

DOI: 10.32347/2076-815X.2024.85.391-404

УДК 528.48

к.т.н., доцент **Медведський Ю.В.**,

medvedskyi.iuv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0342-7088,

д. т.н., професор **Анненков А.О.**,

geodez74@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3618-5399,

к.т.н., доцент **Адаменко О.В.**,

adamaleksandr@i.ua ORCID: 0000-0001-7608-1845

к.т.н., доцент **Дем'яненко Р.А.**,

legendgeodesy@gmail.com ORCID: 0000-0002-5405-3840

Циколенко О.В.

tsykolenko.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9231-8400,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ БПЛА КАРТОГРАФУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ІЗ СУТЄВИМ ПЕРЕПАДОМ ВИСОТ

Проведено аналіз результатів БПЛА картографування території із сутєвим перепадом висот, у якості якої обрано схил Національного музею Глодомору-геноциду в м. Києві. В процесі отримання ортофотопланів використано прив'язку знімків до опорних точок, координати яких визначено ГНСС методами від мережі перманентних станцій методом RTK. Додатково були закоординовані точки для подальшого аналізу лінійних спотворень ортофотоплану вздовж та поперек схилу. З результатів порівняння горизонтальних прокладень між контрольними точками, визначеними по ортофотоплану та аналітичних розрахунків, встановлено певну кореляцію між перепадом висот і величиною нев'язки. Для більш довгих ліній вздовж схилу помітна тенденція до збільшення помилок, при тому, що такої залежності не відслідковується для ліній поперек схилу, що надає змогу стверджувати про доцільність використання методики БПЛА знімання із врахуванням перепаду висот на території знімання.

Ключові слова: БПЛА; ортофотоплан; коефіцієнт кореляції; нев'язка; відносна похибка; горизонтальне прокладення; GPS зйомка; перевищення

Проблема і її зв'язок із науковими і практичними завданнями. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) зарекомендували себе як надійна технологія для створення карт, планів та інших продуктів геоданих. У автономному режимі, але під пильним контролем оператора, БПЛА здатні виконати різні варіанти аерофотозйомки для створення фото та відеопродукції,

виготовлення картографічної продукції та 3D моделей, моніторингу змін та виконання різноманітних розрахунків. Щоб виконати аерофотозйомку нам не потрібен аеродром та пов'язана з ним складна інфраструктура. Вони дозволяють забезпечити наступні аспекти виконання робіт:

- Швидкість та економічність.
- Детальність та повнота.
- Якість та безпека.
- Гнучкість та комплексність.

Проте не існує абсолютної точності і роботи, виконані за допомогою дронів, містять в собі помилки. Помилки, що діють при фотограмметричних вимірюваннях, можна об'єднати в п'ять груп залежно від їх загального джерела виникнення: помилки знімка, вимірювального приладу, впізнання точок, методики обробки, опорних точок. Розглядаючи основні джерела помилок знімка можна зробити висновок, що їх причина у відхиленні точок від положень в ідеальній центральній проекції, які можуть бути викликані нахилом знімка та зміною висоти знімання.

За законами побудови зображення в центральній перспективній проекції точка M місцевості (рис. 1) відіб'ється на знімку P в точці m , віддаленої від точки надира n на відстані r . При створенні топографічних карт точки місцевості повинні бути спроектовані лініями на поверхню референц-еліпсоїда. На знімках, за якими створюються великомасштабні топографічні карти, зображуються порівняно невеликі за площею ділянки місцевості, в межах яких поверхню референц-елліпсоїда можна прийняти за площину, а проекцію можна вважати ортогональною. Таким чином, точка місцевості M буде проектуватися на горизонтальну площину E , що представляє ділянку поверхні референц-елліпсоїда, в точку M_0 .

Якщо зображення, отримане на знімку P , спроектувати за законами центральної проекції на площину E , то точка m проектується в точку M' , а не в точку M_0 . Щоб точку m спроектувати в точку M_0 , необхідно змістити її на знімку в точку m_0 . Величину зміщення - відрізок $mm_0 = \delta r_h$ - називають зміщенням точки, викликаним рельєфом місцевості. Ці зміщення є розбіжності зображень місцевості на карті і отриманих шляхом проектування зі знімка через їх різних проекцій. При фотограмметричній обробки знімків це потрібно враховувати.

Збільшення висоти фотографування H призводить до зменшення величин зсувів точок на знімку. Оскільки $H = fm$, можна зробити висновок, що на довгофокусних знімках зміщення точок будуть менше, ніж на короткофокусних.

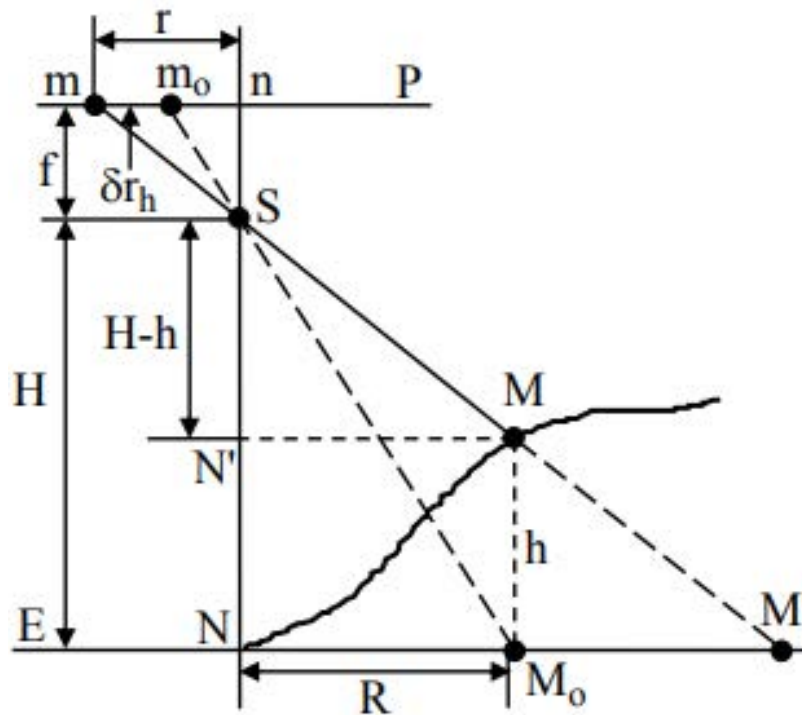


Рис. 1. Схема зміщення точок на знімку, викликані рельєфом місцевості

У той же час збільшення рельєфу і радіус-вектора точок призводить до збільшення їх зсувів, і найбільші їх величини будуть на краю знімка. Отже, якщо необхідно отримати знімки з мінімальними зсувами, викликаними рельєфом місцевості, то аерозйомки слід виконати з максимально можливої висоти і довгофокусної фотокамерою з невеликим форматом кадру.

Ці два параметри при проведенні зйомки з БПЛА мають мінімальні значення в порівнянні з класичними методами проведення аерофотозйомки. Тому перепад висот при проведенні зйомки з БПЛА має велике значення на якість отриманих даних.

Зміна висоти польоту БПЛА впливає у першу чергу на якість зображення. При зміні висоти польоту над поверхнею за рахунок зміни висоти рельєфу виникає зміна перекриття зображення, змінюється масштаб та інше. Оскільки зазвичай висота польоту БПЛА незначна в порівнянні з легкими літальними апаратами (літаками) то вплив перепаду висот суттєво впливає на якість вихідних даних. Одноразовий політ на постійній висоті незалежно від зміни висоти місцевості буде впливати на розмір пікселя, він не буде однаковим протягом усього проекту через коливання висоти місцевості.

Розглянемо траєкторію руху БПЛА над території із змінною висотою (рис.2). Перекриття буде задовільне, але розмір пікселя збільшиться, тим самим зменшуючи деталізацію та точність даних в області більш низьких відміток.

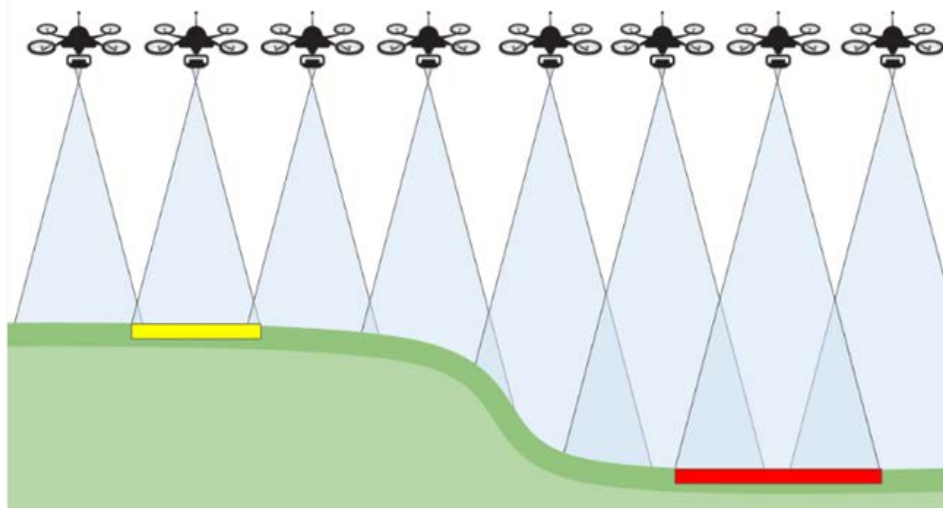


Рис. 2. Схема проведення зйомки від «вищого» місця до «нижчого»

Крім того зміна висоти польоту впливає на якість перекриття. На рис.3 можна побачити ліворуч нижче є деяке перекриття (позначено жовтим кольором) на нижній ділянці місцевості, але, рухаючись праворуч, ми в кінцевому підсумку не маємо перекриття (позначено червоним кольором). Зображення без накладання створюють серйозні проблеми для фотограмметрії і можуть зробити частину даних непридатними для використання.

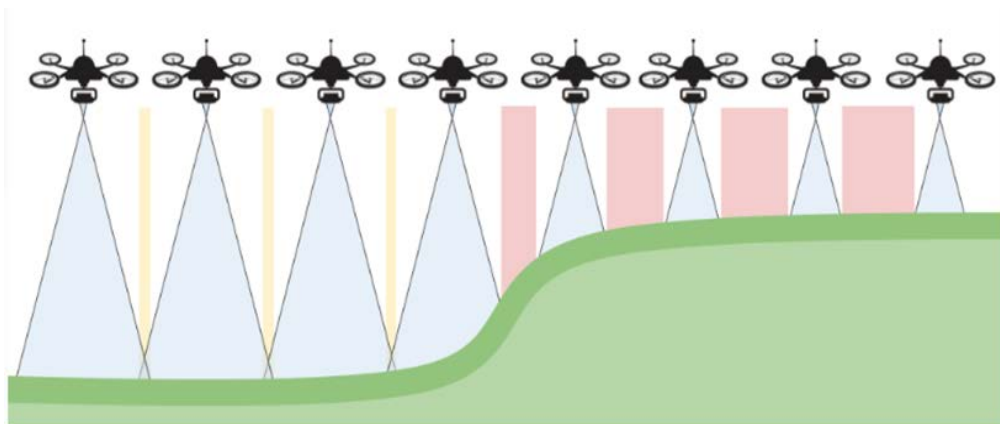


Рис. 3. Схема проведення зйомки від низу схилу до верху

Аналіз останніх публікацій. Дослідження питань застосування БПЛА при виконанні геодезичних задач досить популярне серед українських зарубіжних науковців. Зокрема в роботах [1-4] розглянуто питання використання БПЛА в топографо-геодезичних задачах, а саме: при створенні великомасштабних планів сільських населених пунктів, ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу. Роботи [5,6] присвячені питанню точності як самої камери через визначення параметрів калібрування цифрової камери БПЛА за аерознімками тестового полігона, так і системи навігації самого БПЛА. Також проводяться

дослідження можливостей застосування БПЛА для виконавчого знімання споруд на рівні з наземним лазерним скануванням [7]. Суттєва частина досліджень стосується напрямку розробки методик виконання БПЛА знімання, які дозволяють зменшити помилки в результатах робіт та оптимізують процес виконання знімання та обробки даних. Зокрема в роботі [7] розглянуто можливості забезпечення фотограмметричних проектів опорною інформацією, отриманою з великомасштабних аерознімків. Теорія можливого негативного впливу значного перепаду висот території знімання на точність отриманих результатів з БПЛА знімання знайшла своє підтвердження в дослідженнях вітчизняних [9,10] та зарубіжних вчених [11]. Враховуючи, що в роботах дослідження проводились на досить протяжних територіях, існує ймовірність іншого розподілу помилок та їх впливу на більш обмежених за протяжністю об'єктах.

Викладення основного матеріалу. Об'єктом для проведення експерименту обрано Національний музей Голодомору-геноциду — національний музей в Києві, розташований у Печерську і присвячений злочину Голодомору-геноциду в Україні. Рельєф території - схил східної експозиції з перепадами висот від 145м до 190м. В північно-східній частині території проходить Дніпровський узвіз, на південно-західній частині Національний музей Голодомору-геноциду та Меморіал вічної слави з пішохідними доріжками, сходами, інфраструктурою для поливу та майданчиками для паркування. Західна частина території (вище по схилу) покрита трав'яною рослинністю, східна частина покрита переважно деревною рослинністю. На момент зйомки в центральній частині об'єкта розташований будівельний майданчик з під'їздом від Дніпровського узвозу.



Рис. 4. Панорамний знімок об'єкту проведення зйомки

Аерофотозйомка була проведена з БПЛА типу «квадрокоптер на одній висоті (222 м.). На ділянці було знято 70 знімків за чотирма поздовжніми маршрутами. Для подальшої фотограмметричної обробки було відібрано 69 кадрів, фокусна відстань камери -8,8, діафрагма F/4.5, розмір знімків 5472x3648 піксель.

Аерофотозйомка виконувалась за чотирма маршрутами. Для визначення координат центрів фотографування використовувався геодезичний приймач GPS, встановлений на БЛА. Координати і висоти пунктів опорної геодезичної мережі були визначені за допомогою ГНСС спостережень від пунктів опорної мережі наземними геодезичними методами. При камеральній обробці даних GPS проведено контроль диференційного поля координатних поправок використаної RTK-мережі TNT-TPI здійснювався на двох пунктів ДГМ-М361369300, М361369302.

Оскільки на значній частині ділянка досліджень ростуть дерева, які не дозволяють чітко ідентифікувати точки на ортофотоплані, та будівельний майданчик, на який обмежено доступ сторонніх осіб, точки нерівномірно розташовані на ортофотоплані. Вони були відібрані вгорі схилу на пішохідних доріжках та внизу вздовж Дніпровського узвозу (рис.5.)

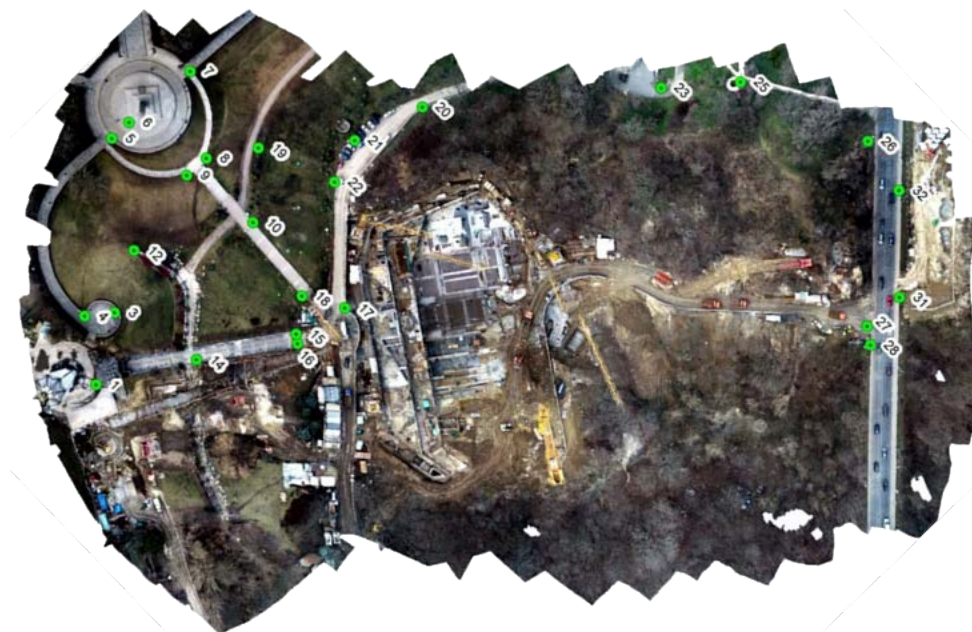


Рис.5. Схематичне зображення розташування опорних та контрольних точок

За результатами фотограмметричної обробки матеріалів аерофотозйомки в ПО Agisoft PhotoScan було отримано щільну хмару точок, яку потім перетворено в полігональну модель поверхні (DEM - в форматі GeoTIFF) і ортофотоплан в форматі TIFF. Побудований ортофотоплан в форматі JPG з роздільною здатністю на місцевості 2 см / піксель. Крім того, була створена

структурована цифрова модель місцевості. Таку модель зручно використовувати в процесі камерального дешифрування контурів і висотних об'єктів, наприклад, визначати типи будівель і їх поверховість, структурні лінії природного і штучного рельєфу і т. д. Також дозволяє класифікувати щільну хмару точок по типу (рослинність, штучні споруди та ін.), відфільтрувати точки рельєфу земної поверхні і отримати цифрову модель рельєфу.

Матеріали калібрування камери з матрицею кореляції та визначена середня похибка положення камери представлені в табл. 1., результати геометричного трансформування ортофотоплану по п'ятьом опорним точкам наведено в табл.2

Таблиця 1.

Середня похибка положення камери

Похибка, x(м)	Похибка, y(м)	Похибка, z(м)	Похибка ху (м)	Загальна похибка (м)
2,12556	2,63539	24,1363	3,38575	24,3726

Таблиця 2.

Середні квадратичні похибки по опорним точкам

Кількість точок	Похибка, x (см)	Похибка, y (см)	Похибка, z (см)	Похибка ху (см)	Загальна похибка (см)
5	1,46706	1,67123	0,84365	2,22379	2,37844

Щоб перевірити якість ортофотопланів в плані, під час зйомки території зі значним перевищенням було проаналізовано довжини ліній (горизонтальні прокладання) вздовж схилу між точками та впоперек схилу. Це було здійснено для того, щоб проаналізувати, наскільки впливає перепад висот на якість матеріалів на одній висоті зйомки (точки з приблизно однаковою висотою) і на схилі (точки зі значними перевищеннями). Для цього було проаналізовано 10 блоків вимірів. У табл. 3 наведено масиви відстаней, виміряних на ділянці в результаті виконання двох видів зйомок.

Таблиця 3.

Виміряні відстані на ділянці

Блок	Назва лінії	Довжини ліній		Перевищення між точками	Нев'язка, м	Примітка
		GPS	Ортофото			
1	4-10	80,093	80,104	13,485	-0,011	Виміри горизонтальних прокладень проводилися вздовж схилу від точки 4. Перепад висот лежить в діапазоні від 11 до 43 метрів.
	4-12	34,216	34,165	10,678	0,051	
	4-14	48,850	48,863	13,512	-0,013	
	4-17	107,131	107,172	25,368	-0,041	
	4-19	100,529	100,560	13,179	-0,031	
	4-22	117,857	117,842	23,491	0,015	

Блок	Назва лінії	Довжини ліній		Перевищення між точками	Нев'язка, м	Примітка
		GPS	Ортофото			
	4-32	340,279	340,222	40,802	0,057	
	4-31	335,376	335,392	43,095	-0,016	
2	6-10	64,706	64,736	14,088	-0,030	Виміри горизонтальних прокладень проводилися вздовж схилу від точки 6. Перепад висот лежить в діапазоні від 11 до 43 метрів.
	6-12	52,606	52,608	11,281	-0,002	
	6-14	100,687	100,663	14,115	0,024	
	6-17	115,535	115,562	25,971	-0,027	
	6-19	53,888	53,945	13,782	-0,057	
	6-22	87,478	87,491	24,094	-0,013	
	6-31	323,178	323,194	43,698	-0,016	
	6-32	317,359	317,306	41,405	0,053	
3	7-10	66,617	66,620	13,368	-0,003	Виміри горизонтальних прокладень проводилися вздовж схилу від точки 7. Перепад висот лежить в діапазоні від 11 до 43 метрів.
	7-12	77,635	77,685	10,561	-0,050	
	7-14	118,420	118,405	13,395	0,015	
	7-19	41,593	41,583	13,062	0,010	
	7-22	73,927	73,893	23,374	0,034	
	7-32	294,541	294,418	40,685	0,123	
	7-31	303,936	303,886	42,978	0,050	
	7-17	114,794	114,783	25,251	0,011	
5	32-19	263,853	263,740	27,623	0,113	Виміри горизонтальних прокладень проводилися вздовж схилу від точки 31. Перепад висот лежить в діапазоні від 18 до 32 метрів.
	32-12	316,271	316,254	30,124	0,017	
	32-14	299,070	299,000	27,290	0,070	
	32-10	266,442	266,356	27,317	0,086	
	32-17	234,279	234,185	15,434	0,094	
	32-22	232,174	232,112	17,311	0,062	
4	31-22	235,912	235,916	19,604	-0,004	Виміри горизонтальних прокладень проводилися вздовж схилу від точки 32. Перепад висот лежить в діапазоні від 16 до 30 метрів.
	31-19	269,314	269,274	29,916	0,040	
	31-10	266,858	266,840	29,610	0,018	
	31-12	314,852	314,904	32,417	-0,052	
	31-14	290,953	290,955	29,583	-0,002	
	31-17	228,252	228,226	17,727	0,026	
6	6-7	33,135	33,200	0,720	-0,065	Виміри горизонтальних прокладень проводилися впоперек схилу від точки 6. Перепад висот лежить в діапазоні від 0,5 до 1,8 метрів.
	6-5	9,630	9,720	0,646	-0,090	
	6-4	82,117	82,084	0,603	0,033	
	6-3	78,542	78,608	0,496	-0,066	
	6-1	109,082	109,010	1,775	0,072	
7	14-10	61,601	61,578	0,027	0,023	Виміри горизонтальних прокладень проводилися впоперек схилу від точки 14. Перепад висот лежить в діапазоні від 0,3 до 8,0 метрів.
	14-19	91,209	91,210	0,333	-0,001	
	14-8	82,959	82,958	7,473	0,001	
	14-9	75,899	75,778	7,541	0,121	

Блок	Назва лінії	Довжини ліній		Перевищення між точками	Нев'язка, м	Примітка
		GPS	Ортофото			
8	17-16	24,611	24,682	0,068	-0,071	Виміри горизонтальних прокладень проводилися впоперек схилу від точки 17. Перепад висот лежить в діапазоні від 0,1 до 2,5 метрів.
	17-18	18,295	18,283	0,199	0,012	
	17-22	51,756	51,736	1,877	0,020	
	17-21	69,125	69,054	2,159	0,071	
	17-20	91,242	89,179	2,506	2,063	
9	25-17	189,452	189,396	0,396	0,056	Виміри горизонтальних прокладень проводилися впоперек схилу від точки 25. Перепад висот становить приблизно 0,8 метрів.
	25-22	172,967	172,977	1,481	-0,010	
	25-18	202,826	202,767	0,197	0,059	
10	26-32	23,895	23,722	1,361	0,173	Виміри горизонтальних прокладень проводилися впоперек схилу від точки 26. Перепад висот лежить в діапазоні від 1,3 до 4,0 метрів.
	26-31	65,355	65,222	3,654	0,133	
	26-27	76,041	75,989	4,133	0,052	
	26-28	83,880	83,711	4,790	0,169	

Для оцінки та пошуку закономірностей, дані нев'язок представлено на точковому графіку, розділивши їх на дві групи, вздовж та поперек схилу (рис.6,7).

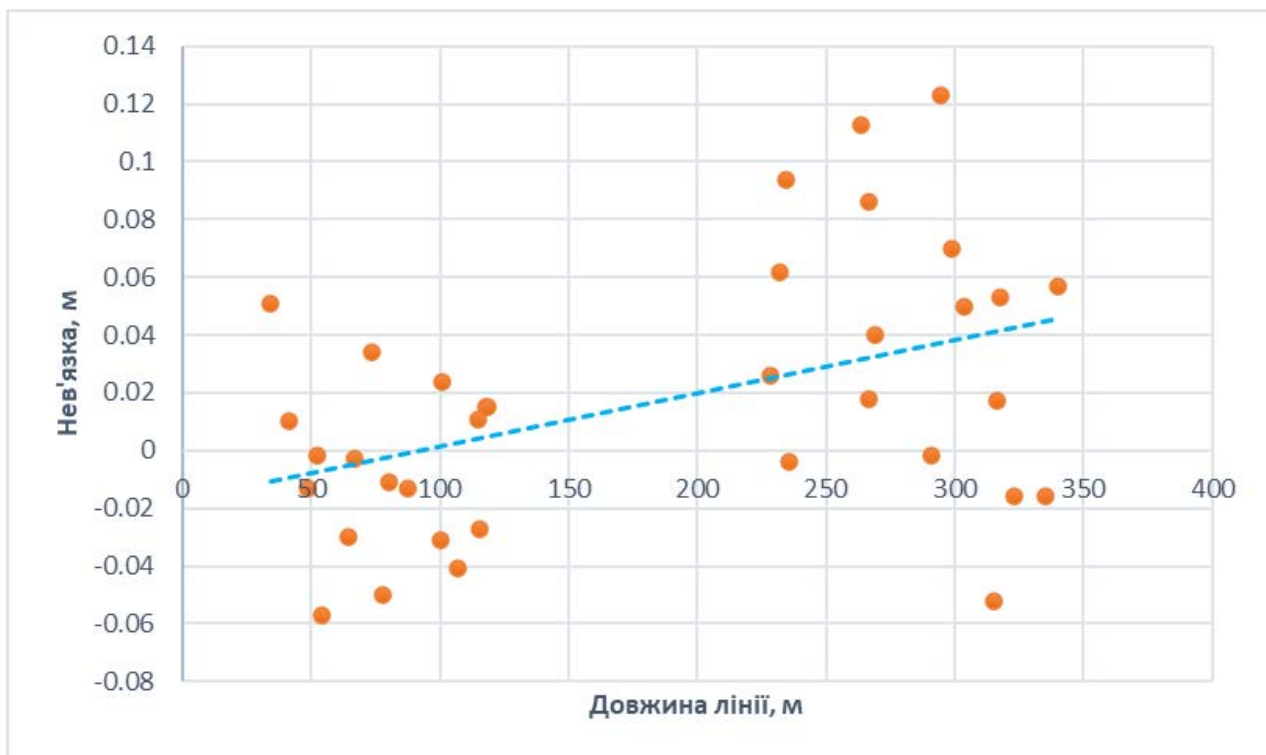


Рис. 6. Нев'язки ліній вздовж схилу

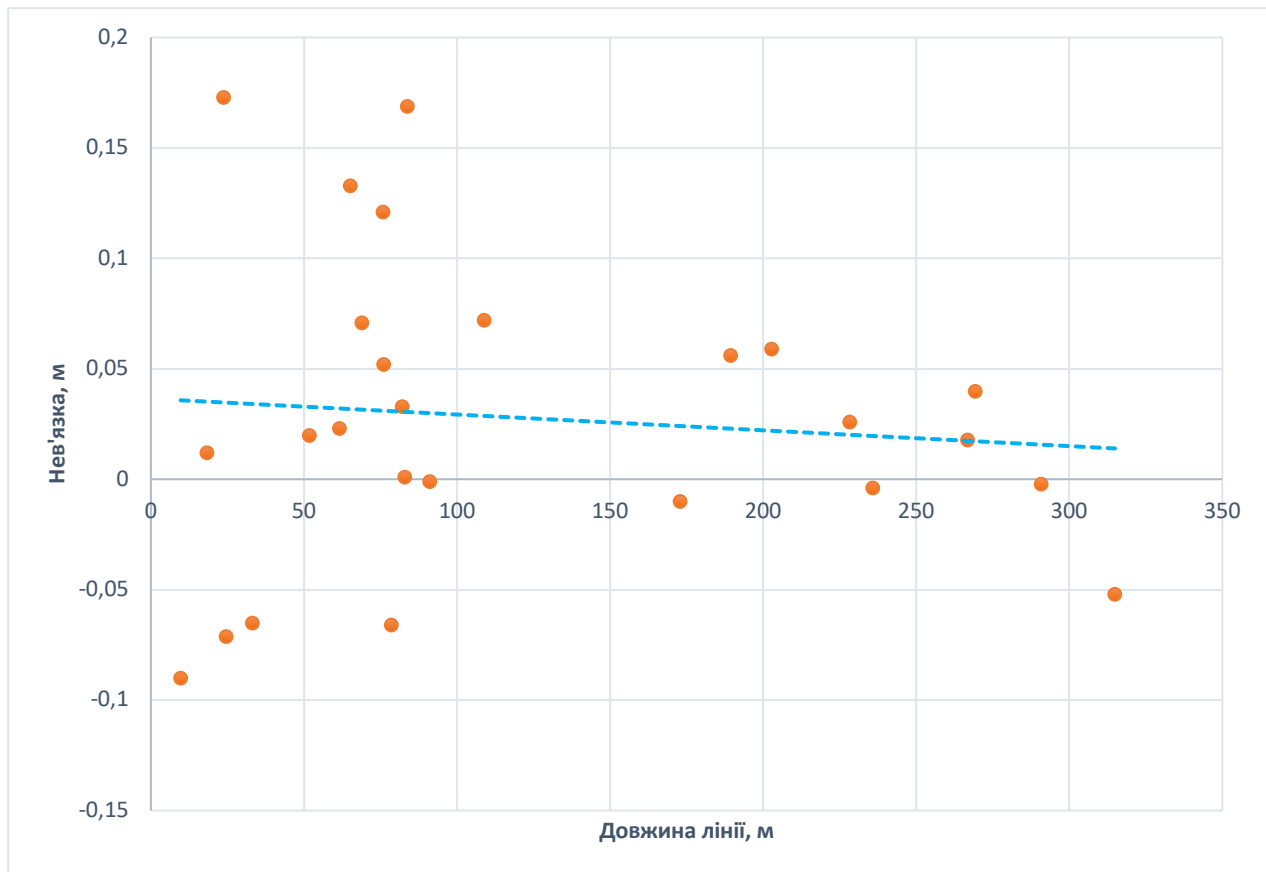


Рис. 7. Нев'язки ліній поперек схилу

Висновки.

За результатами порівняння значень горизонтального прокладання між точками вздовж та впоперек схилу встановлено суттєве збільшення помилок вздовж схилу при збільшенні довжин аналізованих відстаней. Також можна побачити розділення помилок на дві групи, що корелює із зміною висоти знімання і може вказувати на спотворення ортофотоплану внаслідок не врахування зміни рельєфу в напрямку схилу.

Отримані нев'язки горизонтальних прокладень із ортофотоплану та GNSS вимірювань також вказують на невдалий вибір характерних точок на ортофотоплані. Хоч вони чітко розпізнавалися на матеріалах, проте були зроблені біля об'єктів, які мають власну висоту, на частині знімків вони перекривалися сторонніми об'єктами.

Аналізуючи побудовані графіки залежності величин нев'язок горизонтальних прокладень можна зробити висновок про певну кореляцію між перепадом висот і величиною нев'язки, що надає змогу стверджувати про доцільність використання методики БПЛА знімання із врахуванням перепаду висот на території знімання.

З метою отримання рівномірного розподілу помилок на ортофотоплані, пропонується на місцевості зі значним перевищенням висоти розрахувати аерофотознімальний маршрут з урахуванням цифрових моделей рельєфу, а контрольні точки вибирати на рівних відкритих територіях.

Список літератури

1. Седов А.О. Можливості використання БПЛА середнього цінового сегменту для картографування сільськогосподарських ресурсів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Екологія»*, (18), 22-29. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-18-03>
2. Глотов В., Гуніна А. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. - 2014. - №II (28). - С. 65-70.
3. А.І. Вовк, В.М. Глотов, А.В. Гуніна, А.Ю. Маліцький, К.Р. Третяк, А.Л. Церклевич. Аналіз результатів для створення ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу із застосуванням БПЛА TRIMBLE UX-5. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2015. - №81. - С. 90-103. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2015.01.090>
4. Berteška, T., & Ruzgienė, V. (2013). Photogrammetric mapping based on UAV imagery. *Geodesy and Cartography*, 39(4), 158-163. <https://doi.org/10.3846/20296991.2013.859781>
5. О.Є. Куліковська, Ю.Ю. Атаманенко, О.К. Копайгора. Результати калібрування цифрової камери БПЛА за аерознімками тестового полігона. *Інженерна геодезія*. - 2018. - №65. - С. 218-227.
6. Смірнов Є.І. Оцінка точнісних вимог до систем навігації при визначенні координат точок місцевості фотограмметричним комплексом. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. - 2012. - №76. - С. 62-65.
7. Luhmann, T., Chizhova, M., Gorkovchuk, D., Hastedt, H., Chachava, N., & Lekveishvili, N. Combination of terrestrial laserscanning, uav and close-range photogrammetry for 3D reconstruction of complex churches in Georgia. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W11), 753–761. <https://doi.org/10.5194/isprsArchives-XLII-2-W11-753-2019>
8. Колб І.З. Забезпечення фотограмметричних проектів опорною інформацією, отриманою з великомасштабних аерознімків. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. - 2018. - №87. - С. 65-74. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.065>
9. Б.В. Четверіков, Л.В. Бабій, М.Т. Процик, Т.Я. Ільків. Визначення похибки ЦМР ортотрансформування аерознімків, отриманих із БПЛА на

гірську локальну частину смт. Східниця *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. -2019. - №90. - С. 65-73.

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.90.065>

10. Атаманенко Ю.Ю. Оцінка точності визначення відстаней за результатами опрацювання аерофотознімків з БПЛА. *Інженерна геодезія*. - 2017. - №64. - С. 89-99.

11. Xuelian Meng , Nan Shang, Xukai Zhang, Chunyan Li, Kaiguang Zhao, Xiaomin Qiu, Eddie Weeks. Photogrammetric UAV mapping of terrain under dense coastal vegetation: an object-oriented classification ensemble algorithm for classification and terrain correction. *Remote Sensing*.-2017.-№9.- С. 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs9111187>.

Ph.D., Associate Professor **Yurii Medvedskiy**,
Dr. of Engineering, Professor **Andriy Annenkov**,
Ph.D., Associate Professor **Oleksandr Adamenko**,
Ph.D., Associate Professor **Demianenko Roman**,
Assistant **Elena Tcikolenko**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

PECULIARITIES OF UAV MAPPING OF THE TERRITORY WITH A SIGNIFICANT ELEVATION DIFFERENC

The research delves into a comprehensive analysis of the outcomes derived from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) mapping applied to a terrain characterized by a significant variance in elevation. Specifically, the study focuses on the incline of the National Museum of the Holodomor Genocide in Kyiv. Throughout the process of generating orthophotomaps, meticulous attention was given to georeferencing the images to reference points. The coordinates of these points were determined with precision using Global Navigation Satellite System (GNSS) methods implemented through a network of permanent Real-Time Kinematic (RTK) stations. In addition to the georeferencing process, these points underwent coordination to facilitate a more in-depth analysis of linear distortions evident in the orthophotomap along and across the slope. Upon scrutinizing the results obtained by comparing horizontal distortions between control points derived from the orthophoto and those obtained through analytical calculations, a discernible correlation emerged between the elevation difference and the magnitude of misalignment. It was observed that longer lines parallel to the slope exhibited a tendency for increased errors, while no such dependence was noted for lines perpendicular to the slope. This observed trend underscores the importance of considering elevation differences in the survey area

when employing UAV survey methodology. The results strongly suggest the feasibility and practicality of integrating such considerations into the UAV surveying process for terrains characterized by significant elevation variations.

Keywords: UAV; orthomosaic; correlation coefficient; non-viscous; relative error; horizontal plotting; GPS survey; elevation

REFERENCES

1. Siedov, A. O. (2018). Possibilities of Use of the UAVs of the Average Price Segment for Mapping of Agricultural Resources [Mozhlyvosti vykorystannya BPLA seredn'oho tsinovoho sehmentu dlya kartohrafuvannya sil's'kohospodars'kykh resursiv]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University series «Ecology»*, 517(18), 22–29. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-18-03>. {in Ukrainian}
2. Glotov V. Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for aerial photography processes [Analiz mozhlyvostey zastosuvannya bezpilotnykh lital'nykh aparativ dlya aeroznimal'nykh protsesiv] / V. Glotov, A. Gunina // *Current achievements of geodetic science and production*. - 2014. - №II(28). - P. 65-70 {in Ukrainian}
3. Analysis of the results for the creation of orthophoto plans and digital terrain models using the TRIMBLE UX-5 UAV [Analiz rezul'tativ dlya stvorenniya ortofotoplaniv ta tsyfrovyykh modeley rel'yefu iz zastosuvannyam BPLA TRIMBLE UX-5] / A.I. Vovk, V.M. Glotov, A.V. Gunina, A.Yu. Malitskyi, K.R. Tretyak, A. L. Tserklevych // *Geodesy, cartography and aerial photography*. - 2015. - №81. - P. 90-103. {in Ukrainian}
4. Berteška, T., & Ruzgienė, B. (2013). Photogrammetric mapping based on UAV imagery. *Geodesy and Cartography*, 39(4), 158-163. <https://doi.org/10.3846/20296991.2013.859781>. {in English}
5. Kulikovska O.E. Calibration results of the UAV digital camera based on aerial photographs of the test site [Rezul'taty kalibruvannya tsyfrovoyi kamery BPLA za aeroznimkamy testovoho polihona] / O.E. Kulikovska, Yu.Yu. Atamanenko, O.K. Kopaigora // *Engineering geodesy*. - 2018. - №65.- P. 218-227 {in Ukrainian}
6. Smirnov E.I. Assessment of accuracy requirements for navigation systems when determining the coordinates of terrain points by a photogrammetric complex [Otsinka tochnisnykh vymoh do system navihatsiyi pry vyznachenni koordynat tochok mistsevosti fotogrammetrychnym kompleksom] / E.I. Smirnov // *Geodesy, cartography and aerial photography*. - 2012. - №76. - P. 62-65. {in Ukrainian}
7. Luhmann, T., Chizhova, M., Gorkovchuk, D., Hastedt, H., Chachava, N., & Lekveishvili, N. (2019). Combination of terrestrial laserscanning, uav and close-range photogrammetry for 3D reconstruction of complex churches in Georgia. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,

42(2/W11), 753–761. <https://doi.org/10.5194/isprsArchives-XLII-2-W11-753-2019>. {in English}

8. Kolb I.Z. Providing photogrammetric projects with reference information obtained from large-scale aerial photographs [Zabezpechennya fotohrammetrychnykh proektiv opornoju informatsiyeyu, otrymanoyu z velykomasshtabnykh aeroznimkiv] / I.Z. Kolb // Geodesy, cartography and aerial photography. - 2018. - №87. - P. 65-74 <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.065>. {in Ukrainian}

9. Determining the error of the DEM orthotransformation of aerial photographs obtained from a UAV on the mountainous local part of the village. Skhidnytsia [Vyznachennya pokhybky TSMR ortotransformuvannya aeroznimkiv, otrymanykh iz BPLA na hirs'ku lokal'nu chastyny smt. Skhidnytsya] / B.V. Chetverikov, L.V. Babii, M.T. Protsyk, T.Ya. Ilkiv // Geodesy, cartography and aerial photography. - 2019. - №90. - P. 65-73. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.90.065>. {in Ukrainian}

10. Atamanenko Yu.Yu. Evaluation of the accuracy of determining distances based on the results of processing aerial photographs from a UAV [Otsinka tochnosti vyznachennya vidstaney za rezul'tatamy opratsyuvannya aerofotoznimkiv z BPLA] / Yu.Yu. Atamanenko // Engineering Geodesy.-2017.-№64.- P. 89-99. {in Ukrainian}

11. Xuelian Meng Photogrammetric UAV mapping of terrain under dense coastal vegetation: an object-oriented classification ensemble algorithm for classification and terrain correction/ Xuelian Meng , Nan Shang, Xukai Zhang, Chunyan Li, Kaiguang Zhao, Xiaomin Qiu, Eddie Weeks// Remote Sensing.-2017.- №9.- C. 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs9111187>. {in English}