

ВПЛИВ НА ВАРТІСТЬ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ПОХИБОК ПОЛОЖЕННЯ МЕЖ
ОТРИМАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВIMPACT ON THE VALUE OF LAND BORDER POSITION ERRORS OBTAINED WITH THE
USE OF UNMANNED AIRCRAFT

Губар Юрій Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», кафедра «Кадастру територій», e-mail: Yuriy.P.Hubar@lpnu.ua, тел. +38(032)2582631, Україна, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери 12

<https://orcid.org/0000-0003-2538-0727>



Харченко Анна Миколаївна, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 323

<https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

Анотація. Мета наукової роботи – дослідження впливу похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості. Протягом декількох останніх десятиліть аерознімання є ефективним інструментом для виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та проведення різних видів моніторингів, проте слід зазначити, що для оцінки вартості нерухомості такі методи практично не застосовуються. Сучасні технології створення топографічних та кадастрових планів ґрунтуються саме на використанні матеріалів цифрового аерознімання [3]. Однак, собівартість застосування літаків та гелікоптерів для локального великомасштабного знімання на порядок вища і тому альтернативним рішенням є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [1, 2]. БПЛА найчастіше застосовують як значно дешевшу альтернативу традиційного аерознімання з літаків, гелікоптерів, мотodelьтапланів і космічного (супутникового) знімання. Окрім значної економічної ефективності (здешевлення у десятки разів), БПЛА мають додаткові привілеї, а саме: маловисотність, точковість, мобільність, екологічна чистота польотів [19]. Роботи із землеустрою здебільшого виконуються безсистемно і без надійного контролю і 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 формувалися на значному періоді часу регіональними центрами ДЗК [5]. Застосування БПЛА для виконання оціночних робіт дозволяє підняти точність визначення координат меж об'єктів нерухомості та суттєво пришвидшує процедуру оцінювання, що доводить практичну цінність запропонованого в даному дослідженні методу здійснення моніторингу. Встановлено, що для великих населених пунктів точність визначення координат необхідно значно збільшити, адже вартість нерухомості у цих населених пунктах досить велика і, відповідно, похибки у визначенні координат об'єктів нерухомості призводять до похибок у вартості об'єктів нерухомості населеного пункту, що юридично недопустимо. Таким чином, для великих міст доцільно створювати знімання на невеликих висотах і поступово підвищувати точність фотографування місцевості.

Наукова новизна та практична значущість. В дослідженні доведена практична цінність застосування БПЛА для оцінки вартості об'єктів нерухомості, оскільки одержані у результаті виконаних обчислень середні квадратичні похибки у вартості 1м² об'єкту нерухомості складають величини менші порядку 0,3% від його загальної вартості. Практична значущість застосування БПЛА полягає у існуванні додаткових переваг порівняно з традиційними методами знімань, а саме, можливість: отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десяті 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

Традиційно виготовлення ортофотоплану потребує наявності специфічного дорогого обладнання, приладів та відповідного програмного забезпечення. На сучасному етапі 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 проблем суміщення меж прилеглих ділянок внаслідок використання неякісної кадастрової інформації у базах даних, які формувалися на значному періоді часу регіональними центрами ДЗК [13, 5]. Таким чином, актуальним є питання застосування альтернативних менш затратних методів моніторингу. На сучасному етапі найперспективнішим напрямом у галузі поєднання дистанційного зондування і геоінформаційних технологій стану землекористувань є застосування безпілотних літаючих апаратів (БПЛА). Адже, технології з застосуванням БПЛА дозволяють: отримати надвисоке розрізнення місцевості, знімати на порівняно низьких висотах, працювати в умовах щільної забудови та на нерентабельних для знімання об'єктах. Таким чином, технології із застосуванням БПЛА дають змогу вийти на новітній рівень виконання землевпорядних робіт.

Мета цієї наукової праці є дослідження впливу похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості. Застосування БПЛА є ефективним інструментом виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та проведення різних видів моніторингів, однак для оцінки нерухомості такі методи не застосовуються. Таким чином однією з цілей даної роботи є вивчення переваг та перспектив застосування БПЛА в оцінці нерухомого майна.

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

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

На основі вище наведеного повинні базуватися судження, розрахунки та висновки оцінювачів. У першу чергу, досліджують загальні дані, що мають ціноутворюючу 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 і оренди, порівняльної прибутковості різних об'єктів нерухомості.

Отже, технологічний процес виконання оцінки нерухомості із застосуванням БПЛА, на нашу думку, повинен включати наступні принципові положення:

- процес оцінки повинен охоплювати увесь комплекс робіт, який умовно можна розділити на декілька етапів, кожен з яких має вагомий зміст для того, щоб виконана оцінка відповідала канонам об'єктивності та незалежності;
- діяльність оцінювача повинна розпочинатися з первинного дослідження ситуації, для того щоб на початковій стадії отримати 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 збору та аналізу даних, що дає змогу сформулювати переконання щодо ринкової вартості об'єкта оцінки та ціноутворюючих чинників. При цьому досліджується: ринкова ситуація, де представлено об'єкт оцінки; характеристики об'єктів-аналогів і об'єкта оцінки; співвідношення попиту та пропозиції на подібні об'єкти;

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

- зібрані за допомогою БПЛА та проаналізовані оцінювачем дані слугують основою для встановлення КНЕВ об'єкту оцінки та обґрунтування вибору адекватного методичного підходу до здійснення вартісної оцінки [19, 6].

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

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

Згідно з [3, 4, 8, 11] для виготовлення ортофотоплану за допомогою БПЛА необхідно:

- персональний комп'ютер та відповідне програмне забезпечення;
- безпілотний літальний апарат (в даному дослідженні застосовано БПЛА Trimble UX5);
- опрацьовані методи GPS-знімання для планово-висотної прив'язки цифрового зображення;
- територія для дослідження.

Використання БПЛА дозволяє швидко здійснити цифрове знімання спроектованої території та одержати об'єктивні відомості про фізичну наявність будівель у населеному пункті, оскільки зображення залишається істинним документом, завдяки якому завжди можна переконатися у положенні та конфігурації меж ділянок [12, 14].

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 хід оцінки об'єкта нерухомого майна та забезпечує відкритість процесу 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 оцінки подальшого впливу цих похибок на вартість об'єктів нерухомості, оскільки опрацювання зображень буде виконуватися при застосуванні оберненої фотограмметричної засічки, доцільно застосувати наступний алгоритм [10, 15, 18]:

$$\begin{cases} X = B \cdot \frac{x_{l_i}}{p} \\ Y = B \cdot \frac{y_{l_i}}{p} \\ Z = -B \cdot \frac{f}{p_i} \end{cases} \quad (1)$$

де:

B - базис, м;

x_{l_i} - половина горизонтальної складової пристрою із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) – матриці

ЦНЗК, мм;

y_{l_i} - половина вертикальної складової ПЗЗ-матриці ЦНЗК, мм;

p_i - паралакс, мм.

Паралакс розраховують за формулою:

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

де:

f - фокусна віддаль, мм;

H - висота фотографування, м.

Базис розраховується за формулами:

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

де:

P_X - відсоток поздовжнього перекриття зображення, %;

b_X - базис на стереопарі, мм;

m - знаменник масштабу цифрового зображення.

Або:

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

Знаменник масштабу цифрового зображення визначається за формулою:

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

Оскільки кути нахилу цифрового зображення не перевищують $3 \cdot 5^0$, при відповідній стабілізації БПЛА, застосуємо спрощені формули трансформування:

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

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

Можна записати:

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

Аналогічно знайдемо dp прийнявши, що $\Delta H = B \cdot v = \frac{H}{f} \cdot b \cdot v$ і враховуючи вплив лише похибок елементів взаємного орієнтування, отримаємо:

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

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 отримаємо [10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} dX = m \cdot x_{i_1} \cdot \left(\frac{dx_{i_1}}{x_{i_1}} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{i_1}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{i_1} y_{i_1}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \frac{y_{i_1}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{i_1}}{f} dv \right) \\ dY = m \cdot y_{i_1} \cdot \left(\frac{dy_{i_1}}{y_{i_1}} - \frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{i_1}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{i_1} y_{i_1}}{f \cdot p_t} d\Delta\omega + \frac{y_{i_1}}{p_t} d\Delta\chi + \frac{x_{i_1}}{f} dv \right) \\ dZ = m \cdot f \cdot \left(-\frac{dp_t}{p_t} + \frac{x_{i_1}^2}{f \cdot p_t} d\Delta\alpha + \frac{x_{i_1} y_{i_1}}{f \cdot p_y} d\Delta\omega + \frac{y_{i_1}}{p_y} d\Delta\chi + \frac{x_{i_1}}{f} dv \right) \end{array} \right. \quad (9)$$

Будемо вважати, що ці похибки випадкові і незалежні (у нашому випадку їх залежність суттєво не впливає на кінцеві значення), знайдемо СКП планових координат m_X , m_Y , оскільки кадастрові плани не потребують висотної компоненти, можна записати:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_X = m \cdot x_{i_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{m_{x_1}}{x_{i_1}} \right)^2 + \left(\frac{m_{y_1}}{B \cdot f / H} \right)^2 + \left(\frac{x_{i_1}^2}{f \cdot (B \cdot f / H)} \cdot m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left(\frac{x_{i_1} \cdot y_{i_1}}{f \cdot (B \cdot f / H)} \cdot m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left(\frac{y_{i_1}}{B \cdot f / H} \cdot m_{\Delta\chi} \right)^2 + \left(\frac{x_{i_1}}{f} \cdot m_v \right)^2} \\ m_Y = m \cdot y_{i_1} \cdot \sqrt{\left(\frac{m_{y_1}}{y_{i_1}} \right)^2 + \left(\frac{m_{x_1}}{B \cdot f / H} \right)^2 + \left(\frac{x_{i_1}^2}{f \cdot (B \cdot f / H)} \cdot m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left(\frac{x_{i_1} \cdot y_{i_1}}{f \cdot (B \cdot f / H)} \cdot m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left(\frac{y_{i_1}}{B \cdot f / H} \cdot m_{\Delta\chi} \right)^2 + \left(\frac{x_{i_1}}{f} \cdot m_v \right)^2} \end{array} \right. \quad (10)$$

Двовимірну середню квадратичну похибку положення точки (пункту) m_t розраховується 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 [16] та прийемо такі вихідні значення (табл.1).

Таблиця 1 – Вихідні дані для виконання розрахунків

Table 1 – Input data for calculations

Елементи формул	Значення
Розмір ПЗЗ матриці (камера SONY NEX 5R), мм	15 x 22
Абсциса кадрової рамки ПЗЗ матриці ЦНЗК x_d , мм	7,5
Ордината кадрової рамки ПЗЗ матриці ЦНЗК y_d , 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

Результати розрахунків за отриманими формулами (10), (11) представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Априорне значення СКП планових координат точок

Table 2 – A priori value of the SCP of the plan coordinates of the points

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 значний вплив має похибка визначення базису та характеристики цифрової камери. Ці значення відповідають точності складання топографічних планів у масштабах 1:500 (висота знімання до 100м) та 1:1000 (висота знімання від 100м до 200м).

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

Як видно із рис. 1 похибка положення меж поступово зростає із збільшенням висоти знімання H (при не змінних вихідних даних табл. 1). Отримані похибки, на сьогодні, задовольняють вимоги до знімання з метою оцінки територій середніх та малих населених пунктів (з хутірською забудовою), вартість об'єктів нерухомості в яких невелика і ці похибки дозволять отримати наближену до ринкової вартість нерухомості.

Використовуючи отриману нами у [7] формулу:

$$m_{\text{ц}} = \sqrt{C_0^2 \cdot m_t^2 \cdot P + P^2 \cdot \frac{C_0^2}{16 \cdot 10^4}} =$$

$$= C_0 \cdot \sqrt{P \cdot \left(m_t^2 + \frac{P}{16 \cdot 10^4} \right)}$$
(12)

де:

C_0 - вартість 1м² об'єкта нерухомості, грн.;

P - площа об'єкта нерухомості земельної ділянки, м²;

m_t - двовимірна середня квадратична похибка положення точки (пункту) .

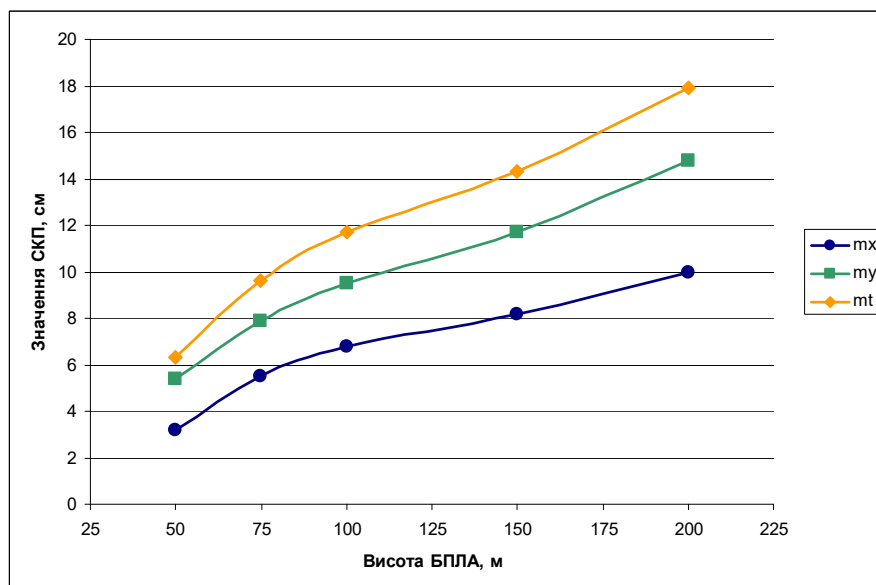


Рисунок 1 – Вплив висоти знімання місцевості БПЛА на СКП положення меж об’єкта нерухомості

Figure 1 – The influence of the height of the UAV terrain survey on the SCP of the position of the boundaries of the real estate object

Отже, здійснимо розрахунок впливу СКП положення пункту m_i отриманої із використання БПЛА на величину СКП у визначенні вартості об’єкта нерухомості і результати розрахунків представимо у табл. 3. Для розрахунків приймемо, що C_0 становитиме 20 гривень і її конфігурація наближена до квадрату.

Таблиця 3 – Розрахунок похибки у визначенні вартості об’єкта нерухомості із використанням БПЛА
Table 3 – Calculation of the error in determining the value of a real estate object using UAVs

Елементи формул	Площа ділянки P , га					
	0,5	1	2	5	10	20
1	2	3	4	5	6	7
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_i , м	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
m_p , м ²	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_c , грн.	265	516	1016	2516	5016	10016
Висота знімання $H = 75$ м						
m_i , м	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096
m_p , м ²	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_c , грн.	284	536	1036	2536	5037	10037

Продовження таблиці 3
Continuation of table 3

1	2	3	4	5	6	7
Висота знімання $H = 100$ м						
m_t , м	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
m_p , м ²	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 ²	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 ²	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

Як видно із табл. 3 отримані відносні похибки визначення площ (затемнені частини таблиці) повністю задовольняють [9] ($1/T_{доп} = 1/1000$) і для таких об'єктів доцільно використовувати БПЛА з метою їх оцінки.

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

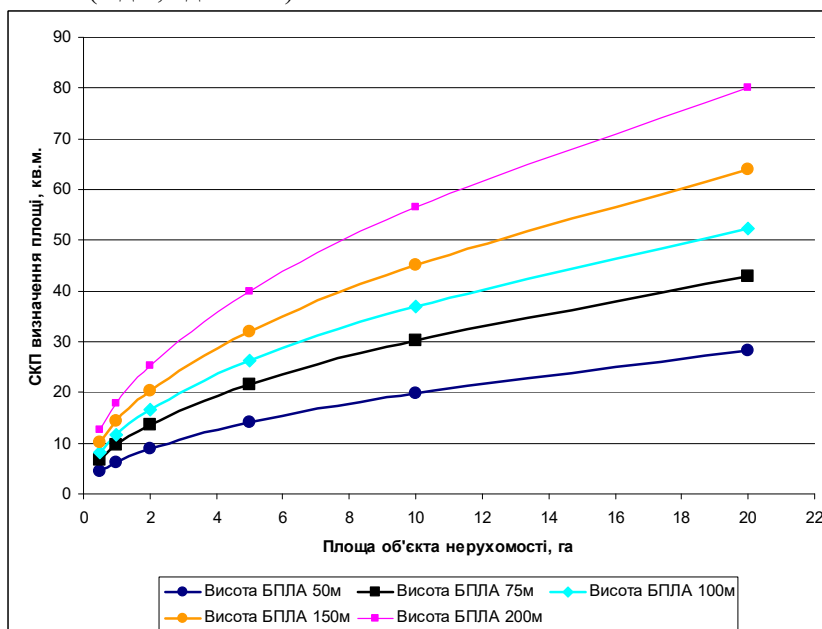


Рисунок 2 – Вплив висоти знімання місцевості із використанням БПЛА на СКП визначення площі об'єкта нерухомості

Figure 2 – The influence of the height of terrain survey using a UAV on the SCP of determining the area of a real estate object

Отримані похибки у вартості, в основному, становить менше 0,3% від вартості об'єкта нерухомості, що говорить про доцільність застосування БПЛА для оцінки вартості об'єктів

нерухомості. На рис. 3 представлено залежність СКП у вартості цілого об'єкта нерухомості від розміру його площі та висоти БПЛА.

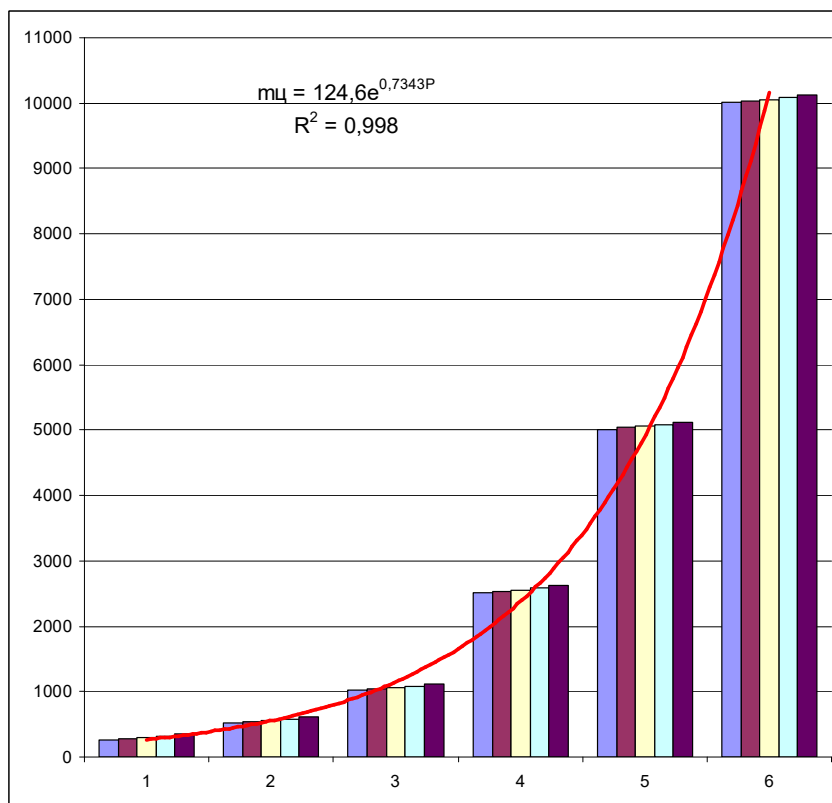


Рисунок 3 – Залежність СКП у вартості цілого об'єкта нерухомості від розміру його площі та висоти БПЛА

Figure 3 – Dependence of the SCP in the value of the entire real estate object on the size of its area and the height of the UAV

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

Ап'орна оцінка точності за показником Kella

Точність цифрових знімків розраховують за наближеною формулою [17]:

$$R_{terr} = \Delta \cdot m, \tag{13}$$

де:

R_{terr} - середня квадратична похибка положення пункту, см;

Δ - лінійний розмір пікселя, мкм (для цифрової камери SONY NEX 5R – $\Delta = 5 \text{ мкм}$);

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 з дискретних приймачів, в літературі запропоновано обмежити слугу пропускання просторових частот частотою Найквіста, яку визначають з виразу:

$$N_H = \frac{1}{2 \cdot \Delta}, \tag{14}$$

де:

N_H - просторова частота, яка у фокальній площині відповідає частоті Найквіста, мм^{-1} .

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

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

де:

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

Ці вирази дають значення розрізняювальної здатності без урахування чинників польоту. З їх урахуванням в [17] запропоновано вираз для знімання цифровою камерою за допомогою БПЛА:

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

Результати розрахунків подано у табл. 4.

Таблиця 4 – Оцінка точності цифрових знімків за показником Kella

Table 4 – Evaluation of the accuracy of digital images according to the Kella indicator

Висота (Н) знімання із БПЛА, м	Фокусна віддаль цифрової камери, мм	1 : m	Δ , 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

Отже, отримані результати досліджень за показником Kella (табл. 4) разом із отриманими результатами досліджень (табл. 2) доводять, що з метою отримання середньої квадратичної похибки $m_t \leq 10\text{см}$ (для міст) БПЛА доцільно використовувати на висотах до 100 метрів, а для сіл і селищ ($m_t \leq 20\text{см}$) – на висотах до 200м.

Наукова новизна і практична значущість

Доведено, що точність визначення координат меж об'єктів нерухомості потрібно суттєво збільшувати шляхом застосування новітніх методів та технологій, адже якщо у великих населених пунктах вартість нерухомості суттєва, тоді похибки у визначенні координат об'єктів нерухомості призведуть до значних похибок і у їх вартості, що технічно, економічно та юридично неприпустимо. Саме безпілотні літальні апарати можуть слугувати інструментом до вирішення цієї складної задачі, оскільки, їх можна застосовувати на висотах до 200м і поступово підвищувати точність фотографування місцевості. Одержані у результаті виконаних досліджень середні квадратичні похибки у вартості 1м² об'єкту нерухомості складають величини менші порядку 0,3% від його загальної вартості, що доводить важливість застосування БПЛА для оціночних робіт. Практична значущість застосування БПЛА полягає в існуванні додаткових переваг порівняно з традиційними методами знімання, а саме можливість: отримання надвисокого розрізнення на місцевості; детального знімання невеликих об'єктів де це нерентабельно або технічно неможливо тощо.

Висновки

Застосування БПЛА дозволить оперативно та із застосуванням мінімальних, як людських, так і фінансових ресурсів, виконати визначення площ об'єктів нерухомості з метою її оцінки, складання кадастрових планів та ортофотопланів різного масштабного ряду для виконання завдань кадастру та моніторингових досліджень, зокрема, наприклад, сільських населених пунктів з хутірською забудовою, об'єктів нерухомості сільськогосподарських і водогосподарських підприємств у межах селища, садівничого товариства, дачного селища тощо.

Для великих населених пунктів точність визначення координат необхідно значно збільшити, адже вартість нерухомості у цих населених пунктах досить 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 створювати знімання на невеликих висотах і поступово підвищувати точність фотографування місцевості.

Доведена важливість застосування БПЛА для оцінки вартості об'єктів нерухомості, оскільки одержані у результаті виконаних обчислень середні квадратичні похибки у вартості 1м² об'єкту нерухомості складають величини менші порядку 0,3% від його загальної вартості.

Перспективи застосування БПЛА дозволяють створити цифрові моделі різноманітних поверхонь, виконувати 3D-моделювання, створювати топографічні плани, оцінювати об'єкти нерухомості, збирати дані для інвентаризації земель та ухвалювати різноманітні проектні завдання.

Перелік посилань

1. Analiz eksperymentalnykh robot z stvorennia velykomasshtabnykh planiv silskykh naselenykh punktiv pry zastosuvanni BPLA / Haletskyi V., Hlotov V., Kolesnichenko V. [ta inshi] // Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia. - 2012. - № 76. - S.85-93.
2. Analiz i perspektyvy aereznmannia z bezpilotnoho litalnogo aparatu / Hlotov V., Tserklevych A.L., Zbrutskyi O. [ta in.] // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2014. - №I(27). – S.131-136.
3. Burshtynska Kh.V. Aerokosmichni znimalni systemy: pidruchnyk / Kh.V. Burshtynska, S.A. Stankevych. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. 2013. – 316s.
4. Hlotov V. Analiz mozhlyvosti zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia aereznmalnykh protsesiv /Hlotov V., Hunina A. //Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2014. - №II(28). – S.65-70.
5. Hlotov V.M. Doslidzhennia tekhnologii skladannia frontalnykh planiv arkhitekturykh sporud nazemnym tsyfrovym znmanniam i lazernym skanuvanniam /Hlotov V.M., Smolii K.B.// Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia.– 2008. - №70. – S. 46-50.
6. Hubar Yu. Analiz dotsilnosti zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia masovoi otsinky nerukhomosti naselenykh punktiv / Hubar Yu. // Materialy II Vseukrainskoi naukovoii konferentsii «Heodeziia, zemleustrii, heoinformatyka v Pivdennomu rehioni: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku». – Odesa. – 2017. – S.131-135.
7. Hubar Yu. Vyznachennia neobkhdnoi tochnosti koordynat mezhovykh znakiv dlia otsinky zemel naselenykh punktiv / Hubar Yu.// Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia. Mizhvidomchyi nauk.-tekhn. zb. – 2011. – № 74 –S.132–135.
8. Dorozhynskyi O. Pro deiaki vymohy kadastryvykh robot do aerokosmichnoho znmannia / O. Dorozhynskyi, S. Pochkin // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2009. – Vyp. 1 (17). – S.209–216.
9. Zakon Ukrainy «Pro topografo-heodezychnu i kartohrafichnu diialnist» / Verkhovna Rada Ukrainy. – Ofits. vyd. // Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 1999. –№5. – 46s.
10. Lobanov A.N. Fotogrametriya / Lobanov A.N.: Moskva: Nedra, 1984. – 552s.
11. Matiichyk M.P. Tendentsii zastosuvannia bezpilotnykh povitrianykh suden v tsyvilnii aviatsii / Matiichyk M.P., Kachalo I.A // Materialy XI mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konfer. "AVIA 2013". - 2013. - 97s.
12. Stankevych S.A. Zastosuvannia suchasnykh tekhnologii aerokosmichnoho znmannia v ahramnii sferi / Stankevych S.A., Vasko A.V. // Naukovi aspekty heodezii, zemleustroiu ta informatsiinykh tekhnologii: materialy nauk.-prakt. konfer. - 2011. - S.44-50.
13. Chen J. Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi / Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress. Melbourne. -2012. -P. 351-354.
14. Droschel D. Omnidirectional perception for lightweight UAVs using a continuously rotating 3D laser scanner / Droschel D., Schreiber M., Behnke S. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. - 2013. - P. 107-112.
15. Gini R. Aerial images from an UAV system: 3D modeling and tree species classification in a park area Gini R., D. Passoni D., Pinto L., Sona G. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress. Melbourne. - 2012. - P. 361-366.
16. Grenzdorffer G. Development of four vision camera system for a Micro-UAV / Grenzdorffer G., Niemeyer F., Schmidt F. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress-Melbourne. - 2012. - P. 369-374.
17. Kurczynsky Zdislaw. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi / Kurczynsky Zdislaw // Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. – Warszawa. 2006. – 582 p.
18. Makelainen A. 2D-hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking / Makelainen A., Saari H., Hippo I., Sarkeala J., Soukkamaki J.// The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. - 2013. - P. 263-267.
19. Hubar Yu. The use of unmanned aerial vehicles for estimating market real-estate value / Hubar Yu. // Geodesy, cartography and aerial photography. №84. – 2016. – P.76-89.

THE INFLUENCE ON THE VALUE OF LAND PLOTS OF BORDER POSITION ERRORS OBTAINED WITH THE USE OF UAVS

Hubar Yurii P., Doctor of Technical Science, Professor, The Department of Cadastre of Territory of Lviv Polytechnic National University 12 Bandera Str., Lviv, Ukraine, 79013 Tel. +38 (032) 2582631, e-mail Yurii.P.Hubar@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2538-0727>

Kharchenko Anna N., Doctor of Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Professor of Transport Construction and Property Management Department, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 323, <http://orcid.org/0000-0001-8166-6389>.

Abstract. 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.

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

References

1. Analiz eksperymentalnykh robit 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] / Haletskyi V., Hlotov V., Kolesnichenko V. [ta inshi] // Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia. - 2012. - № 76. - S.85-93. [in Ukrainian].
2. Analiz i perspektyvy aeroznimannia z bezpilotnoho litalnoho aparatu [Analysis and prospects of airspace from an unmanned aerial vehicle] / Hlotov V., Tserklevych A.L., Zbrutskyi O. [ta in.] // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2014. - №1(27). – S.131-136. [in Ukrainian].
3. Burshtynska Kh.V. Aerokosmichni znymalni systemy [Aerospace shooting systems]: pidruchnyk / Kh.V. Burshtynska, S.A. Stankevych. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky. 2013. – 316s. [in Ukrainian].
4. Hlotov V. Analiz mozhlyvosti zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia aeroznymalnykh protsesiv [Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for aerodynamic processes] / Hlotov

- V., Hunina A. //Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2014. - №II(28). – S.65-70. [in Ukrainian].
5. Hlotov V.M. Doslidzhennia tekhnologii skladannia frontalnykh planiv arkhitekturnykh sporud nazemnym tsyfrovym znimanniam i lazernym skanuvanniam [Investigation of the technology of frontal plans for architectural constructions by ground digital scanning and laser scanning] /Hlotov V.M., Smolii K.B.// Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia.– 2008. - №70. – S. 46-50. [in Ukrainian].
6. Hubar Yu. Analiz dotsilnosti zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ 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] / Hubar Yu. // Materialy II Vseukrainskoi naukovoï konferentsii «Heodeziia, zemleustrii, heoinformatyka v Pivdennomu rehioni: suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku». – Odesa. – 2017. – S.131-135. [in Ukrainian].
7. Hubar Yu. Vyznachennia neobkhidnoi tochnosti koordynat mezhovykh znakiv dlia otsinky zemel naselenykh punktiv [Determination of the required accuracy of the coordinates of boundary marks for the assessment of the land of settlements] / Hubar Yu.// Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia. Mizhvidomchyi nauk.-tekhn. zb. – 2011. – № 74 –S.132–135. [in Ukrainian].
8. Dorozhynskiy O. Pro deiaki vymohy kadastryvykh robot do aerokosmichnoho znimannia [About some requirements of cadastral work for aerospace removal] / O. Dorozhynskiy, S. Pochkin // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2009. – Vyp. 1 (17). – S.209–216. [in Ukrainian].
9. Zakon Ukrainy «Pro topografo-heodezychnu i kartografichnu diialnist» [Law of Ukraine "On topographic and geodetic and cartographic activity"] / Verkhovna Rada Ukrainy. – Ofits. vyd. // Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 1999. –№5. – 46s. [in Ukrainian].
10. Kocheryhin L.Iu. Fotogrammetriia: navch. posib. dlia stud. ahrarnykh VNZ (koledzhiv i tekhnikumiv) za napriamom pidhotovky 19 «Arkhitektura ta budivnytstvo» spetsialnosti 193 «Heodeziia ta zemleustrii». Bila Tserkva, 2019. 496 s. [in Ukrainian].
11. Matiichyk M.P. Tendentsii zastosuvannia bezpilotnykh povitrianykh suden v tsyvilnii aviatsii [Tendencies of contingent detainee vessels in civil aviatsi] / Matiichyk M.P., Kachalo I.A // Materialy XI mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konfer. "AVIA 2013". - 2013. - 97s. [in Ukrainian].
12. Stankevych S.A. Zastosuvannia suchasnykh tekhnologii aerokosmichnoho znimannia v ahrarnii sferi [Zastosuvannya of the modern technologies of aerokosmnychny zn_mannya in agrarian spheres] / Stankevych S.A., Vasko A.V. // Naukovi aspekty heodezii, zemleustroi ta informatsiinykh tekhnologii: materialy nauk.-prakt. konfer. - 2011. - S.44-50. [in Ukrainian].
13. Chen J. Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi / Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress. Melbourne. -2012. -P. 351-354. [in English].
14. Droschel D. Omnidirectional perception for lightweight UAVs using a continuously rotating 3D laser scanner / Droschel D., Schreiber M., Behnke S. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. - 2013. - P. 107-112. [in English].
15. Gini R. Aerial images from an UAV system: 3D modeling and tree species classification in a park area Gini R., D. Passoni D., Pinto L., Sona G. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress. Melbourne. - 2012. - P. 361-366. [in English].
16. Grenzdorffer G. Development of four vision camera system for a Micro-UAV / Grenzdorffer G., Niemeyer F., Schmidt F. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress-Melbourne. - 2012. - P. 369-374. [in English].
17. Kurczynsky Zdislaw. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi / Kurczynsky Zdislaw // Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. – Warszawa. 2006. – 582 p. [in Polish].
18. Makelainen A. 2D-hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking / Makelainen A., Saari H., Hippo I., Sarkeala J., Soukkamaki J.// The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. - 2013. - P. 263-267. [in English].
19. Hubar Yu. The use of unmanned aerial vehicles for estimating market real-estate value / Hubar Yu. // Geodesy, cartography and aerial photography. №84. – 2016. – P.76-89. [in English].