \frac{f}{p_t} d\Delta\alpha - \right. \\ \left. - \frac{b}{f} dv + \frac{x_{\text{пт}}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \right. \\ \left. + \frac{x_{\text{пт}} y_{\text{пт}}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \frac{y_{\text{пт}}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{\text{пт}}}{f} dv \right); \\ dZ = m \cdot f \left( \frac{dB}{B} + \frac{df}{f} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{f}{p_t} d\alpha - \frac{b}{f} dv + \right. \\ \left. + \frac{x_{\text{пт}}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{\text{пт}} y_{\text{пт}}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \right. \\ \left. + \frac{y_{\text{пт}}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{\text{пт}}}{f} dv \right) \end{cases} \quad (8)$$

Із (8) випливає, що похибки визначення координат точок місцевості залежать від похибок побудови та вимірювання знімків, похибок їх орієнтування, а також від положення зображення цих точок на знімках. Після зовнішнього орієнтування за опорними точками частина похибок буде виключена і отримуємо [Лобанов А., 1984]:

$$\left\{ \begin{aligned} dX &= m \cdot x_{лt} \cdot \left( \frac{dx_{лt}}{x_{лt}} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{лt}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{лt} \cdot y_{лt}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \frac{y_{лt}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{лt}}{f} dv \right); \\ dY &= m \cdot y_{лt} \cdot \left( \frac{dy_{лt}}{y_{лt}} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{лt}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{лt} \cdot y_{лt}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \frac{y_{лt}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{лt}}{f} dv \right); \\ dZ &= m \cdot f \cdot \left( -\frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{лt}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{лt} \cdot y_{лt}}{f \cdot p_y} d\Delta\omega + \frac{y_{лt}}{p_y} d\Delta\chi + \frac{x_{лt}}{f} dv \right) \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Вважатимемо, що ці похибки випадкові й незалежні (у нашому випадку їх залежність істотно не впливає на кінцеві значення). Знайдемо СКП планових координат  $m_X$ ,  $m_Y$ . Оскільки кадастрові

плани не потребують висотної компоненти, можна записати:

$$\left\{ \begin{aligned} m_X &= m \cdot x_{лt} \cdot \left( \left( \frac{m_{x_{лt}}}{x_{лt}} \right)^2 + \left( \frac{m_{y_{лt}}}{B \cdot f/H} \right)^2 + \left( \frac{x_{лt}^2}{f \cdot (B \cdot f/H)} \cdot m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left( \frac{x_{лt} \cdot y_{лt}}{f \cdot (B \cdot f/H)} \cdot m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left( \frac{y_{лt}}{B \cdot f/H} \cdot m_{\Delta\chi} \right)^2 + \left( \frac{x_{лt}}{f} \cdot m_v \right)^2 \right); \\ m_Y &= m \cdot y_{лt} \cdot \left( \left( \frac{m_{y_{лt}}}{y_{лt}} \right)^2 + \left( \frac{m_{x_{лt}}}{B \cdot f/H} \right)^2 + \left( \frac{x_{лt}^2}{f \cdot (B \cdot f/H)} \cdot m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left( \frac{x_{лt} \cdot y_{лt}}{f \cdot (B \cdot f/H)} \cdot m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left( \frac{y_{лt}}{B \cdot f/H} \cdot m_{\Delta\chi} \right)^2 + \left( \frac{x_{лt}}{f} \cdot m_v \right)^2 \right) \end{aligned} \right. \quad (10)$$

Двовимірну середню квадратичну похибку положення точки (пункту)  $m_t$  розрахуємо за формулою:

$$m_t^2 = m_X^2 + m_Y^2, \quad (11)$$

де  $m_X$ ,  $m_Y$  – СКП розташування межового пункту за осями планових координат X, Y.

Розрахуємо значення СКП планових координат меж об'єктів нерухомості із використанням БПЛА Trimble UX5 [Grenzdorffer G., 2012] та приймемо такі вихідні значення (табл. 1).

Результати розрахунків за отриманими формулами (10), (11) подано у табл. 2.

Таблиця 1

## Вихідні дані для виконання розрахунків

Елементи формул	Значення
Розмір ПЗЗ матриці (камера SONY NEX 5R), мм	15×22
Абсциса кадрової рамки ПЗЗ матриці ЦНЗК $x_{лt}$ , мм	7,5
Ордината кадрової рамки ПЗЗ матриці ЦНЗК $y_{лt}$ , мм	11
Фокусна віддаль камери $f$ , мм	15
СКП вимірювання координат точок цифрового зображення, мм	0,003
Висота знімання місцевості, м	50 ÷ 200
Відсоток поздовжнього перекриття знімка $P_X$ , %	80
Базис знімка $b_X$ , мм	3
Допустима СКП визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування (після проведення зовнішнього орієнтування зображення)	3"
СКП базису $m_B$ , мм	5

Таблиця 2

Апріорне значення СКП планових координат точок

Висота знімання, м	B, м	1 : m	1 : M	$m_x$ , м	$m_y$ , м	$m_t$ , м
50	20	1 : 3 300	1 : 500	0,032	0,054	0,063
75	30	1 : 5 000	1 : 500	0,055	0,079	0,096
100	40	1 : 6 670	1 : 500 1 : 1000	0,068	0,095	0,117
150	60	1 : 10 000	1 : 1000	0,082	0,117	0,143
200	80	1 : 13 333	1 : 1000	0,100	0,148	0,179

Як видно із виконаних розрахунків (табл. 2), на СКП  $m_x$ ,  $m_y$  і як результат на похибку положення пункту  $m_t$  істотно впливають похибка визначення базису та характеристики цифрової камери. Ці значення відповідають точності

складання топографічних планів у масштабах 1:500 (висота знімання до 100 м) та 1:1000 (висота знімання від 100 м до 200 м).

На рис. 1 відображено вплив висоти знімання місцевості БПЛА на точність меж об'єкта нерухомості.

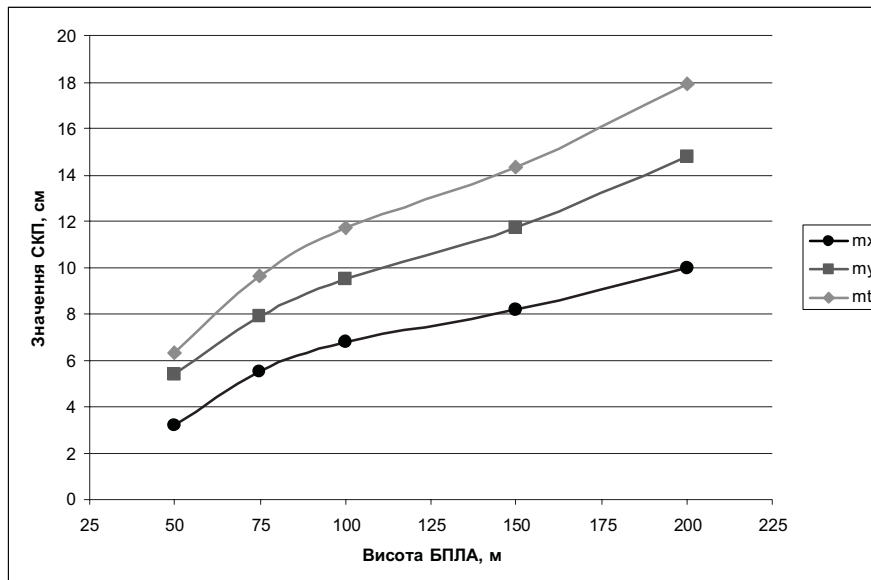


Рис. 1. Вплив висоти знімання місцевості БПЛА на СКП положення меж об'єкта нерухомості

Як видно із рис. 1, похибка положення меж поступово зростає зі збільшенням висоти знімання  $H$  (за незмінних вихідних даних, табл. 1). Отримані похибки задовольняють сьгоднішні вимоги до знімання з метою оцінювання територій середніх та малих населених пунктів (із хутірською забудовою), вартість об'єктів нерухомості в яких невелика, і ці похибки дадуть змогу визначити наближену до ринкової вартість нерухомості.

Використаємо формулу, яку отримали у [Губар Ю., 2011]:

$$m_{\text{Ц}} = \sqrt{C_0^2 \cdot m_t^2 \cdot P + P^2 \cdot \frac{C_0^2}{16 \cdot 10^4}} = \quad (12)$$

$$= C_0 \cdot \sqrt{P \cdot \left( m_t^2 + \frac{P}{16 \cdot 10^4} \right)},$$

де  $C_0$  – вартість 1 м<sup>2</sup> об'єкта нерухомості, грн.;  
 $P$  – площа об'єкта нерухомості земельної ділянки, м<sup>2</sup>;

$m_t$  – двовимірна середня квадратична похибка положення точки (пункту).

Отже, розрахуємо вплив СКП положення пункту  $m_t$ , отриманої із використання БПЛА, на значення СКП у визначенні вартості об'єкта нерухомості й результати розрахунків подамо у табл. 3. Для розрахунків приймемо, що  $C_0$  становитиме 20 гривень і її конфігурація наближена до квадрата.

Як видно із табл. 3, отримані відносні похибки визначення площ (затемнені частини таблиці) повністю задовольняють вимоги [Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність”, 1999] ( $1/\text{Гдон} = 1/1000$ ) і для таких об'єктів доцільно використовувати БПЛА з метою їх оцінки.

На рис. 2 відображено вплив висоти знімання із використанням БПЛА на точність визначення площі об'єкта нерухомості (від 0,5 до 20 га).

Таблиця 3

## Розрахунок похибки у визначенні вартості об'єкта нерухомості із використанням БПЛА

Елементи формул	Площа ділянки $P$ , га					
	0,5	1	2	5	10	20
Висота знімання $H = 50$ м						
$C$ , грн.	100 000	200 000	400 000	1000 000	2000 000	4000 000
$C_0$ , грн.	20	20	20	20	20	20
$m_t$ , м	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
$m_p$ , м <sup>2</sup>	4,45	6,30	8,91	14,09	19,92	28,17
$1/T = m_p/P$	1:1124	1:1587	1:2245	1:3549	1:5020	1:7100
$m_{Ц}$ , грн.	265	516	1016	2516	5016	10016
Висота знімання $H = 75$ м						
$m_t$ , м	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096
$m_p$ , м <sup>2</sup>	6,79	9,60	13,58	21,47	30,36	42,93
$1/T = m_p/P$	1:736	1:1042	1:1473	1:2329	1:3294	1:4659
$m_{Ц}$ , грн.	284	536	1036	2536	5037	10037
Висота знімання $H = 100$ м						
$m_t$ , м	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
$m_p$ , м <sup>2</sup>	8,27	11,7	16,55	26,16	37,00	52,32
$1/T = m_p/P$	1:604	1:854	1:1209	1:1911	1:2703	1:3822
$m_{Ц}$ , грн.	300	552	1053	2554	5054	10055
Висота знімання $H = 150$ м						
$m_t$ , м	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
$m_p$ , м <sup>2</sup>	10,11	14,3	20,22	31,98	45,22	63,95
$1/T = m_p/P$	1:494	1:700	1:989	1:1564	1:2211	1:3127
$m_{Ц}$ , грн.	322	576	1079	2580	5081	10081
Висота знімання $H = 200$ м						
$m_t$ , м	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179
$m_p$ , м <sup>2</sup>	12,66	17,90	25,31	40,02	56,60	80,05
$1/T = m_p/P$	1:395	1:559	1:790	1:1249	1:1767	1:2498
$m_{Ц}$ , грн.	356	615	1121	2625	5126	10127

Отримані похибки у вартості переважно становлять менше ніж 0,3% від вартості об'єкта нерухомості, що свідчить про доцільність застосування БПЛА для оцінювання вартості об'єктів нерухомості. На рис. 3 наведено залежність СКП у вартості цілого об'єкта нерухомості від розміру його площі та висоти БПЛА.

Зі зменшенням висоти знімання БПЛА необхідно збільшувати точність прив'язування знімків на місцевості й зменшувати розрізнення знімків. Як наслідок, збільшення кількості знімків призводить до збільшення часу опрацювання і тому завжди треба шукати компроміс між точністю і швидкістю опрацювання даних.

**Априорна оцінка точності за показником Kella**

Точність цифрових знімків розраховують за наближеною формулою [Kurczynsky Zdislaw, 2006]:

$$R_{terr} = \Delta \cdot m, \quad (13)$$

де  $R_{terr}$  – середня квадратична похибка положення пункту, см;  $\Delta$  – лінійний розмір пікселя, мкм (для цифрової камери SONY NEX 5R –  $\Delta = 5$  мкм);  $m$  – знаменник масштабу знімання  $m = f/H$  (табл. 2).

Розрахунки за формулою (13) не дають достовірних результатів. Для того, щоб отримати результати відтворення об'єктів на зображенні із дискретних приймачів, в літературі запропоновано обмежити смугу пропускання просторових частот частотою Найквіста, яку визначають з виразу:

$$N_H = \frac{1}{2 \cdot \Delta}, \quad (14)$$

де  $N_H$  – просторова частота, яка у фокальній площині відповідає частоті Найквіста, мм<sup>-1</sup>.

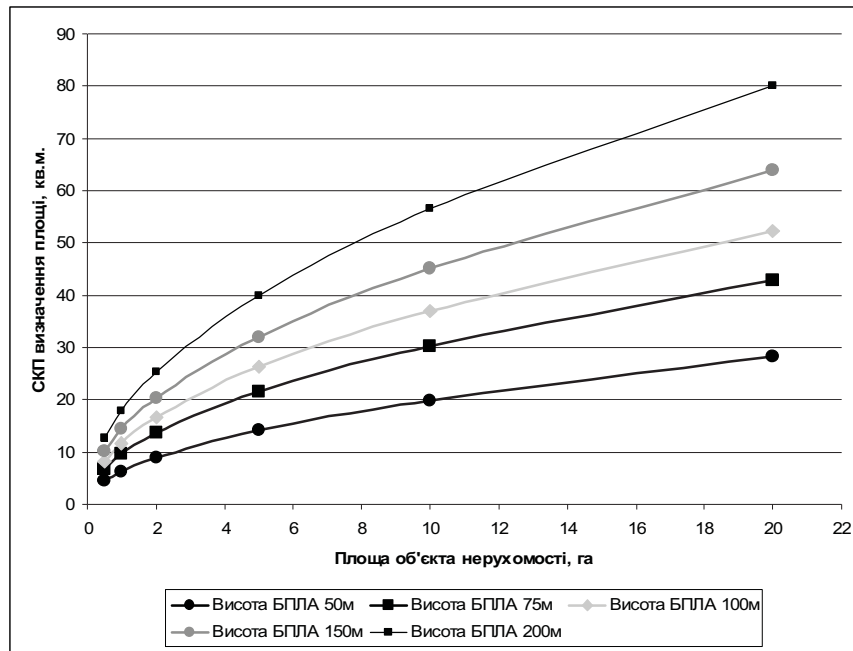


Рис. 2. Вплив висоти знімання місцевості із використанням БПЛА на СКП визначення площі об'єкта нерухомості.

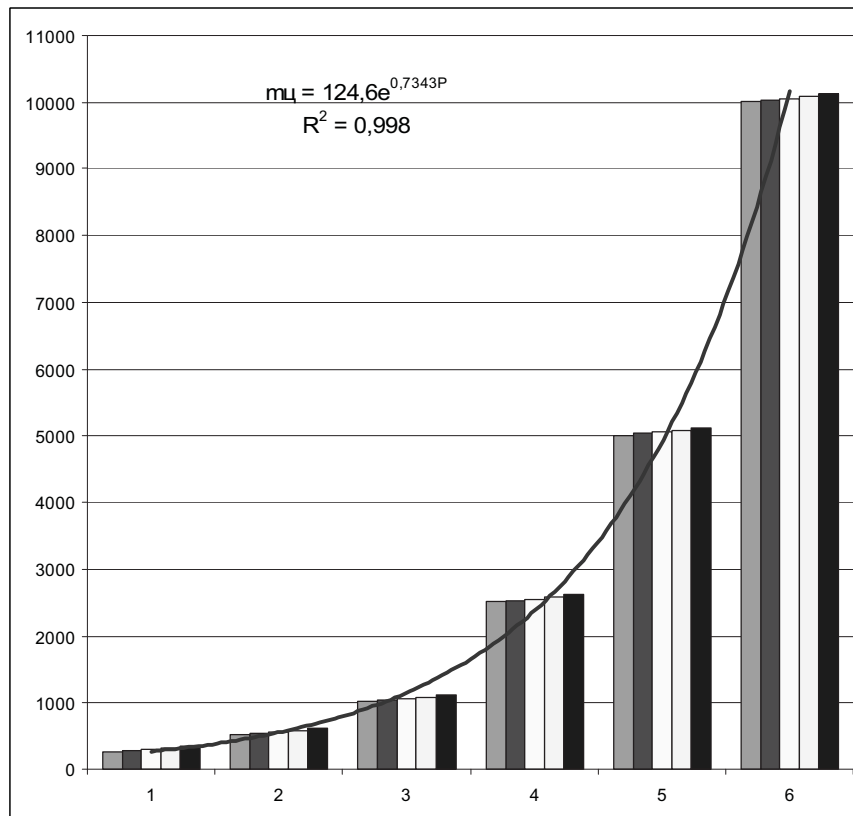


Рис. 3. Залежність СКП у вартості цілого об'єкта нерухомості від розміру його площі та висоти БПЛА

Щоб визначити розрізнення на місцевості  $R_{terr}$  стосовно компактних контрастних об'єктів, використовують вираз:

$$R_{terr \min} = R'_{terr} \cdot m = 2 \cdot \Delta \cdot m, \quad (15)$$

де  $R'_{terr} \cong 2 \cdot \Delta$ ,  $R'_{terr}$  – величина, обернена до частоти Найквіста у фокальній площині системи.

Ці вирази дають значення розрізнювальної здатності без урахування чинників польоту. З їх урахуванням у

[Kuczynsky Zdislaw, 2006] запропоновано вираз для знімання цифровою камерою за допомогою БПЛА:

$$2 \cdot R_{terr} \leq m_l \leq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_{terr}. \quad (16)$$

Результати розрахунків подано у табл. 4.

Отже, результати досліджень за показником Kella (табл. 4) разом із отриманими результатами

досліджень (табл. 2) доводять, що з метою отримання середньої квадратичної похибки  $m_l \leq 10$  см (для міст) БПЛА доцільно використовувати на висотах до 100 метрів, а для сіл і селищ ( $m_l \leq 20$  см) – на висотах до 200 м.

Таблиця 4

Оцінка точності цифрових знімків за показником Kella

Висота (H) знімання із БПЛА, м	Фокусна віддаль цифрової камери, мм	1 : m	$\Delta$ , мкм	$R_{terr}$ , см	$2 \cdot R_{terr} \div 2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_{terr}$ , см
50	15	1 : 3 300	5	1,65	3,3 ÷ 4,7
75	15	1 : 5 000	5	2,50	5,0 ÷ 7,1
100	15	1 : 6 670	5	3,34	6,7 ÷ 9,4
150	15	1 : 10 000	5	5,00	10,0 ÷ 14,1
200	15	1 : 13 333	5	6,67	13,3 ÷ 18,8

### Наукова новизна і практична значущість

Доведено, що точність визначення координат меж об'єктів нерухомості потрібно істотно підвищувати, застосовуючи новітні методи та технології, адже якщо у великих населених пунктах вартість нерухомості суттєва, то похибки у визначенні координат об'єктів нерухомості призведуть до значних похибок у їх вартості, що технічно, економічно та юридично недопустимо. Тому безпілотні літальні апарати необхідно застосовувати на висотах до 200 м і поступово підвищувати точність фотографування місцевості. Одержані у результаті виконаних досліджень середні квадратичні похибки у вартості 1 м<sup>2</sup> об'єкта нерухомості зазвичай менші за 0,3 % від його загальної вартості, що доводить важливість застосування БПЛА для оцінювальних робіт. Практична значущість застосування БПЛА полягає в додаткових перевагах порівняно з традиційними методами знімань, а саме можливості: отримання надвисокого розрізнення на місцевості; детального знімання невеликих об'єктів, де це нерентабельно або технічно неможливо тощо.

### Висновки

Застосування БПЛА дасть змогу оперативно та із застосуванням мінімальних людських та фінансових ресурсів виконати визначення площ об'єктів нерухомості з метою їх оцінки, складання кадастрових планів та ортофотопланів різного масштабового ряду для виконання завдань кадастру та моніторингових досліджень, а саме: сільських населених пунктів із хутірською забудовою, об'єктів нерухомості сільськогосподарських і водогосподарських підприємств у межах селищ, садівничих товариств, дачних селищ тощо.

Для великих населених пунктів точність визначення координат необхідно істотно збільшити, адже вартість нерухомості у цих населених пунктах доволі велика і відповідно похибки у визначенні координат об'єктів нерухомості призводять до похибок у вартості об'єктів нерухомості населеного пункту, що юридично недопустимо. Тому для дуже великих міст доцільно створювати знімання на невеликих висотах і поступово підвищувати точність фотографування місцевості.

Доведено важливість застосування БПЛА для оцінювання вартості об'єктів нерухомості, оскільки одержані у результаті виконаних обчислень середні квадратичні похибки у вартості 1 м<sup>2</sup> об'єкта нерухомості становлять величини, менші ніж приблизно 0,3 % від його загальної вартості.

**Перспективи** застосування БПЛА дають змогу створити цифрові моделі різноманітних поверхонь, виконувати 3D-модельовання, створювати топографічні плани, оцінювати об'єкти нерухомості, збирати дані для інвентаризації земель та ухвалювати різноманітні проектні рішення.

### Література

- Haletskyi V., Hlotov V., Kolesnichenko V. [ta inshi] (2012). Analiz eksperymentalnykh robot z stvorennia velykomasshtabnykh planiv silskykh naselennykh punktiv pry zastosuvanni BPLA. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, No. 76, S. 85–93.
- Hlotov V., Tserklevych A. L., Zbrutskyi O. [ta in.] (2014). Analiz i perspektyvy aeroonimannia z bezpilотноho litalnoho aparatu. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, No. I (27), S. 131–136.
- Burshtynska Kh. V., Stankevych S. A. (2013). *Aerokosmichni znimalni systemy: pidruchnyk*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 316 s.
- Hlotov V., Hunina A. (2014). Analiz mozhlyvostei zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia aeroonimalnykh protsesiv. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, No. II (28), S. 65–70.
- Hlotov V. M., Smolii K. B. (2008). Doslidzhennia tekhnolohii skladannia frontalnykh planiv arkhitekturnykh sporud nazemnym tsyfrovym znimanniam i lazernym skanuvanniam. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznimannia*, No. 70, S. 46–50.
- Hubar Yu. (2017). Analiz dotsilnosti zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia masovoi otsinky nerukhomosti naselennykh punktiv. aterialy II Vseukrainskoi naukovoii konferentsii "Heodeziia, zemleustrii, heoinformatyka v Pivdennomu rehioni:



- suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku". Odesa. S. 131–135.
- Hubar Yu. (2011). Vyznachennia neobkhidnoi tochnosti koordynat mezhovykh znakiv dlia otsinky zemel naselenykh punktiv. Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznimannia. Mizhvidomchyi nauk.-tekhn. zb. No. 74. S. 132–135.
- Dorozhynskiy O., Pochkin S. (2009). Pro deiaki vymohy kadastryvnykh robot do aerokosmichnoho znimannia. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Vyp. 1 (17). S. 209–216.
- Zakon Ukrainy "Pro topografo-heodezychnu i kartohrafichnu diialnist" (1999). Verkhovna Rada Ukrainy. Ofits. vyd. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. No. 5. 46 s.
- Lobanov A. N. (1984). Fotogrametriya. Moskva: Nedra, 552 s.
- Matiichyk M. P., Kachalo I. A. (2013). Tendentsii zastosuvannia bezpilotnykh povitrianykh suden v tsyvilnii aviatsii. Materialy XI mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konfer. "AVIA 2013". 97 s.
- Stankevych S. A., Vasko A. V. (2011). Zastosuvannia suchasnykh tekhnolohii aerokosmichnoho znimannia v ahrahnii sferi. *Naukovi aspekty heodezii, zemleustroi ta informatsiinykh tekhnolohii: materialy nauk.-prakt. konfer.* S. 44–50.
- Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. (2012). Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. XXII ISPRS Congress. Melbourne. P. 351–354.
- Droeschel D., Schreiber M., Behnke S. (2013). Omnidirectional perception for lightweight UAVs using a continuously rotating 3D laser scanner. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. P. 107–112.
- Gini R., Passoni D., Pinto L., Sona G. (2012). Aerial images from an UAV system: 3D modeling and tree species classification in a park area. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. XXII ISPRS Congress. Melbourne. P. 361–366.
- Grenzdorffer G., Niemeyer F., Schmidt F. (2012). Development of four vision camera system for a Micro-UAV. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. XXII ISPRS Congress–Melbourne. P. 369–374.
- Kurczynsky Zdislaw. (2006). Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 582 p.
- Makelainen A., Saari H., Hippel I., Sarkeala J., Soukka J. (2013). 2D-hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. P. 263–267.
- Hubar Yu. (2016). The use of unmanned aerial vehicles for estimating market real-estate value. *Geodesy, cartography and aerial photography*. No. 84. P. 76–89.

YU. HUBAR

The Department of Cadastre of Territory of Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, Ukraine, 79013 Tel. +38 (032) 2582631, e-mail Yurii.P.Hubar@lpnu.ua

#### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE POSITION OF THE INTERMEDIATE SIGNS RECEIVABLE BY SAFE LITERAL APPARATUS, ON THE COST OF REAL ESTATE

**Purpose.** The study of the effect of errors in the position of landmarks obtained using unmanned aerial vehicles, on the value of real estate. Aerospace for several decades is an effective tool for conducting geodetic works, geophysical studies and conducting various types of monitoring, but such methods are not used to assess the real estate. Modern technologies for the creation of topographical and cadastral plans are based precisely on the use of digital aerosol materials. However, the cost of using airplanes and helicopters for local large-scale take-off is on an order of magnitude higher and therefore an alternative solution is the use of UAVs. **Methodology.** Unmanned aerial vehicles (UAVs) are most often used as a cheap alternative to conventional airplanes from airplanes, helicopters, telescopes and satellite (satellite) takeoffs. In addition to significant cost-effectiveness (cheaper by ten times), UAVs have additional privileges, namely: low altitude, point-and-shoot, mobility, environmental cleanliness of flights. Land management works are mostly carried out unsystematically and without reliable control, and therefore the application of usual geodetic methods and measurement results does not allow obtaining the required precision of the coordinates of the points, boundaries and the film basis. All this leads to the problems of combining the boundaries of adjoining areas due to the use of poor-quality cadastral information in databases that were formed over a significant period of time by the regional centers of the SLC. **Results.** The use of UAVs proves the importance of them to perform valuation works, which will increase the accuracy of the determination of the coordinates of the boundaries of real estate and significantly accelerate the evaluation procedure. It is established that for large settlements, the accuracy of the determination of the coordinates should be significantly increased, since the cost of real estate in these settlements is quite large and, accordingly, the errors in determining the coordinates of real estate objects lead to errors in the cost of real estate objects of the settlement, which is legally unacceptable and therefore For very large cities it is expedient to create shots at low altitudes and gradually increase the accuracy of photographing the terrain. **Scientific novelty and practical significance.** The importance of using UAVs for assessing the value of real estate objects has been proved, as the resulting calculations result in average square errors in the value of 1 sq. M of real estate, amounting to less than 0.3% of its

total value. The practical significance of the use of UAVs lies in the existence of additional advantages over traditional shooting methods, namely the possibility of obtaining a super-distinction (one and ten centimeters) in the terrain; the detailed removal of small objects and small areas where it is completely unprofitable or technically impossible to do in other ways, for example, in urban development.

*Key words:* real estate evaluation; unmanned aerial vehicle; apriori accuracy estimation; remote sensing of land; market value of real estate.

### References

- Halets'kyi V., Hlotov V., Kolesnichenko V. [ta inshi]. (2012). Analiz eksperymentalnykh robot z stvorennia velykomasshtabnykh planiv silskykh naselenykh punktiv pry zastosuvanni BPLA [Analysis of pilot works on the creation of large-scale plans of rural settlements in the use of UAVs]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia*. No. 76. S. 85–93.
- Hlotov V., Tserklevych A.L., Zbrut'skyi O. [ta in.] (2014). Analiz i perspektyvy aeroznmannia z bezpilотноho litalnoho aparatu [Analysis and prospects of airspace from an unmanned aerial vehicle]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. No. I (27). S. 131–136.
- Burshtyn'ska Kh. V. Stankevych S. A. (201). *Aerokosmichni znmalni systemy [Aerospace shooting systems]: pidruchnyk*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky. 316 s.
- Hlotov V., Hunina A. (2014). Analiz mozhlyvosti zastosuvannia bezpilотноnykh litalnykh aparatyv dlia aeroznmalnykh protsesiv [Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for aerodynamic processes]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. No. II (28). S. 65–70.
- Hlotov V. M., Smolii K. B. (2008). Doslidzhennia tekhnologii skladannia frontalnykh planiv arkhitekturykh sporud nazemnym tsyfrovym znmanniam i lazernym skanuvanniam [Investigation of the technology of frontal plans for architectural constructions by ground digital scanning and laser scanning]. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia*. No. 70. S. 46–50.
- Hubar Yu. (2017). Analiz dotsilnosti zastosuvannia bezpilотноnykh litalnykh aparatyv dlia masovoi otsinky nerukhomosti naselenykh punktiv [Analysis of expediency of the use of unmanned aerial vehicles for mass assessment of the real estate of settlements]. *Materialy II Vseukrainskoi naukovoii konferentsii "Heodeziia, zemleustrii, heoinformatyka v Pivdennomu rehioni: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku"*. Odesa. S. 131–135.
- Hubar Yu. (2011). Vyznachennia neobkhidnoi tochnosti koordynat mezhovykh znakov dlia otsinky zemel naselenykh punktiv [Determination of the required accuracy of the coordinates of boundary marks for the assessment of the land of settlements]. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia*. *Mizhvidomchyi nauk.-tekhn. zb.* No. 74. S. 132–135.
- Dorozhyn'skyi O., Pochkin S. (2009). Pro deiaki vymohy kadastryvykh robot do aerokosmichnoho znmannia [About some requirements of cadastral work for aerospace removal]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Vyp. 1 (17). S. 209–216.
- Zakon Ukrainy "Pro topografo-heodezychnu i kartohrafichnu diialnist'" [Law of Ukraine "On topographic and geodetic and cartographic activity"] / Verkhovna Rada Ukrainy. – Ofits. vyd. // Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. 1999. No. 5. 46 s.
- Lobanov A. N. (1984). *Fotogrametriya [Photogrammetry]*. Moskva: Nedra, 552 s.
- Matiichyk M. P., Kachalo I. A. (2013). Tendentsii zastosuvannia bezpilотноnykh povitrianykh suden v tsyvilnii aviatsii [Tendencies of contingent detainee vessels in civil aviatsii]. *Materialy XI mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konfer. "AVIA 2013"*. 97 s.
- Stankevych S. A., Vasko A. V. (2011). Zastosuvannia suchasnykh tekhnologii aerokosmichnoho znmannia v ahrarynii sferi [Zastosuvannia of the modern technologies of aerodynamic znmannia in agrarian spheres]. *Naukovi aspekty heodezii, zemleustroi ta informatsiynykh tekhnologii: materialy nauk.-prakt. konfer.* S. 44–50.
- Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. (2012). Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. XXII ISPRS Congress. Melbourne. P. 351–354.
- Droeschel D., Schreiber M., Behnke S. (2013). Omnidirectional perception for lightweight UAVs using a continuously rotating 3D laser scanner. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. P. 107–112.
- Gini R. Passoni D., Pinto L., Sona G. (2012). Aerial images from an UAV system: 3D modeling and tree species classification in a park area. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. XXII ISPRS Congress. Melbourne. P. 361–366.
- Grenzdorffer G. Niemeyer F., Schmidt F. (2012). Development of four vision camera system for a Micro-UAV. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – XXII ISPRS Congress-Melbourne. P. 369–374.
- Kurczyn'skyi Zdzislaw. (2006). *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa. 582 p.
- Makelainen A., Saari H., Hippo I., Sarkeala J., Soukkamaki J. (2013). 2D-hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. P. 263–267.
- Hubar Yu. (2016). The use of unmanned aerial vehicles for estimating market real-estate value. *Geodesy, cartography and aerial photography*. No. 84. P. 76–89.