

УДК 528.837

д.т.н., професор Шульц Р.В.,  
Київський національний університет будівництва і архітектури,  
к.т.н. Крельштейн П.Д.,  
КП «Київський інститут земельних відносин»,  
к.т.н., доцент Маліна І.А.,  
Одеська державна академія будівництва і архітектури

## ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ФОТОГРАФУВАННЯ ПРИ БЕЗПЛОТНОМУ АЕРОФОТОЗНІМАННІ

*Розглянуто питання розрахунку основних параметрів фотографування при аерофотозніманні з безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Всі параметри розділено на три категорії: параметри, що задаються або вибираються, параметри, що обчислюються, параметри, що вимірюються. Розраховано вплив зміни формату ПЗЗ-матриці на зміну розміру сторони знімка на місцевості. Обґрунтовано доцільність ретельного дослідження всіх параметрів аерофотознімання при зніманні з БПЛА.*

**Постановка задачі.** Протягом останніх років технологія аерофотознімання з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стала викликом традиційним технологіям аерофотознімання та космічного знімання. У всьому світі при зніманні об'єктів, розмір яких знаходиться в межах 100 км x 100 км, виконується за безпіотною технологією, з використанням різних типів носіїв. В такому випадку переваги БПЛА є незаперечними. Причому точність отриманих даних відповідає, як вимогам інструкцій і замовників, так і може бути порівняною із відповідними матеріалами, що отримані при традиційному аерофотозніманні. При цьому за своєю вартістю та оперативністю виконання робіт безпілотна технологія набагато випереджає традиційні технології [2;3].

Звичайно, як будь-яка інша технологія, знімання з використанням БПЛА має свої недоліки. За думкою багатьох фахівців, головною проблемою знімання з БПЛА є те, що отримані матеріали не відповідають вимогам до традиційного аерофотознімання (великі кути нахилу та розвороту, значні коливання висоти). Сучасні програмні засоби дозволяють у багатьох випадках подолати ці недоліки, завдяки надлишковості інформації, що отримується при зніманні. Проте на відміну від традиційного аерофотознімання, коли мова йде про знімання для отримання карт і планів у конкретних масштабах і для цього використовується загально відомий перелік аерофотокамер з фіксованими параметрами, при зніманні з БПЛА може бути використана будь-яка камера, а конкретні вимоги до отриманих матеріалів будуть залежати не тільки від

характеристик камер, які є неметричними, а й від параметрів аерофотознімання та аеродинамічних характеристик БПЛА. Тому при виконанні знімання з БПЛА розрахунок відомих, нормативних параметрів аерофотознімання слід вважати недостатнім. Необхідно враховувати той факт, що для кожної моделі БПЛА з унікальними аеродинамічними характеристиками може змінюватись тип знімальної апаратури, точність визначення навігаційних параметрів та погодні умови. Тому до розрахунку параметрів аерофотознімання з БПЛА слід ставитись з обережністю і варто виконувати дослідження, як зміна певних характеристик БПЛА може вплинути на зміну параметрів аерофотознімання та відповідно на якість матеріалів аерофотознімання.

**Мета роботи.** Метою роботи є визначення основних параметрів фотографування при безпілотному аерофотозніманні та проведення аналізу впливу зміни розміру ПЗЗ-матриці на зміну сторони знімка на місцевості, та відповідно на розмір площі ділянки, яка може бути відзнята при аерофотозніманні.

**Огляд літературних джерел.** Представлена публікація є першою спробою розглянути в комплексі питання встановлення та розрахунку основних параметрів при зніманні з БПЛА. Фірми виробники БПЛА найчастіше оминають стороною питання параметрів фотографування. За виключенням роботи [1] вся увага виробників зосереджена на рекламних показниках точності та швидкості збирання даних без чітких рекомендацій, як саме досягнути вказаної в рекламі точності та швидкості. Більшість публікацій з БПЛА присвячено питанням практичного застосування та реалізації конкретних проектів з використанням БПЛА [1;4;5;6].

Наукова спільнота останнім часом приділяє значну увагу питанню вибору та розрахунку основних параметрів при безпілотному аерофотозніманні [3;8;9]. Досить часто плутаються поняття параметрів, що задаються та параметрів, що вимірюються або розраховуються. Основними питаннями, що розглядаються в наукових публікаціях є розрахунок зони, яку покриває БПЛА при зніманні. Особливо слід відмітити роботу [1], де розглянуто вплив кутів нахилу на площу поверхні, що відобразилась на знімку, вплив зміщення зображення, вплив вітрових навантажень на знімання, оцінку різних показників вартості аерофотознімання з БПЛА. Проте до теперішнього часу відсутній перелік нормативних параметрів, які необхідно прийняти та розрахувати для отримання даних необхідної якості.

**Виклад основного матеріалу.** Перш за все відмітимо, що параметри аерофотознімання є відправними характеристиками від яких залежить весь подальший процес збирання та оброблення даних. Це стає зрозумілим, якщо поглянути на технологічну схему створення карт і планів за матеріалами

безпілотного аерознімання (рис. 1).

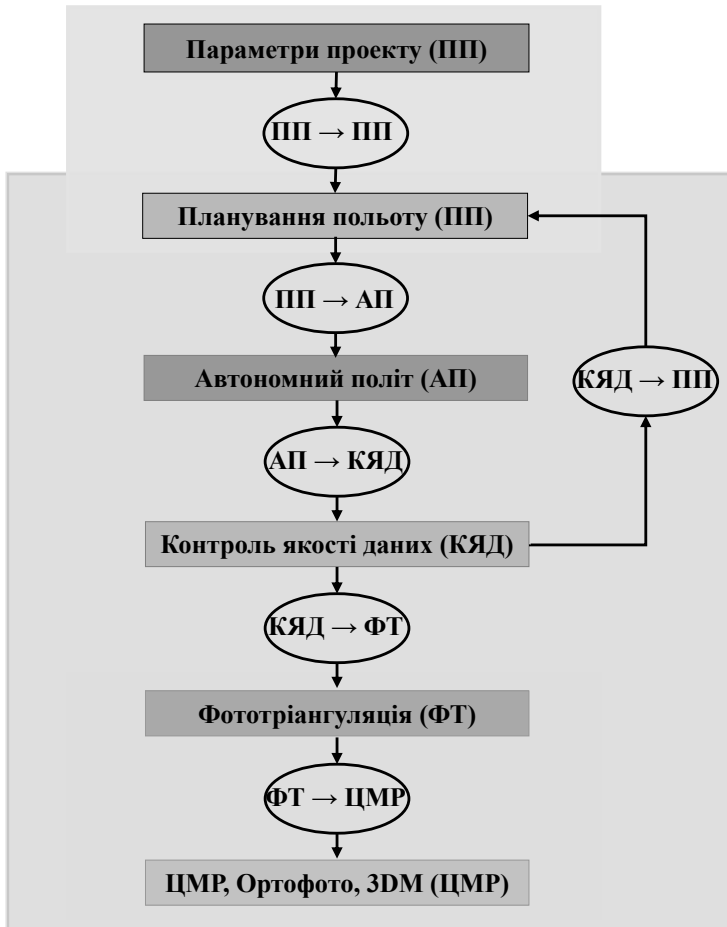


Рис. 1 Технологічна схема створення цифрових даних за матеріалами безпілотного аерофотознімання [3]

Перш за все необхідно визначити, які параметри аерофотознімання необхідно прийняти, які необхідно розрахувати, і які необхідно виміряти при зніманні.

Аналізуючи джерела [1;3;7] можемо систематизувати всі параметри, що використовуються при традиційному аерофотозніманні та зніманні з БПЛА. Виділимо параметри, що стосуються безпілотного аерофотознімання та представимо їх в табл. 1.

Таблиця 1

## Параметри безпілотного аерофотознімання

| Параметр   | Позначення  |
|--|---|
| <i>Параметри, що вибираються (задаються)</i>                                 |   |
| Масштаб аерофотознімка   | $m$   |
| Фокусна відстань   | $f$ , мм  |
| Розмір матриці цифрової камери   | $S'(x, y)$ , мм                                   |
| Розмір пікселя цифрової камери   | $p_x, p_y$ , МКМ                                  |
| Розмір діагоналі матриці   | $d$ , мм  |
| Координати кутів повороту ділянки  | $P_{1...A}(X, Y)$ , м                             |
| Середня висота ділянки   | $H_t$ , м   |
| Довжина і ширина ділянки знімання  | $L_p, L_q$ , м                                    |
| Поздовжнє та поперечне перекриття  | $p, q$ , %  |
| Коефіцієнт, що залежить від методу вимірювання координат на знімку (0,1-0,5) | $k$   |
| Швидкість БПЛА   | $V$ , км/год                                      |
| Час роботи затвору   | $\Delta t$ , сек                                  |
| <i>Параметри, що розраховуються</i>  |   |
| Розмір сторони знімка на місцевості  | $S(X, Y)$ , м                                     |
| Площа поверхні, що відобразилась на знімку для стереопари                    | $F_m$ , м <sup>2</sup>                            |
| Висота фотографування  | $H_g$ , м   |
| Базис фотографування на знімку та місцевості                                 | $b$ , мм, $B$ , м                                 |
| Зміщення зображення  | $\sigma$ , мм                                     |
| Інтервал фотографування  | $dT$ , сек  |
| Кут поля зору  | $FOV$ , °   |
| Очікувана точність визначення координат точок на моделі                      | $m_{xy}, m_z$ , м                                 |
| <i>Параметри, що вимірюються</i>   |   |
| Складові швидкості БПЛА та кутової швидкості БПЛА                            | $V_{x,y,z}$ , км/год,<br>$\omega_{x,y,z}$ , °/сек |
| Координати центру фотографування   | $X_s, Y_s, Z_s$ , м                               |

Керуючись даними, що наведені в роботах [1;3;7] наведемо вирази для розрахунку основних параметрів аерофотознімання.

$$\text{Масштаб аерофотознімання: } m = \frac{H_g}{f}.$$

$$\text{Кут поля зору: } FOV = 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{d}{2f} \right).$$

$$\text{Розмір сторони знімка на місцевості: } S = (S' \times H_g) / f.$$

$$\text{Довжина базису з поздовжнім перекриттям } p: B = S(1 - p/100).$$

$$\text{Відстань між маршрутами з поперечним перекриттям } q: a = S(1 - q/100).$$

$$\text{Зміщення зображення } \sigma: \sigma = (V \times t) / m.$$

Інтервал фотографування:  $dT = B/V$ .

Площа поверхні, відображеної на знімку:  $F_b = S \times B$ .

Площа поверхні, що відобразилась на знімку для стереопари:

$$F_m = S^2 - S \times B.$$

Кількість стереопар у маршруті довжиною  $L_p$ :  $n_p = (L_p/B + 1)$ .

Кількість знімків у маршруті:  $n_m = n_p + 1$ .

Кількість маршрутів у блоці:  $n_q = (L_q/a + 1)$ .

Очікувана точність:  $m_{xy} = m \times k \times p$ ;  $m_z = m_{xy} \cdot H_s/B$ .

На нашу думку приведені параметри повинні бути обов'язково відомі при проектуванні аерофотознімання.

Серед параметрів, що розраховуються першим є розмір сторони знімка на місцевості. Відомо, що в загальному випадку на БПЛА може бути встановлена будь-яка цифрова камера, тому при виборі масштабу фотографування, від якого певною мірою залежить масштаб плану, та виборі фокусної відстані, від якої залежить захват камери та точність знімання, постає питання вибору розміру ПЗЗ-матриці. Якщо прийняти певний розмір матриці за базовий, наприклад 10 Мпикс, то при виборі іншої матриці буде змінюватись є розмір сторони знімка на місцевості. Зміну розміру сторони знімка на місцевості можна розрахувати за наступним виразом:

$$mag = \sqrt{\frac{Mpix_{new}}{Mpix}}$$

де  $Mpix_{new}$  - прийнятий розмір матриці;  $Mpix$  - базовий розмір матриці.

За цим виразом розрахуємо зміну сторони знімка на місцевості при зміні розміру матриці у відсотках від базового розміру матриці. Результати розрахунку представимо на рис. 1.

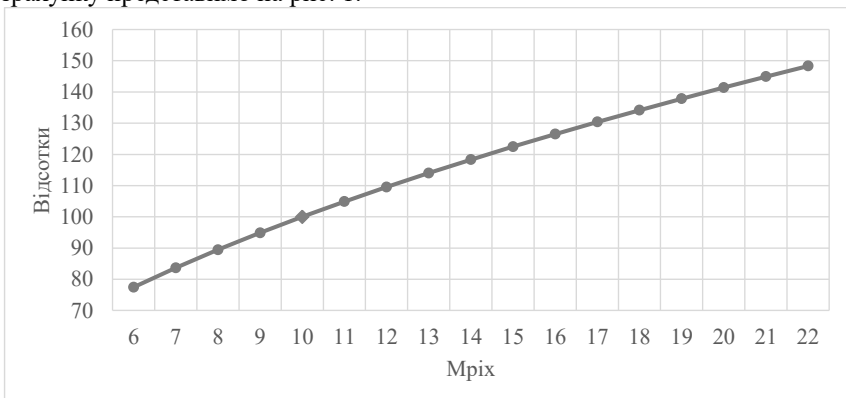


Рис. 1. Залежність зміни сторони знімка на місцевості від розміру матриці

Графік на рис. 1 добре ілюструє характер зміни сторони знімка на місцевості. Цю залежність можна використати при розрахунку параметрів аерофотознімання з ПЗЗ-матрицями різного розміру. Для прикладу приймемо вихідні дані з табл. 2, та розрахуємо розмір сторони знімка на місцевості для різного розміру матриці.

Таблиця 2

## Вихідні дані для розрахунків

| Задані параметри                 |          | Розраховані параметри |                           |         |
|----------------------------------|----------|-----------------------|---------------------------|---------|
| Розмір пікселя, мм               | $f$ , мм | $H$ , м               | Піксель на місцевості, мм | $S$ , м |
| 0,01                             | 20       | 40                    | 20                        | 72      |
|                                  | 30       | 60                    | 25                        | 90      |
| Масштаб фотографування $m$       | 40       | 80                    | 30                        | 108     |
| 2000                             | 50       | 100                   | 35                        | 126     |
|                                  | 60       | 120                   | 40                        | 144     |
| Розмір сторони ПЗЗ-матриці, пікс | 70       | 140                   | 45                        | 162     |
| 3600                             | 80       | 160                   | 50                        | 180     |

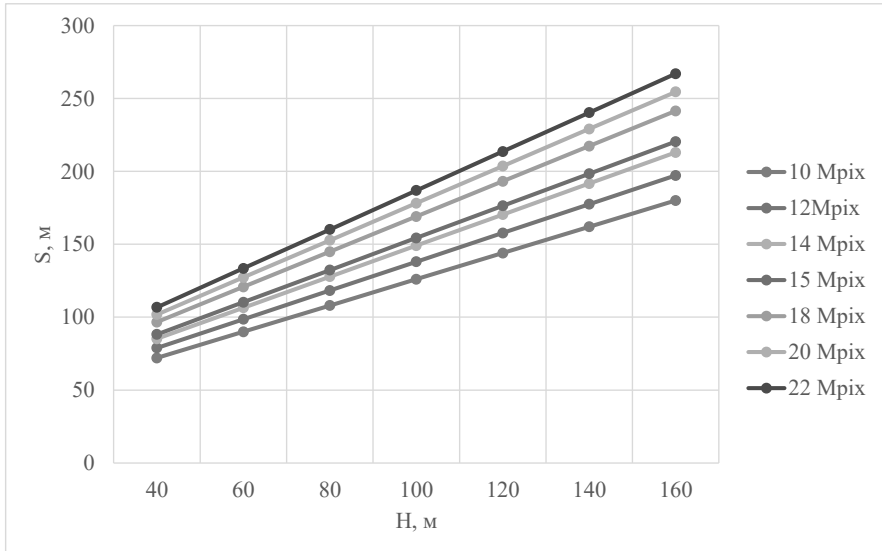


Рис. 2. Залежність зміни сторони знімка на місцевості від розміру матриці, фокусної відстані та розміру пікселя (0,01 мм)

Для прикладу виконаємо аналогічні розрахунки для пікселя з розміром 0,008 мм. Результати розрахунків представлені на рис. 3.

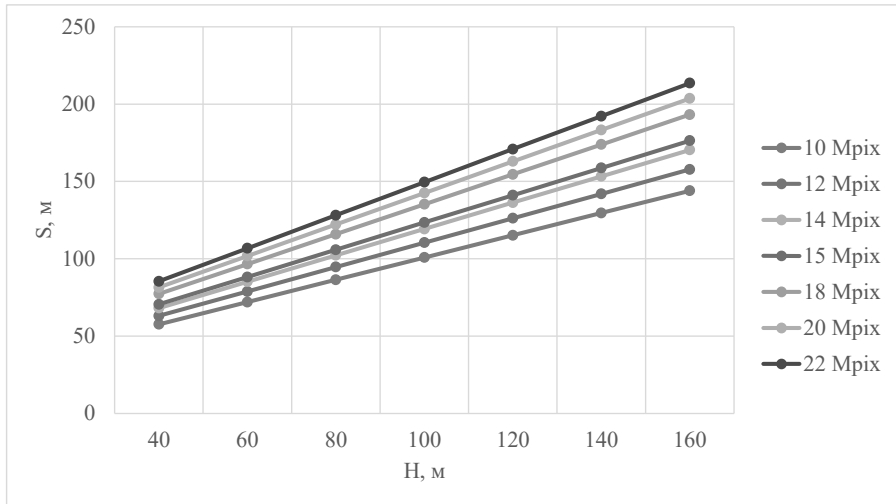


Рис. 3. Залежність зміни сторони знімка на місцевості від розміру матриці, фокусної відстані та розміру пікселя (0,008 мм)

Виконані розрахунки показують, як на перший погляд такий не досить важливий параметр, як розмір ПЗЗ-матриці впливає на весь процес збирання даних, оскільки при його зміні змінюється площа відображуваного об'єкту на знімку. При виборі цифрової камери для безпілотного аерофотознімання необхідно звертати увагу не тільки на якість об'єктиву, величину фокусної відстані та розмір пікселя, а і на безпосередній розмір ПЗЗ-матриці.

**Висновок.** Отримані результати підтверджують необхідність більш ґрунтовного підходу до розрахунку параметрів аерофотознімання з БПЛА. Виявлено, що зміна навіть такого не критичного параметру, як розмір ПЗЗ-матриці може суттєво вплинути на швидкість та оперативність виконання робіт. В подальших роботах автори мають намір проаналізувати та дослідити вплив всіх параметрів аерофотознімання на точність та швидкість збирання даних за матеріалами безпілотного аерофотознімання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Bosak K. Secrets of UAV photomapping. 66 p. www.pteryx.eu
2. Colomina I. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review / I. Colomina, P. Molina // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 92, June 2014, Pages 79–97.
3. Eisenbeiß H. UAV Photogrammetry. Dissertation for the degree of Doctor of Sciences. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Switzerland, 2009, 237 p.

4. Беспилотные авиационные комплексы: методика сравнительной оценки боевых возможностей / М.М. Митрахович, В.И. Силков, А.В. Самков, Х.В. Бурштынская, С.А. Станкевич, В.Б. Семенов. Под общей редакцией В.И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. – 288 с.
5. Костюк А. С. Особенности аэрофотосъемки со сверхлегких беспилотных летательных аппаратов / А.С. Костюк // Омский научный вестник №1 (104), 2011. - С. 236-240
6. Костюк А.С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА / А.С. Костюк // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч. 1. : сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010». Т. 4. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 180 с.
7. Краус К., Фотограмметрия. Том 1 Основи та стандартні методи. /К. Краус// - Л.: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2001. – 432 с.
8. Сечин А.Ю. Беспилотный летательный аппарат: применение в аэрофотосъемке для картографирования / А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, № 3(50) 2013. - С. 56-58.
9. Шевня М.С. Использование беспилотных летательных аппаратов для получения материалов дистанционного зондирования Земли / М.С. Шевня // Геодезия и картография, №1, 2013. - С. 44-50.

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы расчета основных параметров съемки при аэрофотосъемке с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Все параметры разделены на три категории: параметры, задаваемые или выбираемые, параметры вычисляемые, параметры измеряемые. Рассчитано влияние изменения формата ПЗС-матрицы на изменение размера стороны снимка на местности. Обоснована целесообразность тщательного исследования всех параметров аэрофотосъемки при съемке с БПЛА.

### SUMMARY

The paper deals with the calculation of basic parameters of aerial surveying with unmanned aerial vehicles (UAV). All parameters are divided into three categories: the parameters set or selected parameters that calculated, the parameters measured. Calculate the effect of changing the format of the CCD to resize the image side of the terrain. Expediency thorough investigation of all the parameters of aerial photography when surveying with the UAV.