

Ада Василівна Зуска¹, Олександр Євгенович Янкін², Тетяна Миколаївна Чайка³

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна)
E-mail: zuska.a.v@nmu.one. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5693-6647>

²кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна)
E-mail: Yankin.O.Ye@nmu.one. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3208-3253>

³асистент кафедри геодезії
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна)
E-mail: Chaika.T.M@nmu.one. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7822-2607>

ВПЛИВ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ МАТРИЦЬ ЦИФРОВИХ ФОТОКАМЕР НА ТОЧНІСТЬ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ

На основі принципів застосування методу аерофотозйомки для картографування земель у роботі визначено найбільш впливові чинники на його вартість. В оглядово-інформаційній статті обґрунтовано вплив типу фотокамер на якість зображень. Дані аерофотозйомки широко почали застосовуватися в геодезії, землеустрої та в будівництві. Проблемою методу аерофотозйомки є його вартість. Огляд попередніх публікацій стосовно поставленої проблеми показав, що більшість досліджень присвячено якості й точності зображень, отриманих методом аерофотозйомки для розв'язування спеціальних задач, але ніде не зафіксовано досліджень відносно вартості цього методу. Визначено, що головним чинником, який впливає на вартість аерофотозйомки є роздільна здатність матриці фотокамери. Для зменшення вартості запропоновано практично підходити до вибору оптимального типу цифрової фотокамери та її роздільної здатності, не порушуючи вимоги до якості та точності зображень. За результатами аналізу попередніх публікацій зроблено порівняльний аналіз взаємозв'язку роздільної здатності різних типів фотокамер; точності цифрових зображень на місцевості для масштабів стандартного ряду; вартості фотокамер. Представлені результати будуть мати практичне значення в підготовці технічного завдання на виконання аерофотозйомки для участі в тендері та під час складання технічного проєкту, враховуючи побажання замовника.

Ключові слова: аерофотозйомочне обладнання; розмір матриці фотокамери; роздільна здатність; цифрове зображення; вартість.

Табл.: 4. Бібл.: 7.

Актуальність теми. Аерофотозйомка з літальних апаратів для картографування земельних ділянок різного призначення найбільше залежить від роздільної здатності фотокамери. Отримати якісне зображення з найкращою роздільною здатністю та прийнятною вартістю для замовників на сьогодні є актуальним.

Постановка проблеми. Встановлення меж земель територіальних громад, порушених унаслідок воєнних дій та поверхневого видобутку корисних копалин, для будівництва житлових і промислових об'єктів та споруд опирається на сучасні апробовані на практиці наземні методи зйомки та дистанційні методи – аерокосмічні зйомки. Найбільш застосованим у геодезії та будівництві є метод аерофотозйомки з літального безпілотного апарата.

Проблема цього методу – це його вартість, яка залежить від параметрів аерофотозйомки, типу цифрових фотокамер і їхньої просторової роздільної здатності, програмного забезпечення та терміну обробки результатів зйомки. Деякі компанії, що виконують аерофотозйомку, для підняття свого авторитету серед замовників використовують фотокамери з надвисокою просторовою роздільною здатністю 60 мегапікселів (МП), що дозволяє розпізнавати зображення найменшого об'єкта 1 см на піксель. Сьогодні серед виробників пропонуються цифрові камери з роздільною здатністю понад десятки мільйонів пікселів. Звісно, чим більша кількість пікселів цифрової камери, тим більша роздільна здатність матриці й вища деталізація зображення. Але, на думку виконавців, надвисока роздільна здатність матриці фотокамери найбільше впливає на затрату часу оброблення знімків та загальну вартість аерофотозйомки. Найчастіше вартість стає мотивом незгоди замовника. Щоб уникнути цієї проблеми, під час розроблення технічного проєкту треба практично підходити до вибору типу фотокамери, роздільної здатності матриці, дотримуючись вимоги щодо розміру пікселя

аерофотознімку на місцевості. На наш погляд, технічне завдання на виконання аерофотозйомки повинен складати фахівець, який має практичний досвід у процесі виконання зйомки. Вартість результатів аерофотозйомки будуть залежить від складеного технічного завдання, у якому замовник безпомилково пояснює необхідність аерофотозйомки земельної ділянки та мету отримання кінцевого результату. Це має значення для тендерного аукціону. На підставі технічного завдання розробляється технічний проєкт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування методу аерофотозйомки та сучасного аерофотозйомочного обладнання дозволяє підвищити точність і якість картографічного зображення для побудови цифрових топографічних карт і планів. Важливу роль для отримання якісного цифрового зображення відіграють розміри матриці фотокамери, що може впливати на вартість аерофотограмметричних робіт. Для дослідження точності побудови зображень залежно від роздільної здатності матриць, було виконано огляд ряд публікацій відносно теми статті.

Теоретичні питання технології цифрової фотограмметрії, комп'ютерного опрацювання цифрових зображень, технології побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ), рельєфу (ЦМР) і цифрових ортофотопланів за цифровими аерофотознімками розглянуто в книзі Дорожинського О., Л. і Тукай Р. «Фотограмметрія» [1].

У роботі [2] надано інформацію про типи цифрових фотокамер і матриць, розміри матриць, роздільну здатність матриць та одиниці вимірювання цифрових зображень;

Публікації [3], [4], рекомендують критерії оцінки аерокосмічних зображень для кадастрових робіт і деякі вимоги до аерокосмічної зйомки.

Проєкт про «Порядок топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» [5] розкриває застосування аерозйомки для створення цифрових моделей рельєфу, місцевості, цифрових ортофотопланів і топографічних планів стандартного масштабного ряду та тривимірних моделей будівель і споруд; встановлює необхідну точність цифрових зображень певного масштабу на місцевості.

Автори статті [6] представили методику вибору характеристик оптичної системи та основні етапи процесу обробки цифрових фотозображень апаратурою безпілотного літального апарата. Взаємозв'язок між оцінкою точності положення точки на місцевості та параметрами фотографування безпілотного літального апарату встановлено в роботі [7].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. З огляду на попередні публікації питання вартості методу аерофотозйомки залежно від роздільної здатності матриць фотокамер не розглядалося.

Мета роботи – вибір оптимального виду фотокамери для отримання якісних зображень для побудови цифрових зображень масштабу 1:500 – 1:5000 відповідно до чинних стандартів.

Виклад основного матеріалу. Якість цифрових зображень аерофотозйомки для картографування земельних ділянок різного призначення та розв'язування прикладних задач фотограмметрії залежить від застосовуваної цифрової фотокамери. Вибір оптимального типу цифрової фотокамери повинен задовольняти якість зображень, точність і вартість. Вибираючи цифрову фотокамеру, користувачі часто звертають увагу лише на роздільну здатність матриці камери тобто, на кількість мегапікселів, які визначають якість отриманих знімків (табл. 3). Існують й інші ознаки, за якими рекомендується вибирати камеру. Головним елементом фотокамери є її матриця, що фіксує зображення. Фотоматриця застосовується у вигляді спеціалізованої аналогової або цифро-аналогової інтегральної мікросхеми, що складається зі світлочутливих елементів [1]. У характеристиках цифрових камер часто вживається термін сенсор, замість – матриця. Матриця фотокамери складається з масиву світлочутливих осередків, від яких залежить якість отриманого зображення. Для фотографування в практиці існує два основних

типи матриць: CCD (ПЗЗ – матриця) і CMOS (КМОН – матриця), які відрізняються застосовуваними в них технологіями. На ринку фотокамер найбільш поширеними є цифрові камери з ПЗЗ – матрицею, але більшість моделей цифрових камер для телескопів і мікроскопів є CMOS – матриці. Основна відмінність є в тому, що в ПЗЗ – матриці інформація з комірок зчитується послідовно, а в CMOS – матрицях, інформація береться з кожної окремої клітинки. Тому, в ПЗЗ – матриці наступний знімок буде здійснено тільки після формування попереднього знімка. Тип КМОН – матриць значно дешевші у виготовленні та більш доступні для користувачів і КМОН – матриці споживають меншу кількість енергії чим ПЗЗ - матриці [1; 2].

Під час вибору цифрової камери користувачам варто звертати увагу на фізичний розмір матриці, що показує геометричну довжину та ширину в міліметрах або пікселях і визначає її якість. У технічних характеристиках фотокамери значення розміру сенсорів вказується у вигляді дробу 1/96 дюйма (") – 1/4, 1/3, 1/2, 5/6, 1/2" і т. п. Для вибору фотокамери необхідно знати, що розмір матриці буде більше у тієї цифрової камери, у якої знаменник зазначеного дробу буде менше, тобто сенсор (матриця) 1/2" буде більше сенсора 1/4" (табл. 1). Отже, від фізичного розміру матриці залежить кількість зібраного світла, а саме, чим більше фізичний розмір матриці, тим вища світлочутливість і краще співвідношення сигналу до шуму [2].

Розглянемо зв'язок фізичного розміру матриці у міліметрах і типу матриці, вираженому в 1/дюймах. Позначення типу матриці виражає не розмір її діагоналі, а зовнішній розмір колби передавальної трубки. У публікаціях виробників фотокамер зазначено, що немає поки математичної формули взаємозв'язку між типом матриці в частинах дюйма 1/дюйм і фізичним розміром діагоналі матриці в міліметрах. Користувачі за розмір сенсора приймають діагональ, яка дорівнює $\frac{2}{3}$ типу матриці. Розмір матриці визначається в оберненій пропорції, чим менше цифра під знаком дробу, тим отримане зображення буде більше і якісніше. Наприклад, розмір матриці 1/1,8 є кращим від матриці розміру 1/4". Так, матриця розміру 1/3" за технічними характеристиками не належить до напівпрофесійного фотографічного обладнання, тоді як матриці розміру 1/2,7", застосовуються в деяких напівпрофесійних моделях недорогого сегмента фотокамер.

Камери, які забезпечуються матрицями розміру 1/20", (5,1×6,0) мм, (0,21×0,24) дюйма і 1/1,8", (5,3×7,2) мм і (0,21×0,28) дюйма використовуються у професійних камерах високого класу та є найдорожчі серед відомих типів. Ці два типи матриць мають високу світлопоглинальну здатність, а розмір матриць (сенсора) впливає на якість знімків. Від розміру сенсора залежить кількість цифрового шуму, який передається на світлочутливі елементи матриці разом з основним сигналом. Через цифровий шум знімок може мати неприродний вигляд і бути схожий на знімок із точок різного кольору та яскравості. Шуми викликають дефекти в самій структурі сенсора, витік струму, заряд якого може пробити ізоляцію і переключитися з одного пікселя на інший. При цьому температура матриці підвищується від 6 до 8 градусів, а тепловий шум збільшується вдвічі [2].

Густота пікселів на одиницю площі чи ліній визначає роздільну здатність зображення. Роздільна здатність зображень переважно залежить від роздільної здатності фотоматриць, яка своєю чергою залежить від типу, площі, кількості фоточутливих елементів (пікселів) і їх щільності на одиницю поверхні. Наприклад, чим більший фізичний розмір пікселя, тим більша кількість інформації, чим вища роздільна здатність матриці, тим чіткіше та деталізоване зображення [2]. Розміри матриць фотокамер (мегапікселі) – це один із параметрів, який часто ускладнює вибір камери недосвідченого користувача. Як було зазначено вище, чим менше цифра під знаком дробу, тим розмір матриці більше і відповідно зображення більше та якісніше (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність фізичного розміру й типом матриці

Розміри матриці, мм	Розміри матриці, рх	Розміри матриці, дюйми (")	Тип матриці, 1/"
4,5×3,4	17×12,8	0,18×0,13	1/3,2"
5,4×4,0	20,4×15,1	0,21×0,16	1/2,7"
5,8×4,3	21,9×16,2	0,23×0,17	1/2,5"
6,2×4,6	23,4×17,4	0,23×0,18	1/2,3"
6,0× 5,1	22,7×19,3	0,21×0,24	1/2,0"
7,2×5,3	27,2×20,0	0,28×0,21	1/1,8"

Джерело: розроблено авторами.

Фактична роздільна здатність отриманих зображень може бути встановлена відносно екрана монітора, принтера, сфотографованих об'єктів з урахуванням їх перспективних спотворень під час зйомки та характеристики об'єктива. Точність вимірювання растрового зображення залежить від роздільної здатності самого зображення та екрана монітора, на який це зображення виведено.

Загальновідомо, що екран монітора, на який виведено зображення, не зможе показати більше деталей, ніж зафіксувала матриця фотокамери. Роздільна здатність монітора визначає кількість пікселів (рх) за шириною та висотою, яку він може відображати. Екран монітора шириною 640 і висотою 480 пікселів має сумарну кількість $(640 \times 480) = 0,31$ мегапікселя (МП), яка буде менше суми пікселів, яку відображає монітор з роздільною здатністю (1920×1080) рх = 1,96 МП.

Обґрунтовано, що монітори більшого розміру мають більшу роздільну здатність, а монітори менших розмірів – меншу. З цього слідує, що розміри того ж самого зображення, яке виводиться на екрани різних моніторів, можуть не збігатися. Розміри цих зображень будуть також під час друку.

Роздільна здатність цифрового (растрового) зображення характеризує його якість, яка визначається кількістю точок по горизонталі й вертикалі фізичного розміру та показує, наскільки дрібними є пікселі зображення. Показник кількості точок на дюйм (dpi) визначає роздільну здатність зображення, що має лінійні розміри (по горизонталі та вертикалі). Наприклад, для забезпечення роздільної здатності не менше 300 точок/dpi потрібно, щоб на дюйм растрового знімка по горизонталі або вертикалі припадало не менше 300 точок (пікселів). Для екранного перегляду файлу достатньо 72 dpi, а для роздруківки зображення не менше 300 dpi. Кількість точок на дюйм будь-якого зображення визначається розміром самого знімка.

Фізичний розмір файлу зображення пропорційний розміру зображення в пікселях тому, роздільна здатність зображення є поступкою між якістю зображення та розміром файлу. Зображення з більшою кількістю пікселів містять великий об'єм об'єктів і для їх збереження необхідно мати більше місця на диску, редагування цього об'єму займе більше часу. На підставі цього встановлено, що для великих файлів треба застосовувати формати стиснення такі як – GIF, JPEG (JPG), PNG і TIFF [1; 2], які значно впливають на розміри файлів, не змінюючи вихідної роздільної здатності, dpi (табл. 2).

Одиницями вимірювання растрових зображень є: точки на дюйм або піксель (dpi). Точність вимірювання зображення залежить від його якості, розміру файлу, способу оцифрування або методу створення готового зображення, формату файлу та інших параметрів. Значимо, що чим вищі вимоги до якості зображення, тим більшою має бути роздільна здатність. Роздільна здатність зображення показує дрібність, роздільність величини, що визначає кількість пікселів на одиницю площі (або одиницю довжини) [1; 2].

Наведемо приклад визначення роздільної здатності знімка розміром (25×25) см, $(9,84 \times 9,84)$ дюйма і (3676×3676) рх. Для цього кількість пікселів знімка по горизонталі 3676 рх помножити на 2,54 см і розділити на ширину знімка 25 см, отримаємо роздільною здатністю знімка, $\text{dpi} = 3676 \times 2,54 / 25 = 373,5$ рх/дюйм, де dpi кількість пікселів на дюйм = 1 рх / дюйм = 1/96, 1 дюйм = 2,54 см, 1 см = 37,78 рх, 1 дюйм = 96 рх.

Таблиця 2 – Зміна розміру знімка залежно від формату стиснення

Розмір знімку	Формат стиснення файлів у мегабайтах (Мб)			
	JPEG	GIF	PNG	TIFF
3676×3676 px (13,5 МП)	2,6 Мб	6,4 Мб	26,6 Мб	28,5 Мб
5472×3648 px (20 МП)	8,05 Мб	8,98 Мб	33,8 Мб	57,2 Мб

Джерело: розроблено авторами.

Зазначимо, що важливим критерієм для зображення, виведеного на екран монітора, є співвідношення сторін, яке визначається відношенням ширини зображення до його висоти, що виражається двома числами – 3:2 (три до двох), 4:3 (чотири до трьох) і т. д.

Співвідношення сторін не передає конкретні розміри знімка (зображення) в сантиметрах або дюймах і не показує кількість пікселів, а показує наскільки зображення по горизонталі ширше порівняно з його висотою. Наприклад, співвідношення 4:3 означає, що на кожні 4 одиниці ширини припадає 3 одиниці висоти, тому крихітне та велике зображення можуть мати однакові пропорції. Назване стосується і роздільної здатності – вона може бути 800×600 або 1600×1200 px, а співвідношення сторін завжди буде 4:3 [1; 2]. Це є важливою складовою для будь-якого візуального матеріалу, що допомагає відображати його належним зображенням без втрати якості.

З теорії фотограмметрії відомо, що під час використання аерофотознімку похибка m_x планового положення точки на поверхні місцевості обчислюється за відомою формулою [3; 4; 5]:

$$m_x = m_\phi \cdot \frac{H}{f} = m_\phi \cdot m, \quad (1)$$

де H – висота фотографування;

m_ϕ – похибка фотограмметричних вимірювань точок зображення;

f – фокусна віддаль фотокамери;

m – знаменник масштабу знімка.

Точність фотограмметричних вимірювань з застосуванням сучасних аерофотознімальних систем дозволяє вимірювати координати точок на знімку з точністю $m_\phi = 0,007 - 0,015$ мм [3; 4; 5]. Оскільки за точність вимірювання картографічного зображення прийнята величина 0,2 мм у масштабі топографічних карт і планів М, то замінивши у формулі (1) m_x на цю величину отримаємо

$$0,2 \text{ мм} = m_\phi \cdot m \quad (2)$$

З урахуванням формули (2) знаменник масштабу m знімка обчислюється за формулою

$$m = \frac{0,2 \text{ мм} M}{m_\phi} \quad (3)$$

Основним геометричним параметром знімальної системи є просторова роздільна здатність, яка виражається максимальним розміром пікселя на місцевості залежно від масштабу зображення. Під час аерофотозйомки технічними характеристиками знімальних цифрових систем є: фокусна відстань f , розмір пікселя зображення Δx в мм і висота фотографування H , від якої залежить просторова роздільна здатність P [4; 5].

$$P = \frac{H}{f} \cdot K \cdot \Delta x, \quad (5)$$

де K – коефіцієнт, який залежить від якості зображення та від точності вимірювання. Коефіцієнт для обчислення P приймають рівним 2, тоді розмір пікселя на зображенні становитиме вдвічі більше, але він повинен бути в межах вимоги точності фотографічних вимірювань. За точність вимірювання зображень Δx приймають 0,007 мм у пікселях. Для забезпечення точності масштабу зйомки залежно від характеристик місцевості для стандартних масштабів зйомки повинен виконуватися критерій розміру пікселя аерознімків на місцевості [6]. Максимальний розмір пікселя на місцевості наведено в табл. 3

Таблиця 3 – Розмір пікселя на місцевості залежно від масштабу зображення

Масштаб зйомки	Характеристика об'єкта зйомки	Максимальний розмір пікселя аерознімків на місцевості, м
1:5000	Забудовані території міст і селищ, сільських населених пунктів, незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,35
1:2000	Забудовані території міст і селищ, сільських населених пунктів, незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,14
1:1000	Забудовані території міст і селищ, сільських населених пунктів, незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,07
1:500	Забудовані території міст і селищ, сільських населених пунктів, незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,035

Часто замовник ставить умови, щоб роздільна здатність зображення становила 300 дрі тобто, щоб в одному дюймі містилося 300 пікселів. Прийmemo оригінальний розмір зображення розміром 4000 по довжині і 3000 пікселів по ширині. Розмір цього зображення у дюймах за довжиною $y = 4000/300 = 13,3''$, в сантиметрах – $13,3'' \times 2,54 \text{ см} = 33,78 \text{ см}$ і в пікселях – $13,3'' \times 96 = 1276,8 \text{ px}$; за шириною $x = 3000/300 = 10''$, 25,4 см, 960 px, розмір зображення в пікселях – $1276,8 \times 960 = 1,22 \text{ МП}$.

Для аналітичного розрахунку технічного проєкту аерофотозйомочних робіт використовують технічні характеристики відповідного типу фотокамери та параметри аерозйомки.

До технічних характеристик аерофотокамери віднесено [5]: N_{px} – кількість пікселів матриці по ширині маршруту; N_{py} – кількість пікселів матриці вздовж напрямку маршруту; p – фізичний розмір пікселя матриці; f – фокусна відстань об'єктива (ці параметри зазначаються в документі, що підтверджує виконання лабораторного калібрування); P – роздільна здатність аерофотознімку на місцевості (зазначається в технічному завданні замовником); l_x – фізичний розмір матриці за шириною; l_y – фізичний розмір матриці за довжиною (для аерофотокамер кадрового типу).

Параметри аерозйомки визначають [5]: H – висота аерофотозйомочних робіт і m – знаменник масштабу аерофотозйомки (названі параметри розраховуються); L_x – величина поперечного перекриття аерофотознімку на місцевості; L_y – величина повздовжнього перекриття аерофотознімків маршруту (для аерофотокамер кадрового типу).

Фізичний розмір матриці за шириною та довжиною обчислюється за формулами, зазначеними в [5].

$$x = N_{px}(x) \cdot p; \quad y = N_{py}(y) \cdot p. \quad (6)$$

Знаменник масштабу m аерофотозйомки знаходять із виразу (7)

$$m = H / f. \quad (7)$$

Роздільна здатність P знімка в масштабі стандартного ряду (розмір пікселя на місцевості) знаходять за формулою

$$P = m \cdot p.$$

Перекриття аерофотознімків на місцевості повздовжнє L_y і поперечне L_x аерофотозйомочного маршруту розраховують за формулами:

$$l_y = P \cdot N \cdot px(y); \quad l_x = P \cdot N \cdot px(x).$$

Висота фотографування обчислюється

$$H = P \cdot \frac{f}{p}. \quad (6)$$

Проаналізуємо основні параметри цифрової фотокамери для виконання аерофотозйомки. Розмір пікселя матриці (1 GSD x) визначається,

$$GSDx = (l_x \text{ мм} / N x) px.$$

Максимальний розмір пікселя знімка на місцевості буде таким

$$GSD = H / (f / GSD x),$$

Під час вибору оптимального типу цифрової фотокамери необхідно враховувати: фізичний розмір пікселя від якого пропорційно залежить об'єм інформації та динамічний діапазон матриці; роздільну здатність матриці, від якої залежить чітке та деталізоване зображення. Роздільна здатність і фізичний розмір матриці використовуються лише для зображення на паперовому носії. Розміри зображення в пікселях надають кількісний об'єм даних.

Керуючись такими вимогами авторами було складено порівняльний аналіз типів фотокамер, розміри фотоматриць, і пікселя, розмір пікселя точність аерофотознімків у пікселях на місцевості для стандартних масштабів топографічних зображень (табл. 4).

Таблиця 4 – Параметри матриць фотокамер для аерозйомки з літальних апаратів та максимальні розміри пікселів на місцевості в зазначених масштабах

Тип камери, матриця	1 GSD піксель	Розмір матриці камери, мм, пікселі	Роздільна здатність матриці, МП	Фокусна відстань f , мм	Допустимий розмір пікселя аерознімків на місцевості для масштабів зображень		Вартість фотокамери гр.
					P, м	1: m	
1	2	3	4	5	6	7	8
Canon IXUS, матриця CCD, 1/2,3"	0,002	6,17×4,55 3648×2736	20,5	6,0 – 40	0,01 0,02 0,04 0,10	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	17360,0
Canon Power Shot S100 матриця CMOS, 1/1,7"	0,002	7,44×5,58 4009×2992	12	24 – 120	0,01 0,02 0,04 0,10	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	195078,0
Canon IXUS, матриця CCD, 1/2,3"	0,002	6,17×4,55 3648×2736	20,5	6,0 – 40	0,01 0,02 0,04 0,10	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	17360,0
DJI Phantom 3 Pro, Sony Exmor, 1/2.3"	0,002	6,2×4,6 4000×3000	12,0	20	0,01 0,02 0,04 0,10	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	26070,0
Canon 550 D, матриця APS-C	0,004	23×15,5 5184×3456	17,9	18 – 135	0,02 0,04 0,08 0,20	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	19000,0

Закінчення таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Sony Alpha ILCE6000, матриця APS-C	0,004	23,5×5.6 6000×4000	23,4	16 – 50	0,02 0,04 0,08 0,20	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	18898,0
Nikon P 7000, матриця КНОП	0,004	23,6×15,6 4928×3264	16,1	18 – 105	0,02 0,04 0,08 0,20	1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000	28000,0
Sony A6000, CMOS, APS-C	0,004	23.5×15.6 6000×4000	24,3	16 – 50	0,020 0,040 0,080 0,200	1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000	18000 – 27520,0
DJI Phantom 4 Pro, матриця CMOS 1"	0,004	21,9×14,6 5472×3648	20	84,2	0,020 0,040 0,080 0,200	1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000	58786,0
ILCE-QX1, матриця APS-C	0,004	23,2×15,4 5456×3632	20,1	16 – 50	0,020 0,040 0,080 0,200	1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000,	11024,0
Samsung NX100, матриця CMOS	0,005	23.4×15.6 4592×3056	15,1	20 – 50	0,025 0,050 0,100 0,250	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	12659,0
Canon EOS 5D, матриця CMOS	0,008	635,8×23,9, 4368×2912	12,7	75	0,041 0,082 0,164 0,410	1:500 1:1000 1:2000 1:5000	73562,0 – 104999
Sony ICX-413AQ, датчик CCD: 1,8"	0,008	23,5×15,72 3020×2016	6,1	36	0,04 0,08 0,16 0,400	1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000	46035,0

Джерело: розроблено авторами.

Висновок. У роботі вперше запропоновано практичний підхід до вибору типу цифрових фотокамер з метою здешевлення вартості аерофотозйомочних робіт. За результатами досліджень відповідно до поставленої мети зроблено висновки.

Під час вибору оптимального типу цифрової фотокамери для аерофотозйомки необхідно враховувати фізичний розмір пікселя (GSD) матриці та роздільну здатність зображення заданого масштабу. Зауважимо, що надвисока роздільна здатність фотокамери збільшує якість зображень, детальність об'єму інформації, що призводить до збільшення часу обробки й вартості робіт.

Тип фотокамери, розмір матриці та розмір пікселя матриці є ті чинники, що найбільш впливають на точність зображення (розмір пікселя на місцевості), розміру пікселя аерофотознімку на місцевості залежить від масштабу зображення.

Вартість фотокамер пропорційно залежить від фізичного розміру матриці та фокусної відстані, але це не впливає на розмір пікселя аерофотознімку на місцевості.

Представлені результати мають практичне значення в розробленні технічного завдання на виконання аерофотозйомки для участі в тендерних торгах, а також під час складання технічного проєкту враховувати побажання замовника та вносити коректування. На нашу думку, технічне завдання на виконання аерофотозйомки повинен виконувати фахівець, який має досвід у виконанні аерофотозйомочних робіт.

Список використаних джерел

1. Дорожинський, О.Л., Тукай, Р. (2008). *Фотограмметрія* : підручник. Львівська політехніка. <https://studfile.net/preview/16666986/>.
2. Цехмістро, Г. Матриця цифрової камери. Типи і розмір матриць. *OpticalMarket*. <https://opticalmarket.com.ua/ua/matrica-kamery.html>.
3. Дорожинський, О.Л., Почкін, С. (2007). Критерії оцінки аерокосмічних зображень для кадастрових робіт. *Геодезія, картографія і аерофотознімання* : укр. міжвід. наук.-техн. зб., 68, 172-176. <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/b6f36c6e-3285-4783-af0d-9d0a93157f97/content>.
4. Дорожинський, О.Л., Почкін, С. (2009). Про деякі вимоги кадастрових робіт до аерокосмічного знімання. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 1(17), 209-216. https://vlp.com.ua/files/35_24.pdf.
5. Даник, Ю.Г., Проценко, М.М. (2013). Вимоги до оптичної системи та процесу обробки цифрових фотозображень апаратурою безпілотного літального апарата. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, (1), 42-47. <https://eztuir.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2603/1/8.pdf>.
6. Проект наказу Міністерства аграрної політики та продовольства України (2021) «Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500». <https://land.gov.ua/proekt-nakazu-ministerstva-agrarnoyi-polityky-ta-prodovolstva-ukrayiny-pro-zatverdzhennya-poryadku-topografichnoyi-zjomky-u-masshtabah-15000-12000-11000-ta-1500>.
7. Zuska, A., Goychuk, A., Riabchii, V., Riabchii, V. (2022). Methods of mapping the lands disturbed by mining operations and accuracy of cartographic images obtained from Unmanned Aerial Vehicles: A review. *Mining of Mineral Deposits*, 16(1), 58-67. <https://doi.org/10.33271/mining16.01.058>.

References

1. Dorozhynskyi, O.L., Tukai, R. (2008). *Fotogrammetriia [Photogrammetry]*. Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika».
2. Tsekhmistro, H. (2013). *Matrytsia tsyfrovoy kamery. Typy i rozmir matryts [Digital camera matrix. Types and sizes of matrices]*. <https://opticalmarket.com.ua/ua/matrica-kamery.html>.
3. Dorozhynskyi, O.L., Pochkin, S. (2007). Kryterii otsinky aerokosmichnykh zobrazhen dlia kadastrykh robit [Evaluation criteria of aerospace images for cadastral works. Geodesy, cartography and aerial photography]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 68, 172–177.
4. Dorozhynskyi, O., Pochkin, S. (2009). Pro deiaki vymohy kadastrykh robit do aerokosmichnoho znimannia. [About some requirements for cadastral works for aerospace surveying]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements in geodetic science and production*, 1(17), 210 – 215.
5. Proekt nakazu Ministerstva ahrarnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy «Pro zatverdzhennia Poriadku topohrafichnoi ziomky u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500». [Project on the approval of the Procedure for topographical surveying at scales of 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500]. (2021). <https://land.gov.ua/proekt-nakazu-ministerstva-agrarnoyi-polityky-ta-prodovolstva-ukrayiny-pro-zatverdzhennya-poryadku-topografichnoyi-zjomky-u-masshtabah-15000-12000-11000-ta-1500>.
6. Danyk, Yu.H., Protsenko, M.M. (2013). Vymohy do optychnoi systemy ta protsesu obrobky tsyfrovyykh fozobrazhen aparaturoiu bezpilотноho litalnoho aparata. [Requirements for the optical system and the process of processing digital photo images by the equipment of an unmanned aerial vehicle]. *Visnyk ZhDTU – The Journal of Zhytomyr State Technological University. Engineering*, 1(64), 42-47.
7. Zuska, A.V., Goychuk, A.P., Riabchii, V.V. & Riabchii, V.A. (2022). Methods of mapping the lands disturbed by mining operations and accuracy of cartographic images obtained from Unmanned Aerial Vehicles A review. *Mining of Mineral Deposits*, 16(1), 58 – 67.

Отримано 01.02.2025

Ada Zuska¹, Oleksandr Yankin², Tatiana Chaika³

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of Geodesy
Dnipro Polytechnic National Technical University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: zuska.a.v@nmu.one. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5693-6647>

²PhD of technical sciences, associate professor of the department of geodesy
Dnipro Polytechnic National Technical University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: Yankin.O.Ye@nmu.one. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3208-3253>

³ Assistant Professor of the Department of Geodesy

Dnipro Polytechnic National Technical University (Dnipro, Ukraine))

E-mail: Chaika.T.M@nmu.one. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7822-2607>

INFLUENCE OF THE RESOLUTION CAPACITY OF DIGITAL CAMERA MATRICES ON TOPOGRAPHIC IMAGE ACCURACY

Based on the principles of using the aerial photography method for land mapping, the most influential factors on its cost are determined in the work. The presented article is of a review and informational nature and presents some studies on the influence of aerial photography equipment on the quality of aerial photographs. The use of modern aerial photography equipment increases the accuracy and quality of images for the production of digital terrain models, relief, orthophotomaps and digital topographic maps and plans. Aerial photography data provides a perspective for solving various problems in the field of geodesy, land management and construction. It should be noted that the quality of the images depends mainly on the resolution of the camera and the device on which they are displayed.

The problem with the aerial photography method is its cost, which depends on the parameters of aerial photography, technical characteristics of cameras, software and processing time of aerial photographs. Reducing the cost of aerial photography is currently the most important issue for the customer. The authors found that the main factor influencing the cost of aerial photography is the resolution of the camera. The aim of the work is to determine the optimal types of cameras to reduce the cost of aerial photography without compromising the quality of the digital images.

A review of previous publications on the problem has shown that most studies have been devoted to the accuracy of raster images for solving various tasks, and the issue of the cost of aerial photography and the factors affecting it have not been considered at all. The cost of aerial photography is often a source of conflict between the client and the provider. Based on this, we conclude that in the design of aerial photography works, it is necessary to take a practical approach to the choice of the optimal type and resolution of cameras to obtain high quality digital images. The resolution of images must meet legal requirements and ensure the accuracy of digital topographic maps at a standard range of scales. In this way, the resolution of cameras can be combined with quality of images and cost of work, and a customer can adjust a technical task according to their requirements. Technical parameters of a task at the expense of raster image resolution, accuracy and compliance with standards change depending on the tasks set.

Keywords: photography equipment; camera matrix size; resolution; digital image; cost.

Table: 4. **References:** 7.