

**ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА ТА ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ
МЕТОДІВ**

**FORMATION OF A MODERN SYSTEM OF GEODESIC SUPPORT OF LAND USE USING UAVS
AND PHOTOGRAMMETRIC METHODS**



Мамонов Костянтин Анатолійович, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>



Штерндок Ернест Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: shterndok@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-1107-7401>



Нестеренко Сергій Григорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: nesterenkosg34@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5124-9728>



Радзінська Юлія Борисівна, кандидат технічних наук, Доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: radzinskayayb@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1661-7975>



Касьянов Володимир Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3506-5982>

Анотація. Встановлено, що сучасні надзвичайні умови, які характеризуються негативним впливом зовнішніх і внутрішніх чинників, наслідками агресії РФ, потребують формування сучасної інформаційної бази для виконання геодезичних проектів шляхом використання відповідного інструментарію. У цьому контексті особливого значення має формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель на основі обґрунтування дослідницьких методів і сучасних технологій геодезії. Визначена актуальність питань можливостей застосування БПЛА та фотограмметричних методів, які впливають на створення інформаційно-аналітичного підґрунтя для прийняття рішень у сфері територіального розвитку використання земель.

У результаті дослідження досягнута мета відносно визначення напрямів формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель із застосуванням сучасних технологій. Для проведення дослідження вирішуються завдання: характеристика БПЛА технологій для формування сучасної геодезичної системи використання земель; виявлення особливостей застосування фотограмметричного інструментарію.

Визначені напрями та особливості формування сучасної системи геодезичного забезпечення із застосуванням засобів БПЛА та фотограмметричних методів. Запропоновані шляхи здійснення геодезичних досліджень при проведенні знімання та обробки даних, фотограмметричної обробки, формування цифрової моделі.

Ключові слова: сучасна система геодезичного забезпечення, дослідницькі методи, сучасні технології геодезії, використання земель, БПЛА, фотограмметричні методи.

Вступ. Сучасні надзвичайні умови, які характеризуються негативним впливом зовнішніх і внутрішніх чинників, наслідками агресії РФ, потребують формування сучасної інформаційної бази для виконання геодезичних проектів шляхом використання відповідного інструментарію. У цьому контексті особливого значення має формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель на основі обґрунтування дослідницьких методів і сучасних технологій геодезії.

Представлений геодезичний інструментарій та забезпечення формується на основі відповідних нормативно-правових документів і теоретичних положень, що створює теоретико-методологічну платформу створення сучасної системи геодезичного забезпечення. Поряд з цим, виникають певні проблемні питання можливостей застосування БПЛА та фотограмметричних методів, які впливають на створення інформаційно-аналітичного підґрунтя для прийняття рішень у сфері територіального розвитку використання земель.

Отже, тема дослідження є актуальною і має важливе теоретичне й практичне значення для розвитку сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель.

Огляд існуючих теоретичних розробок. В існуючих наукових дослідженнях особлива увага приділяється формуванню інструментального геодезичного й геотехнічного забезпечення [1, 2]. Крім того, виокремлюють автоматизовані системи деформаційного моніторингу та нової інтелектуальної інформаційно-комунікаційної технології спостереження [3, 4]. Узагальнення міжнародного досвіду застосування сучасних геодезичних технологій представлені у роботах [5–8].

Сучасні методи дослідження та технології геодезії, напрями здійснення геодезичних робіт у розробках [9–11]. Для формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель використовуються БПЛА та фотограмметричні методи [9, 12, 13].

Отже, обґрунтовані теоретичні положення щодо формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель із застосування провідних технологій і дослідницьких методів.

Метою дослідження є визначення напрямів формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель із застосуванням сучасних технологій.

Для проведення дослідження вирішуються завдання:

- характеристика БПЛА технологій для формування сучасної геодезичної системи використання земель;
- виявлення особливостей застосування фотограмметричного інструментарію.

Виклад основного матеріалу. 3D-хмара точок (3D-візуалізація) – один з етапів створення точної 3D-моделі реального світу. Це етап для створення цифрової реальності, карта точок в просторі, які обробляються, щоб стати тривимірними моделями практично будь-якого об'єкта. У великому масштабі це включає дороги, будівлі, промислові об'єкти, виробничі підприємства, місця злочинів/аварій, цивільну інфраструктуру, історичні місця, міські пейзажі та ін.

Тривимірні моделі, що засновані на даних хмари точок, використовуються у все більшій кількості галузей для візуалізації, планування і налаштування. Дані можуть трансформуватися, завдяки чому підвищується точність інформації, доступної для різних груп стейкхолдерів.

У цьому контексті визначаються наступні питання:

- структура хмари точок;
- процеси генерації;
- способи використання даних хмари точок.

Групи стейкхолдерів використовувати програмне забезпечення для ефективного і точного створення інформаційної моделі будівлі (BIM) існуючої конструкції або поновлення вихідних проектних моделей з урахуванням реальних умов після будівництва. У випадках роботи над проектами модернізації, проєктанти можуть перевірити наявність на віртуальному об'єкті і наявність конфліктів з існуючими умовами. Це допомагає виявити помилки ще до того, як закінчується виконання проєктів.

Визначені переваги аерофотознімання з БПЛА:

1. Актуальність і оперативність.
2. Висока роздільна здатність, точність і зручність для візуального аналізу.
3. Можливість 3D-моделювання як для фіксації пошкоджень будівель і споруд, так і для визначення об'ємів порушених ґрунтів.
4. Можливість точної геодезичної прив'язки для моніторингу і накладення на дані державного земельного кадастру (ДЗК).
5. Додаткові дані для розмінування та проєктування рекультивації, визначення маси забруднюючих речовин в залежності від калібру снаряду.
6. Зниження собівартості на невеликих ділянках порівняно з класичними геодезичними методами.

У залежності від модифікації БПЛА змінюється процедура обробки матеріалів аерофотознімання в частині геодезичної прив'язки.

Модифікації БПЛА за принципом визначення координат центрів знімків представлена на рис.

1.



Рисунок 1 – Модифікації БПЛА за принципом визначення координат центрів знімків
Figure 1 – UAV modifications based on the principle of determining the coordinates of the photo centers

Окрім точності визначення центрів знімків при побудові фотограмметричних моделей – стерео чи тривимірна хмара точок – важливими є також роздільна здатність матриці фотокамери, висота знімання, метеорологічні фактори, польотні показники, елементи експонування знімку тощо.

Проте саме точність визначення координат центрів знімків має найсуттєвіше значення у кількості маркерів, необхідних для орієнтування всієї фотограмметричної моделі. Технологічна схема аерофотознімання з геодезичною прив'язкою висвітлена на рис. 2.

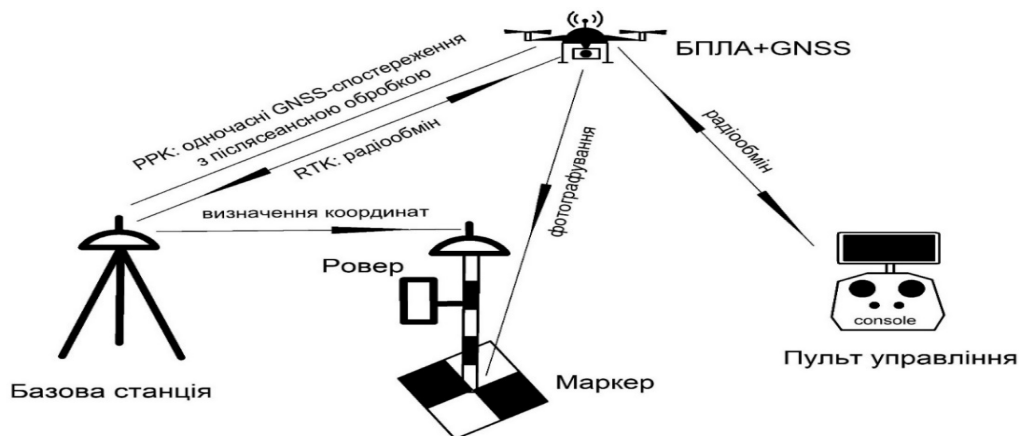


Рисунок 2 – Технологічна схема аерофотознімання з геодезичною прив'язкою
Figure 2 – Technological scheme of aerial photography with geodetic reference

Для аерофотознімання будівель і споруд, пошкоджених в наслідок бойових дій рекомендується використовувати БПЛА, обладнані GNSS-приймачем геодезичного класу. У результаті реалізації проекту можемо отримати аерофотознімки з відомими точними координатами центрів фотографування, що дозволяє значно зекономити на геодезичній прив'язці фотограмметричної моделі об'єкта.

Для забезпечення геодезичної прив'язки аерофотознімання рекомендується наступна методична послідовність:

1. Проектування маршрутів аерознімання.
2. Маркування розпізнавальних знаків (розмічування маркерів).
3. Координування маркерів за допомогою GNSS в режимі RTK.
4. Координування точки зльоту квадрокоптера за допомогою GNSS в режимі RTK.
5. Координування базової станції, що буде працювати в режимі збору даних в статичному режимі під час аерофотознімання.
6. Увімкнення квадрокоптера, обладнаного GNSS приймачем з режимом PPK, підготовка їх до роботи.
7. Запуск базової станції в статичному режимі, ініціалізація бортового PPK-приймача.
8. Запуск квадрокоптера на маршрут знімання.
9. Вимкнення базової станції на бортового PPK-приймача.
10. Перевірка якості отриманих фотознімків після закінчення місії та посадки квадрокоптера, перевірка послідовних знімків на пропуски (неспрацювання камери або незапис файлу).
11. Попередній розрахунок PPK, перевірка навігаційних рішень і фіксація усіх центрів фотографування.

Для геодезичної прив'язки рекомендується використовувати маркери у вигляді наклейок із спеціальною кодовою формою (рис. 3–4), що дозволяє програмам обробки автоматично ідентифікувати їх, розшифровуючи зображення маркера.

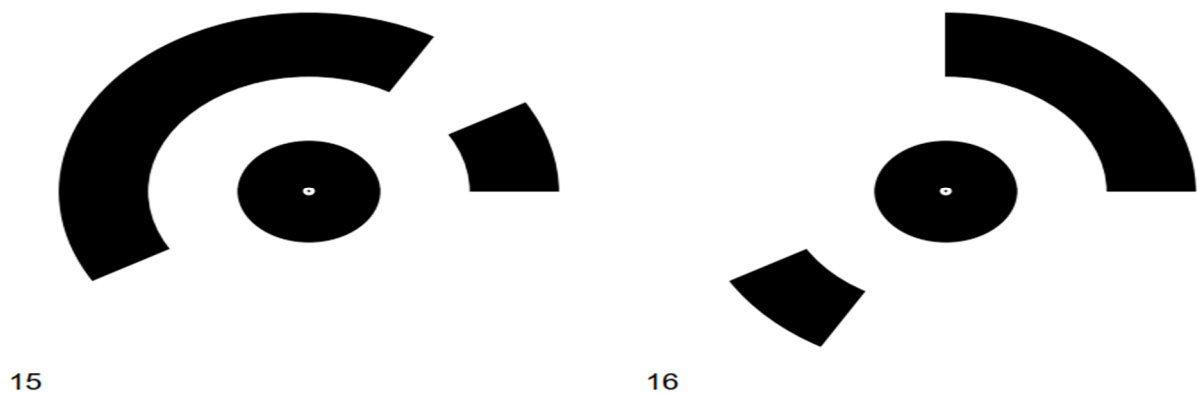


Рисунок 3 – Кодовані маркери
Figure 3 – Coded markers



Рисунок 4 – Маркери-наклейки для фотознімання архітектурної/археологічної пам'ятки
Figure 4 – Marker stickers for photographing architectural/archaeological monuments

Для суцільного аерофотознімання забудованої території виконується аерофотознімання у вигляді паралельних маршрутів (рис. 5). У такому випадку в ході подальшої фотограмметричної обробки створюються ряди пов'язаних (зорієнтованих) між собою аерофотознімків, які опрацьовуються в стереоскопічному режимі за допомогою фотограмметричної станції або ж створити 3D-хмару точок.

Суцільне аерофотознімання може використовуватись не тільки на забудованих територіях, але й для визначення засмічення та забруднення ґрунтів тощо.

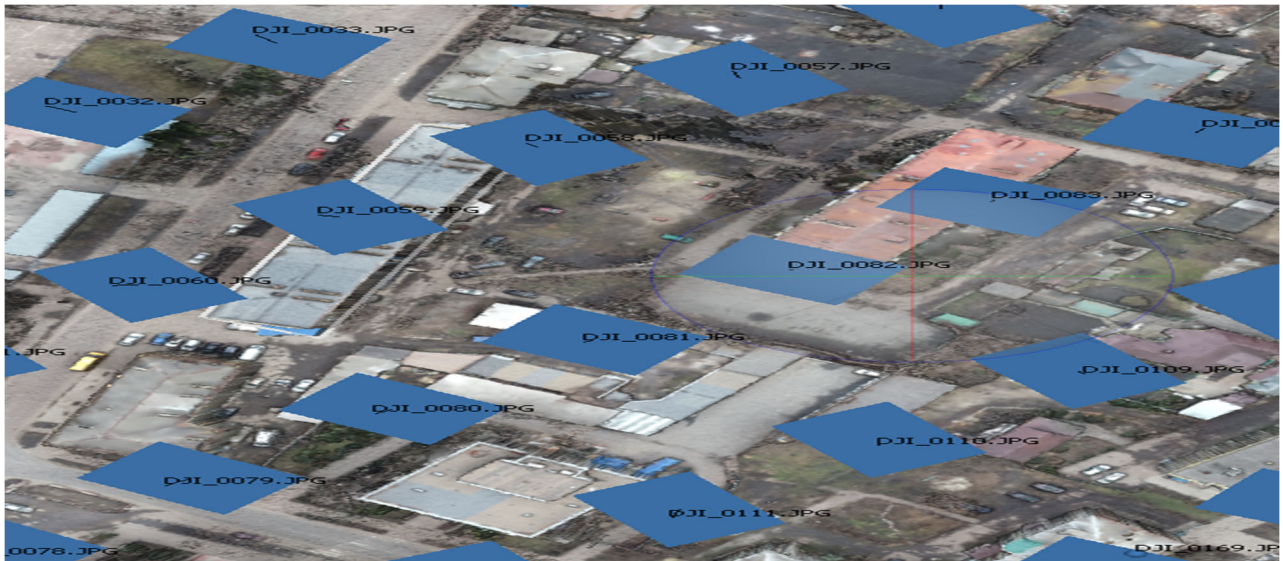


Рисунок 5 – Суцільне аерофотознімання
Figure 5 – Continuous aerial photography

У випадку знімання окремих будівель чи споруд фотографування виконується з різних сторін об'єкту, а також на різних висотах таким чином щоб отримати щільне перекриття знімків між собою для отримання 3D-хмари точок. Планування точок аерофотознімання одиночного об'єкту для створення 3-D хмари представлено на рис. 6.



Рисунок 5 – Планування точок аерофотознімання одиночного об'єкту для створення 3-D хмари
Figure 5 – Planning aerial photography points of a single object to create a 3-D cloud

Запропоновані етапи обробки матеріалів аерофотознімання:

1. Оцінка якості аерофотознімків.
2. Визначення координат наземних маркерів і центрів знімків (при необхідності і за наявності обладнання) (рис. 6).
3. Завантаження знімків і координат в програму фотограмметричної обробки (напр., Pix4D).
4. Створення в фотограмметричній програмі ортофотоплана, карт висот (рис.7) та 3D-хмари точок (рис.10).
5. Оцінка якості отриманих матеріалів, формування звіту про фотограмметричну обробку (рис. 8–13).
6. Експорт отриманих даних в формат подальшого аналізу в GIS або CAD (растрові дані – ортофотоплан, геопросторові дані – тривимірні координати).

Вирахування геодезичних координат центрів знімків в системі WGS-84

```
% program : RTKPOST ver.2.4.3 Emlid b28
% inp file : D:\temp\chap\EPS_190820-122119.200
% inp file : D:\temp\chap\hp_02320.20o
% inp file : D:\temp\chap\hp_02320.20n
% obs start : 2020/08/19 12:21:42.0 GPST (week2119 303702.0s)
% obs end : 2020/08/19 12:44:32.2 GPST (week2119 305072.2s)
% ref pos : 51.688824382 33.197256816 123.6990
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m) sdun(m) age(s) ratio
2020/08/19 12:24:51.792 51.692577135 33.200435376 132.6944 1 9 0.0049 0.0029 0.0065 -0.0005 0.0008 -0.0029 0.80 999.9
2020/08/19 12:27:39.878 51.692577046 33.200435295 132.6922 1 9 0.0050 0.0030 0.0065 -0.0006 0.0010 -0.0030 0.90 999.9
2020/08/19 12:27:41.692 51.692577043 33.200435313 132.6953 1 9 0.0050 0.0029 0.0065 -0.0006 0.0010 -0.0030 0.70 999.9
2020/08/19 12:33:31.524 51.692577027 33.200435376 132.6954 1 9 0.0051 0.0030 0.0065 -0.0008 0.0015 -0.0032 0.50 999.9
2020/08/19 12:33:38.276 51.692577020 33.200435398 132.6968 1 9 0.0051 0.0030 0.0065 -0.0008 0.0015 -0.0032 0.30 999.9
2020/08/19 12:35:06.339 51.693149634 33.200849063 303.6497 2 10 0.0049 0.0030 0.0060 -0.0001 0.0012 -0.0027 0.40 999.9
```

Каталог прямокутних координат центрів знімків

```
DJI_0528.JPG 5729330.330 6514002.995 303.663
DJI_0529.JPG 5729329.859 6513959.152 303.063
DJI_0530.JPG 5729329.843 6513916.377 302.093
DJI_0531.JPG 5729329.862 6513874.606 301.231
DJI_0532.JPG 5729329.536 6513833.037 300.629
DJI_0533.JPG 5729329.490 6513791.166 300.128
DJI_0534.JPG 5729329.351 6513749.514 299.628
```

Рисунок 6 – Відомості координат центрів знімків, розрахованих за допомогою GNSS у режимі PPK
Figure 6 – Information about the coordinates of the centers of images calculated using GNSS in PPK mode

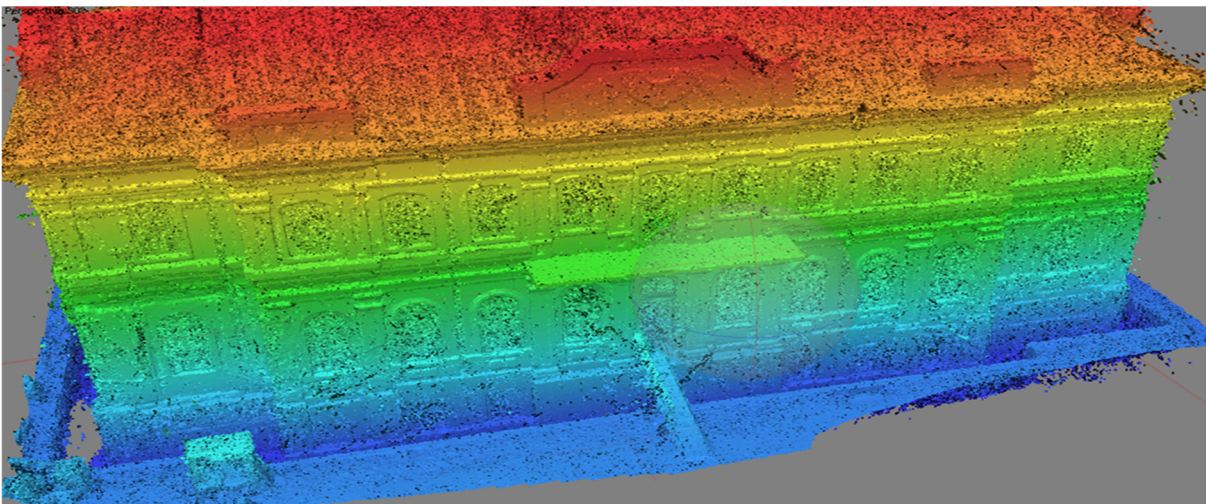


Рисунок 7 – Карта висот об'єкта
Figure 7 – Object height map



Рисунок 8 – 3D-хмара пошкодженої частини будівлі
Figure 8 – 3D cloud of damaged part of building

Survey Data

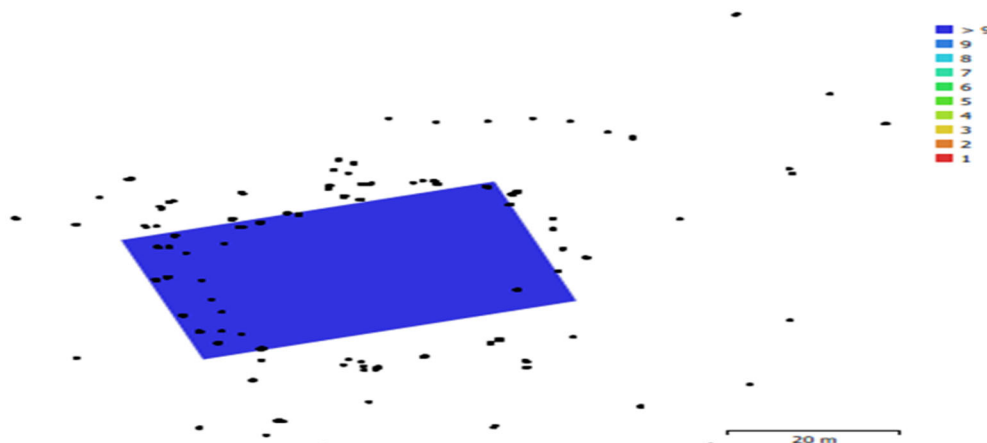


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	325	Camera stations:	319
Flying altitude:	12.4 m	Tie points:	212,975
Ground resolution:	4.07 mm/pix	Projections:	567,927
Coverage area:	1.39e+03 m ²	Reprojection error:	0.792 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 μm	No

Table 1. Cameras.

Рисунок 9 – Звіт про фотограмметричну обробку та дані знімання
Figure 9 – Photogrammetric processing report and survey data

Camera Calibration

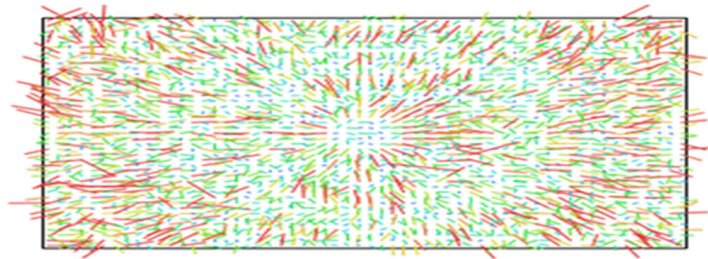


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)
325 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 4864 x 3648 8.8 mm 2.61 x 2.61 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3678.36	0.043	1.00	-0.10	-0.22	-0.39	-0.04	-0.39	0.39	-0.36	0.33	-0.09	-0.27	0.00	0.00
Cx	23.8242	0.12		1.00	0.04	0.09	0.09	0.12	-0.12	0.12	-0.11	0.86	0.03	-0.08	0.08
Cy	-3.14812	0.084			1.00	-0.02	0.03	0.05	-0.07	0.07	-0.07	0.01	0.92	0.03	-0.03
B1	-0.524014	0.03				1.00	0.02	-0.01	0.01	-0.01	0.01	0.09	0.15	-0.02	0.02
B2	0.127778	0.03					1.00	0.00	-0.00	0.00	-0.01	-0.03	0.03	-0.00	0.01
K1	0.0152854	0.0001						1.00	-0.98	0.93	-0.89	0.10	0.05	0.02	-0.02
K2	-0.0691394	0.00063							1.00	-0.99	0.96	-0.10	-0.06	-0.03	0.03
K3	0.131093	0.0015								1.00	-0.99	0.09	0.07	0.04	-0.05
K4	-0.0821034	0.0013									1.00	-0.08	-0.07	-0.06	0.07
P1	0.00161608	1e-05										1.00	-0.09	-0.51	0.47
P2	-0.000448174	6.2e-06											1.00	0.22	-0.21
P3	-0.0529369	0.014												1.00	-0.97
P4	0.0287126	0.019													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Рисунок 10 – Звіт про фотограмметричну обробку та калібрування камери
 Figure 10 – Photogrammetric processing and camera calibration report

Camera Locations

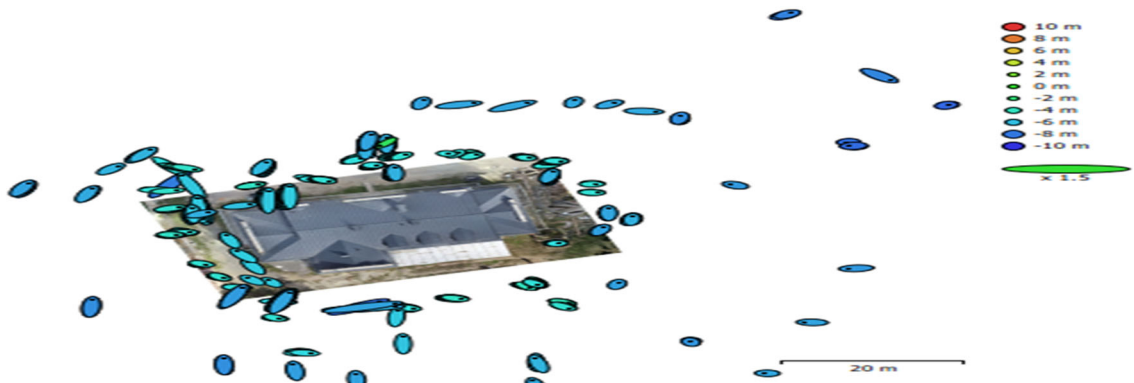


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.928605	1.56061	5.47047	1.81599	5.76401

Table 3. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Рисунок 11 – Звіт про фотограмметричну обробку та розташування камер
 Figure 11 – Photogrammetric processing and camera location report

Digital Elevation Model

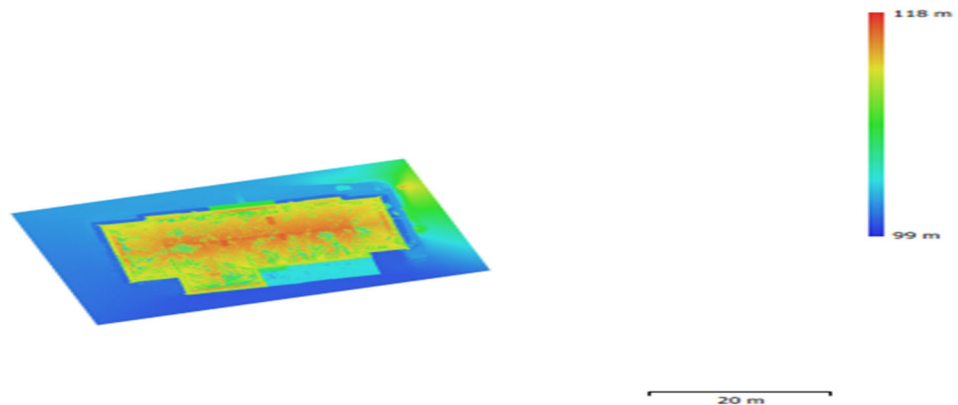


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 4.07 mm/pix
Point density: 6.04 points/cm²

Рисунок 12 – Звіт про фотограмметричну обробку, формування цифрової моделі висот
Figure 12 – Report on photogrammetric processing, digital elevation model generation

Processing Parameters

General	
Cameras	325
Aligned cameras	319
Markers	259
Shapes	
LineString	2
Coordinate system	MSK-59 (EPSG::30011)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Tie Points	
Points	212,975 of 418,571
RMS reprojection error	0.123858 (0.792123 pix)
Max reprojection error	19.7265 (141.716 pix)
Mean key point size	4.93251 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.13301
Alignment parameters	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	6 minutes 56 seconds
Alignment time	4 minutes 19 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	14 seconds
Date created	2021:09:14 22:41:58
Software version	1.6.0.9217
File size	26.12 MB
Point Cloud	
Points	253,641,028
Point attributes	
Color	3 bands, uint8
Normal	
Point classes	
Created (never classified)	253,641,028
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Disabled
Processing time	11 hours 30 minutes
Point cloud generation parameters	
Processing time	7 hours 30 minutes
Date created	2021:09:16 17:55:28
Software version	1.6.0.9217
File size	4.19 GB
Model	

Рисунок 13 – Звіт про фотограмметричну обробку та параметри обробки
Figure 13 – Photogrammetric processing report and processing parameters

Висновки. У результаті дослідження визначені напрями та особливості формування сучасної системи геодезичного забезпечення із застосуванням засобів БПЛА та фотограмметричних методів. Запропоновані шляхи здійснення геодезичних досліджень при проведенні знімання та обробки даних, фотограмметричної обробки, формування цифрової моделі.

Перелік посилань

1. Ляшенко Д. О., Павлюк Д. О. Геодезичні технології збирання просторових даних для діагностики та паспортизації автомобільних доріг. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Геодезія та землеустрі. 2021. Вип. 110. С. 51 – 59. <http://dx.doi.org/10.33744/0365-8171-2021-110-051-059>
2. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques. Engineering. 2015. № 08 (07). С. 488–498.
3. Алексієв В. О., Алексієв О. П., Видмиш А. А., Хабаров В. О. Інтерактивний моніторинг автомобільних доріг : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2012. 144 с.
4. Староверов В., Адаменко О. Геодезичний моніторинг мостів «Geodesy, architecture & construction 2011» (GAC-2011), 24-26 November 2011. С. 168–171.
5. Abulizi N. Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2016. № 5 (3). pp. 398–411.
6. Kongyang Chen. Road condition monitoring using on-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor Harbin, China: IEEE, 2011. Pp. 1032–1037.
7. Kumar P. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. № 32. pp. 125–137.
8. Razi P. 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV. IEEE Access. 2018. № 6. pp. 12395–12404.
9. Пілічева М. О., Анопрієнко Т. В., Маслій Л. О. Технологія виконання геодезичних робіт при інвентаризації зелених насаджень території з використанням безпілотних літальних апаратів. Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки та архітектура». 2022. Вип. 3 (170). С. 263–270.
10. Глотов В. М., Гуніна А. В. Аналіз сучасних методів знімання під час опрацювання великомасштабних планів. Геодезія, картографія і аерознімання. 2016. Вип. 83. С. 53–63.
11. Козарь В. І., Козарь Л. М. Особливості використання електронних тахеометрів при проведенні топографо-геодезичних робіт для землеустрою та кадастру. Геодезія, картографія, землеустрі, кадастр: матер. Всеукр. наук.-практ. інтер. конф. (м. Умань, 27 квітня 2020 р.). С. 8–9. https://geodesy.udau.edu.ua/assets/files/2020/zbirnik_tez/zbirnik-geodeziya-20.05.20-2-4.pdf
12. Глотов В., Гуніна А. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2014. Вип. 2. С. 65–70. http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sdgn_2014_2_17.pdf
13. Bilis T., Kouimtoglou T., Magnisali M., Tokmakidis P. The use of 3d scanning and photogrammetry techniques in the case study of the roman theatre of nikopolis. Surveying, virtual reconstruction and restoration study. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences : 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, (1–3 March 2017, Nafplio, Greece). Nafplio, 2017. Vol. XLII-2/W3. P. 97–103.

FORMATION OF A MODERN SYSTEM OF GEODESIC SUPPORT OF LAND USE USING UAVS AND PHOTOGRAMMETRIC METHODS

Mamonov Kostiantyn A., Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, <http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>

Shterndok Ernest S., Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: shterndok@ukr.net, tel. +380934289234, <https://orcid.org/0000-0003-1107-7401>

Nesterenko Serhii H., Candidate of technical sciences, Associate professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: nesterenkosg34@gmail.com, tel.+ 380669291752, <https://orcid.org/0000-0001-5124-9728>

Radzinska Yuliia B., Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: radzinskayayb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1661-7975>

Kasyanov Vladimir V., Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3506-5982>

Summary. It has been established that modern emergency conditions, characterized by the negative impact of external and internal factors, the consequences of the aggression of the Russian Federation, require the formation of a modern information base for the implementation of geodetic projects by using appropriate tools. In this context, the formation of a modern system of geodetic support for land use based on the justification of research methods and modern technologies of geodesy is of particular importance. The relevance of the issues of the possibilities of using UAVs and photogrammetric methods, which affect the creation of an information and analytical basis for decision-making in the field of territorial development of land use, has been determined.

As a result of the study, the goal has been achieved in determining the directions of forming a modern system of geodetic support for land use using modern technologies. To conduct the study, the following tasks are solved: characterization of UAV technologies for forming a modern geodetic system of land use; identification of the features of the use of photogrammetric tools.

The directions and features of the formation of a modern system of geodetic support using UAVs and photogrammetric methods have been determined. Ways of conducting geodetic surveys during data acquisition and processing, photogrammetric processing, and digital model formation are proposed.

Keywords: modern geodetic support system, research methods, modern geodesy technologies, land use, UAVs, photogrammetric methods.

References

1. Lyashenko, D. O., Pavlyuk, D. O. (2021) Geodetic technologies for collecting spatial data for diagnostics and certification of highways. Automobile roads and road construction. Geodesy and land management. Issue 110. P. 51–59. <http://dx.doi.org/10.33744/0365-8171-2021-110-051-059> [in Ukrainian].
2. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques. Engineering. 2015. № 08 (07). С. 488–498 [in Ukrainian].

3. Aleksiev, V. O., Aleksiev, O. P., Vidmysh, A. A., Khabarov, V. O. (2012) Interactive monitoring of highways: monograph. Vinnytsia: VNTU, 144 p. [in Ukrainian].
4. Staroverov, V., Adamenko, O. (2011) Geodetic monitoring of bridges «Geodesy, architecture & construction 2011» (GAC-2011), P. 168–171 [in Ukrainian].
5. Abulizi, N. (2016) Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). № 5 (3). pp. 398–411.
6. Kongyang, Chen (2011) Road condition monitoring using on-board Three-axis Accelerometer and GPS Sensor Harbin, China: IEEE, Pp. 1032–1037.
7. Kumar, P. (2014) Automated road markings extraction from mobile laser scanning data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. № 32. pp. 125–137.
8. Razi, P. (2018) 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR: Validated by Geodetic GPS and UAV. IEEE Access. № 6. pp. 12395–12404.
9. Pilicheva, M. O., Anoprienko, T. V., Masliy, L. A. (2022) The technology of carrying out geodetic works during the inventory of green areas of the territory using unmanned aerial vehicles. Communal management of cities. «Technical Sciences and Architecture» series. Issue 3 (170). pp. 263–270 [in Ukrainian].
10. Glotov, V. M., Gunina, A. V. (2016) Analysis of modern shooting methods during the processing of large-scale plans. Geodesy, cartography and aerial photography. Issue 83. pp. 53–63 [in Ukrainian].
11. Kozar, V. I., Kozar, L. M. (2020) Peculiarities of the use of electronic tacheometers when conducting topographical and geodetic works for land management and cadastre. Geodesy, cartography, land management, cadastre: mater. All-Ukrainian science and practice inter. conf. (Uman, April 27, 2020). pp. 8–9. https://geodesy.udau.edu.ua/assets/files/2020/zbirnik_tez/zbirnik-geodeziya-20.05.20-2-4.pdf [in Ukrainian].
12. Glotov, V., Gunina, A. (2014) Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for aerial photography processes. Modern achievements of geodetic science and production. Issue 2. pp. 65–70. http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sdgn_2014_2_17.pdf [in Ukrainian].
13. Bilis, T., Kouimtzoglou, T., Magnisali, M., Tokmakidis, P. (2017) The use of 3d scanning and photogrammetry techniques in the case study of the roman theatre of nikopolis. Surveying, virtual reconstruction and restoration study. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Nafplio, Greece. Vol. XLII-2/W3. P. 97–103.