

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ЗЕМЛЕВПОРЯДНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

Допускається до захисту
“ _____ ” _____ 2024 р.
Зав. кафедри _____
професор, д.е.н. Р.М. Ступень

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Бакалавр»

на тему: **“СКЛАДАННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МАСШТАБУ 1:1000
НА ТЕРИТОРІЮ с. ДАВИДІВ ЛЬВІВСЬКОГО РАЙОНУ ЗА
МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО
АПАРАТУ”**

Виконала: студентка гр. ЗВ-43сп

Спеціальності 193 Геодезія і землеустрій

(шифр і назва)

Ю.Я. Степанова

(Прізвище та ініціали)

Керівник: І.З. Колб

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 528.946

Складання топографічного плану масштабу 1:1000 на територію с. Давидів Львівського району за матеріалами аерознімання з безпілотного літального апарату. Степанова Ю. Я. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Львівський національний університет природокористування, 2024, – 41 с. текстової частини, 1 таблиця, 19 рисунків, 25 літературних джерел, 1 аркуш графічної частини формату А1 представлено у мультимедійній презентації.

В роботі приведено аналіз сучасних методів здійснення великомасштабних топографічних зйомок, зокрема порядок отримання та опрацювання цифрових аерознімків з БПЛА для створення топографічного плану місцевості масштабу 1:1000.

Проведено повний комплекс опрацювання матеріалів аерознімання частини с. Давидів Львівської області, створено топографічний план місцевості масштабу 1:1000 на ділянку, що відводиться для розробки піщаного кар'єру. Роботи виконувались у відповідності до вимог діючих нормативних документів. Загальна площа території картографування 10,53га.

Розглянуті питання охорони довкілля та охорони праці.

Приведено висновки та рекомендації.

Ключові слова: аерознімання з БПЛА, фотограмметрія БПЛА, великомасштабне картографування, топографічний план.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ	7
1.1. Великомасштабне топографічне знімання масштабу 1:1000....	8
1.2. Порівняння методів виконання знімачь.....	11
1.3. Аерознімання із застосуванням безпілотних літальних апаратів як метод великомасштабного топографічного знімання.....	14
2 АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТОПОГРАФІЧНИХ ЗНІМАЧЬ НА ТЕРИТОРІЮ РОЗРОБКИ ПІЩАНОГО КАР'ЄРУ В с.ДАВИДІВ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	20
2.1. Фізико-географічний опис та топографічна вивченість об'єкта дослідження.	20
2.2. Характеристика наявних матеріалів аерознімання з БПЛА	22
3 СКЛАДАННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МАСШТАБУ 1:1000 ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ.....	25
3.1. Методика фотограмметричного опрацювання матеріалів аерознімання об'єкта.....	25
3.2. Підготовка растрових і векторних даних для роботи в програмі Digital.....	27
3.3. Векторизація ортофотоплану та компоновка топографічного плану	30
4 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	33
4.1. Екологічні проблеми Львівщини.....	33
4.2. Екологія родовищ піску у Львівській області	34
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	36
5.1. Правила безпеки і охорона праці при топографічному зніманні місцевості	36
5.2. Міри безпеки при роботі з геодезичними інструментами.....	37
ВИСНОВКИ.....	39
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	40

ВСТУП

Великомасштабні топографічні плани є одним з найбільш актуальних продуктів геодезичної галузі і активно застосовуються будівництві, землеустрої, гірничій справі та інших сферах економічної діяльності. Оперативне і якісне їх створення з дотриманням діючих норм технічного регламенту є важливим завданням і здійснюється великою кількістю сучасних методів. Активно розвиваються методики лазерного сканування, знімань на основі глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), електронна тахеометрія. В останнє десятиліття доволі ефективним став метод великомасштабного топографічного аерознімання з безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Цей метод має ряд переваг, а саме низьку вартість обладнання і високий рівень автоматизації і продуктивністю польових і камеральних робіт. Саме цей метод топографічного знімання є актуальним для невеликих за площею територій і активно досліджується в Україні і за кордоном.

Мета досліджень у кваліфікаційній роботі полягала у систематизації науково-методологічних засад створення топографічних планів масштабу 1:1000 за матеріалами аерознімання з БПЛА, удосконалення комплексу камеральних робіт з дешифрування і векторизації ортофотопланів та тривимірних хмар точок у відповідності до завдань створення контурної частини топографічного плану масштабу 1:1000 незабудованої території.

Об'єктом дослідження є топографічні вишукування на території села Давидів Львівської області, яка відводиться під розробку піщаного кар'єру.

Предмет дослідження – методика формування топографічного плану масштабу 1:1000 на прикладі села Давидів Львівської області.

Розділ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ.

1.1. Великомасштабне топографічне знімання масштабу 1:1000.

Великомасштабними називаються топографічні плани в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Вони можуть створюватись на математичній основі (розграфленні, номенклатурі, проекціях і системах координат) та системі умовних позначень міжнародних, національних чи галузевих стандартів. Склад і зміст планів може бути як стандартним так і спеціалізованим, як наприклад для забезпечення потреб відомств і організацій. Такими наприклад є інженерно-топографічні плани для вирішення задач будівництва а також землевпорядкувальні, лісовпорядкувальні, руслові, маркшейдерські, кадастрові та інші топографічні плани [1,9,16].

Топографічні плани масштабу $1:M = 1:1000$ створюють для цілей проектування, формування тривимірних моделей, при будівництві об'єктів інфраструктури, реконструкції будівель та інших інженерних роботах. Сформувати план в такому масштабі можливо як традиційним способом (геодезичним обладнанням), так і з допомогою технологій лазерного сканування, безпілотних технологій аерознімання тощо.



ГНСС-приймач + Тахеометр



Дрони

Рис.1.1. Обладнання для різних технологій топографічного знімання

Для створення топографічних планів виконують повний склад топографо-геодезичних робіт:

- Збір, аналіз та оцінка існуючих картографічних і геодезичних даних і матеріалів;
- Рекогносцирування території;
- Створення геодезичного знімального обґрунтування;
- Геодезична зйомка ділянки у відповідності до вимог точності визначення планового положення об'єктів і з визначеною висотою перерізу рельєфу горизонталями;
- Пошук, виявлення та координування підземних комунікацій;
- Камеральне оброблення результатів польових робіт та архівних даних;
- Картоскладальні роботи, упорядкування електронного топографічного плану.

Топографічні плани масштабу 1:1 000 використовуються [1,2]:

- для складання креслень генерального плану та робочих креслень при проектуванні на незабудованих та забудованих територіях малоповерхового (до 3-х поверхів) будівництва;
- для вертикального планування;
- для складання планів інженерних комунікацій;
- для розробки проектів перебудови існуючих та робочих креслень нових залізничних станцій і вузлів;
- для складання робочих креслень бетонних гребель, будівель ГЕС, камер шлюзів, ділянок прилягання гребель до схилів;
- для детальних розвідок запасів корисних копалин;
- для складання проектів інженерного облаштування і озеленення територій;
- для ведення кадастру населених пунктів із забудовою середньої складності.

Склад топографічних планів різних масштабів визначено у відповідних розділах «Основних положень створення топографічних планів...» [16], а для

інженерно-топографічних планів – у додатку «Г» Державних будівельних норм України (ДБН А.2.1-1-2014) [9].

На топографічних планах масштабу 1:1000 достовірно і з необхідною точністю й деталізацією зображаються:

- геодезичні пункти і пункти знімальної основи, закріплені на місцевості (наносять по координатах);
- будівлі і споруди з вказанням їх призначення, матеріалу і поверховості показують в масштабі плану, по контурах і габаритах цоколів. Архітектурні виступи показуються, якщо величина їх на плані 0,5 мм і більше;
- промислові об'єкти – комплекси споруд заводів, фабрик, електростанцій, шахт, кар'єрів, торфозробок тощо; бурові, свердловини, нафтові і газові вишки, цистерни, наземні трубопроводи, ЛЕП високої і низької напруги, колодязі і об'єкти комунального господарства;
- мережі підземних комунікацій. На планах підземні трубопроводи показуються за даними виконавчих зніманих відповідного масштабу;
- дорожня мережі всіх видів і споруди при них – мости, тунелі, переїзди, переправи, шляхопроводи і т. п.;
- гідрографія – ріки, озера, водосховища, площі розливів. Берегові лінії наносяться по фактичному стану на момент зйомки або на межень;
- об'єкти гідротехнічні і водного транспорту – канали, канави, водоводи, водорозподільчі пристрої, дамби, пристані, причали, шлюзи, маяки, навігаційні знаки тощо;
- об'єкти водопостачання – колодязі, колонки, резервуари, відстійники, природні джерела;
- рельєф місцевості - горизонталями, відмітками висот і умовними знаками обривів, скель, карстових лійок, зсувів, ярів тощо. Форми мікрорельєфу зображаються напівгоризонталями або допоміжними горизонталями з відмітками висот місцевості;
- рослинність деревна, кущі, трав'яна і культурна рослинність (ліси, сади, плантації, луки тощо), окремі дерева і кущі. За додатковими вимогами

кожне дерево знімається інструментально з показом на плані його породи знаком і надписом (подеревна зйомка);

- ґрунти і мікроформи земної поверхні: піски, глинисті, щебневі, монолітні, полігональні й інші поверхні, болота і солончаки;
- границі – політико-адміністративні, землекористування і заповідників, огорожі. Границі районів і межі поселень наносять за координатами поворотних пунктів меж.

На топографічних планах розміщують власні назви населених пунктів, вулиць, станцій, пристаней, лісів, урочищ, вершин, перевалів, долин, балок, ярів й інших географічних об'єктів.

В нормативних документах під точністю плану розуміють сумарну середню квадратичну помилку в плановому і висотному положенні точок ситуації і рельєфу. Середня квадратична помилка планового положення точок визначається за формулою [10,17]

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (1.1)$$

де m_x і m_y - середні квадратичні помилки вимірювання на плані абсцис і ординат точок.

Загалом помилки координат точок на плані містять помилки побудови планової основи, помилки інструментальних вимірювань і графічних побудов. Помилки контролюють відносно відносно найближчих пунктів геодезичної основи. За емпіричними даними, для планів територій з капітальною забудовою помилка $m_x = m_y = 0,2\text{мм}$ і планів мало забудованої території $m_x = m_y = 0,3\text{мм}$, отже, точність плану складає

$$m_{xy} = \pm 0,4\text{мм} \quad (1.2)$$

Точність зображення рельєфу визначають помилки в положенні горизонталей на плані. Ці помилки поділяють на дві групи:

- 1) помилки визначення висот пікетних точок, помилки узагальнення рельєфу, вплив дрібних нерівностей земної поверхні;
- 2) помилки планового положення пікетних точок, помилки інтерполяції висот, планове зміщення горизонталей, викреслювання горизонталей.

З досвіду відомо, що переважаючий вплив на точність зображення рельєфу на великомасштабних планах мають такі помилки першої групи як генералізація рельєфу і вплив «топографічної шороховатості», як залежать від характеру місцевості і відстаней між пікетними точками. Існує емпірична формула:

$$m_H = a + b \cdot \operatorname{tg} \nu \quad (1.3)$$

де m_H — середня квадратична помилка визначення відміток точок за горизонталями; ν — кут нахилу місцевості; a і b — параметри, що відображають вплив відповідно зазначених вище першої і другої груп помилок. Так, наприклад, для плану масштабу 1 : 1000 з перетином рельєфу 0,5 м отримана формула

$$m_H = 0.10 + 0.5 \cdot \operatorname{tg} \nu \quad (1.3')$$

яка при куті нахилу місцевості до 3^0 дає $m_H = 0.12$ м.

1.2. Порівняння методів виконання знімачь.

В наш час застосовуються автоматизовані технології топографічних зйомок і створення планів [4,20]. Найбільш поширені і ефективні з них представлені в таблиці 1.1 і рисунком 1.2.

Таблиця 1.1 – Порівняння різних технологій великомасштабного топографічного знімання

№	Технологія знімання	Полеві роботи				Камеральні роботи			Експертна оцінка ефективності методу
		Час	Автоматизація	Вартість	Подолання важко-доступності	Час	Автоматизація	Вартість	
1	Тахеометричне знімання	-	+/-	-	-	+	+	+	3.5
2	ГНСС	-	+/-	-	-	+	+	+	3.5
3	Авіаційне, наземне, мобільне лазерне знімання	+	+	-	+/-	-	+/-	+/-	3.5
4	Класичне аерознімання	+	+	-	+/-	-	+/-	+/-	3.5
5	Аерознімання із застосуванням безпілотних літальних апаратів	+	+	+	+	-	+	+/-	5.0

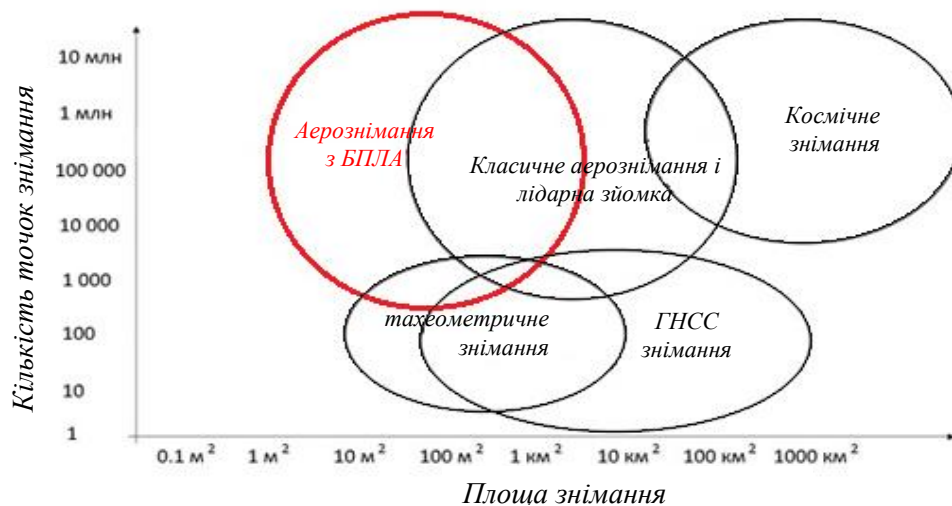


Рис. 1.2 – Порівняння сучасних технологій зйомки за кількістю точок і за охопленням площ місцевості

З описаних тут методів більший рівень продуктивності робіт забезпечує автоматизація камеральних робіт, тому реалізація ефективної методики створення топографічного плану на основі таких технологій як лазерне сканування і аерознімання із застосуванням БПЛА є більш перспективними.

Аерознімання з БПЛА стає найбільш популярним методом. Цьому сприяє значне здешевлення вартості літальних апаратів, автоматизація процесів фотограмметричного опрацювання, відпрацьовані методики наземного геодезичного забезпечення ділянок і навігаційного забезпечення польотів [13].

При картографуванні сільських територій площею до 200 га з невеликою об'єктовою навантаженістю і без густої рослинності знімання із застосуванням літакового чи мультироторного БПЛА є ефективним і рентабельним. Весь комплекс знімальних робіт на місцевості виконується автономно, оперативно, з участю одного-двох спеціалістів. Ці переваги створюють умови для високого рівня автоматизації технології топографічних зніманих з метою створення планів і цифрових моделей місцевості. При практично повній автоматизації створення ортофотоплану і генерування горизонталей з допомогою програмних засобів камеральні роботи виконуються в стислі терміни з мінімальною затратою фізичної праці. В цій загальній задачі важливим є створення автоматизованої

методики камерального дешифрування. Активно розробляються методики виділення контурної частини зображень на основі методів комп'ютерної графіки, машинного навчання, автоматизированих алгоритмів класифікації об'єктів місцевості і їх векторизації з врахуванням умовних знаків і вимог за точністю, встановлених в нормативних документах.

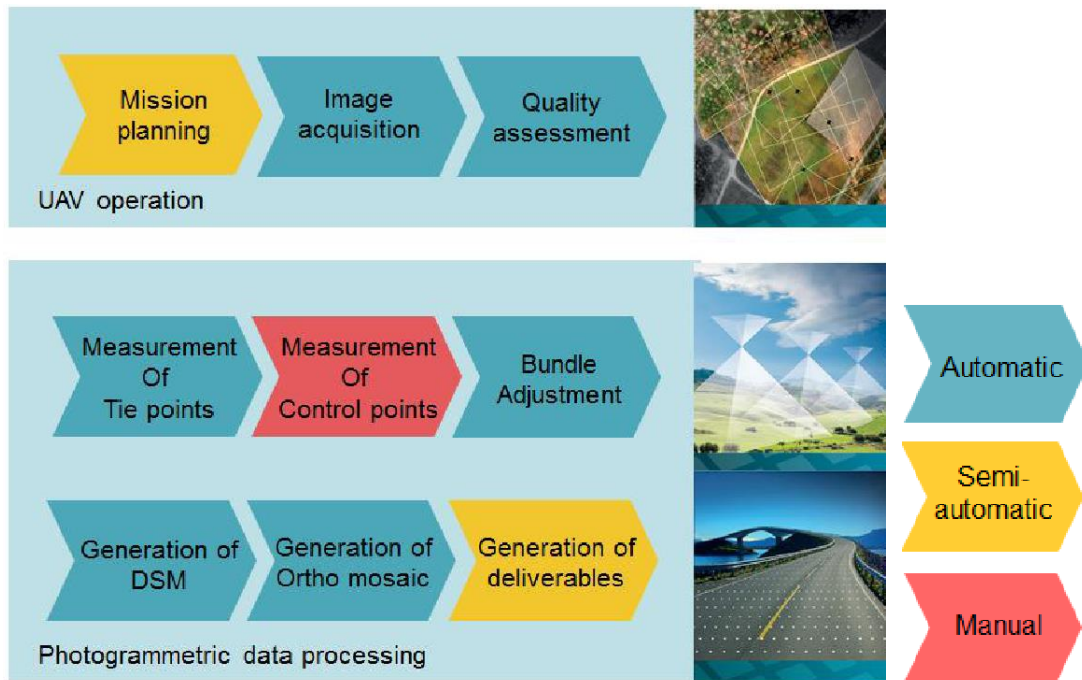


Рис. 1.3 – Повний процес фотограмметричного опрацювання даних аерознімання з БПЛА

Позитивні особливості даного виду знімань:

- рентабельність часто вища порівняно з ГНСС-зніманням в RTK-режимі і тахеометричною зйомкою [3,13];
- використання недорогих БЛА з неметричними камерами для яких не потрібні аеродроми для злету і посадки [6, 7];
- оперативність отримання даних;
- аерознімання з найвищим розрізненням;
- можливість безпечної роботи в різних умовах середовища;
- висока продуктивність та оптимальна маневреність, здатність працювати у обмежених умовах доступності до об'єкта;

- радикальне скорочення термінів польових і камеральних робіт;
Недоліки методу:
- залежність від погоди та сезону, часу доби;
- неможливість застосування на територіях з щільною багатоповисловою забудовою і суцільною високою рослинністю;
- висока вартість БПЛА з RTK-приймачем геодезичного класу точності на борту, дороговартісне спеціалізоване програмне забезпечення, необхідність великих інвестицій, якщо потрібні лідари (середня окупність обладнання становить 1,5-3 роки);
- складність і тривалість камерального дешифрування;
- відсутність кваліфікованих кадрів для камеральної обробки даних з принципово іншим підходом. Необхідність додаткової освіти в галузі фотограмметрії та супутникових технологій;
- недовіра до технологій, що зберігається у тих, хто віддає перевагу класичним методам топографічної зйомки. Є деякі складнощі із сертифікацією методології.
- необхідно окремо знімати підземні комунікації.

1.3. Аерознімання із застосуванням безпілотних літальних апаратів як метод великомасштабного топографічного знімання

Швидкий розвиток технології безпілотних літальних апаратів призвів до повсякденного використання мініатюрних літальних апаратів з неметричними камерами малого формату, які успішно використовуються в різних типах фотограмметричних проектів і ГІС-додатків.



Рис. 1.4 – БЛА DJI Mavic Pro і його комплектуючі

Перед виконанням польових робіт виконується розрахунок параметрів польоту, визначається розміщення на місцевості точок знімальної основи (опознаків). По заданому маршруту БПЛА в автоматизованому режимі виконує політ. Зазвичай встановлюють більші перекриття знімків порівняно з класичним аерозніманням - щонайменше 80% і 60% повздовжніх і поперечних перекриттів знімків відповідно. Важливою є також інформація про погоду в день виконання польотів. Типовий робочий процес місії БПЛА можна розділити на два основні завдання: планування місії разом із самим польотом і подальша обробка отриманих даних [6,12,23].

Планування місії є важливою частиною процесу аерознімання з БПЛА і багато в чому визначає успішний результат проекту картографування. Постачальники БПЛА надають спеціалізовані рішення для планування місій і завдань, пов'язаних із польотами, зокрема:

- встановлення загальних параметрів проекту;
- фотограмметричне планування місії;
- автономний / ручний політ;

Принципово важливо використовувати 75% - 85% повздовжнього та бічного (поперечного) перекриття в проектах БПЛА для створення геометрично стійких блоків зображень.

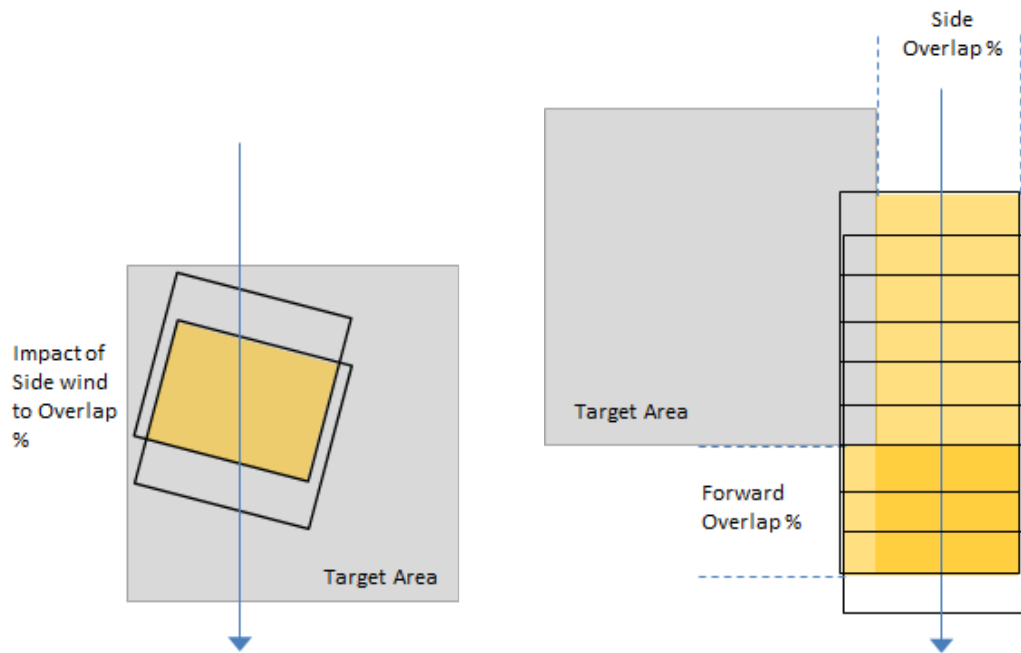


Рис. 1.5 – Планування оптимальних перекриттів знімків БПЛА

Компактні БПЛА є досить нестабільними платформами для отримання зображень, оскільки вони піддаються впливу турбулентності під час польоту. У результаті блоки зображень часто складаються з суміші похилих і майже вертикальних зображень, які можуть мати різну радіометричну якість, а попередньо встановлені 75% - 85% перекриття можуть значно відрізнятись. Польоти з великими перекриттями не додають значних додаткових витрат до проектів БПЛА. Натомість високі перекриття справді компенсують аномалії траєкторії та нахил зображення, зберігаючи достатні умови для успішної автоматичної обробки даних. Крім того, високі перекриття зводять до мінімуму зони оклюзії та є необхідною умовою для вдосконаленого моделювання 3D DSM.

Для досягнення однорідності фотограмметричного блоку та незмінної якості геодезичної основи по всій цільовій області, краю блоку заслуговують на особливу увагу - повне стереопокриття повинно бути досягнуто по всій цільовій області. Блок має бути продовжений за межі об'єкта на відстань, що відповідає

використаному відсотку перекриття. Щоб масштаб зображення був постійним по всьому блоці, висота польоту повинна залишатися незмінною відносно землі.

Польові роботи в першу чергу стосуються розміщення на місцевості і визначення просторових координат встановленої кількості опознаків - точок знімальної основи *GCPs* (*Ground Control Point*), більша частина яких є опорними (*transformation points*), а інші - контрольними (*check points*). Точки маркують на місцевості або обирають на стійких добре розрізняваних штучних контурах. Їхні координати визначають з допомогою лінійно-кутових або супутникових вимірювань в режимі «статика/швидка статика». GCP повинні бути розташовані навколо цільової області; деякі точки також необхідні всередині області. GCP мають ефективно охоплювати периметр ділянки картографування, щоб тримати поширення помилок фотограмметричної моделі під контролем. Це допомагає досягти рівномірної точності по всій зоні проекту, як видно на рисунку 1.6в.

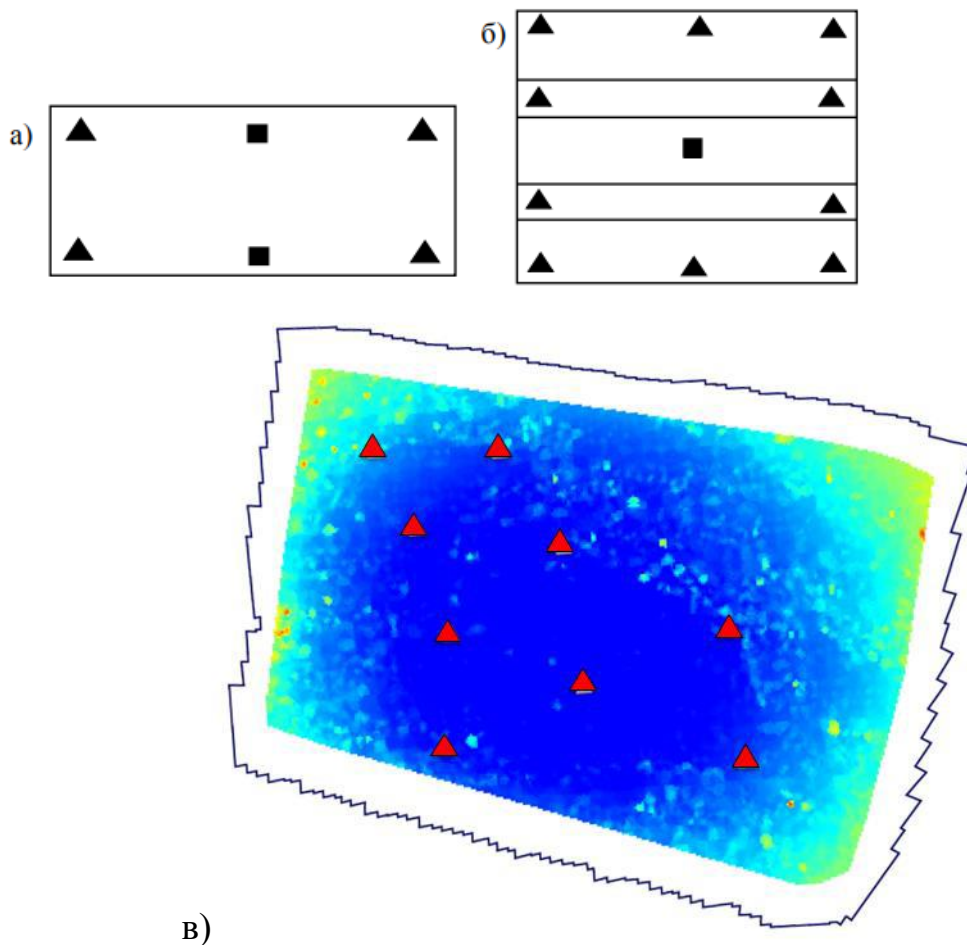


Рис. 1.6 – Типове розміщення GCP при площинному аерозніманні з БПЛА:

▲ - планово-висотні опознаки; ■ - висотні опознаки.

Опорні точки на краях блоку знімків мають розташовуватися в зоні перекриття кількох зображень а їхня кількість залежить від форми блоку зображень. В прямокутній області п'ять опорних точок є мінімальною кількістю. Без контролю GCP у середній частині відбувається висотна деформація фотограмметричної моделі. Однак у більш складних проектах, що складаються з кількох маршрутів знімання або проектів коридорного типу (дороги, лінії електропередач тощо), потрібно отримати більшу кількість GCP, щоб уникнути несприятливого поширення помилок [10, 25].

Після створення наземної опорної мережі виконується аерознімання. Для мультироторних апаратів необхідний невеликий рівний майданчик, а для літакового типу використовується пусковий пристрій-катапульта або виконується запуск з рук. Мультироторні БПЛА більш стабільні в польоті, простіші і дешевші в обслуговуванні. В них менша ймовірність механічних пошкоджень при злеті і посадці [12].

Отримані дані – аерознімки, координати опорних і контрольних точок, LOG-протоколи телеметрії польотів надаються для камерального опрацювання в спеціалізованому програмному забезпеченні, в ході якого будують цифрову модель рельєфу (ЦМР), цифрову модель місцевості (ЦММ) та ортофотоплан. Ці моделі в свою чергу є даними, за якими виконується побудова топографічного плану. По ЦМР виконується генерування горизонталей, а по ортофотоплану – векторизація об'єктів місцевості. Дешифрування у більшості випадків не потребує виїзду на місцевість для польового дешифрування знімків.

Суттєве спрощення технології можливе при використанні БПЛА з приймачем *RTK* в поєднанні з мікроелектромеханічною системою гіроскопа і акселерометра на борту. В такому випадку можливо безпосередньо в польоті інструментально фіксувати координати центрів проєкцій знімків і тим самим скоротити до мінімуму кількість точок наземної знімальної основи [15,17]. Крім того, існують ділянки, де використання опознаків може бути складним і навіть небезпечним. Відсоток автоматизації камеральних робіт є високим за

виключенням дешифрування і векторизації ортофотоплана через значну різноманітність типів об'єктів місцевості [24].

Строгі принципи фотограмметричного опрацювання зосереджуються на аспектах точності та контролю поширення помилок у всьому робочому процесі. Ці принципи реалізовано в спеціалізованих пакетах фотограмметричного програмного забезпечення, яке охоплює весь робочий процес обробки даних від контролю якості польоту на місці до повністю автоматичних рішень аерофототріангуляції, а також створення збалансованої за кольором дійсної (істинної) ортомозаїки та детальних DSM/DTM. Окрім використання найсучасніших алгоритмів для обробки даних, приділяють особливу увагу розширеній гарантії якості шляхом ретельного статистичного тестування результатів обробки.

Виробники спеціального програмного забезпечення пропонують рішення для постобробки отриманих блоків зображень, що складаються з:

- оперативна оцінка якості отриманих даних на місці виконання зйомки;
- реконструкція фотограмметричного блоку знімків, тобто автоматична аеротріангуляція з вирівнюванням зв'язки блоку;
- генерація поверхонь DTM/DSM;
- обчислення істинної ортомозаїки;
- перевірка якості та формування результатів;

Усі модулі програмного пакету використовують сучасну технологію графічного процесора (GPU). Один графічний процесор збільшує швидкість обробки в 50 разів, використання кількох графічних процесорів збільшує швидкість відповідно.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТОПОГРАФІЧНИХ ЗНІМАНЬ НА ТЕРИТОРІЮ РОЗРОБКИ ПІЩАНОГО КАР'ЄРУ В с.ДАВИДІВ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Фізико-географічний опис та топографічна вивченість об'єкта дослідження

Ділянка картографування є прямокутником розміром 390 x 270 м, має видовжену форму в напрямку північ-південь, знаходиться в північно-східній околиці с.Давидів Львівського району Львівської області на відстані 500м від адміністративної будівлі Давидівської ОТГ. Ділянка межує з котеджним містечком «Золота підкова» та шосе Н-09 (автомобільний шлях національного значення Львів- Мукачево, відтинок Львів-Бібрка). На ділянці ведеться розробка піщаного кар'єру, більша частина площі зайнята ріллею, повітряною ЛЕП 110 Кв, перетинається по діагоналі автомобільною дорогою та захисною лісосмугою вздовж неї. Географічні координати центру ділянки в точці 49° 45' 05.2079" Північної широти, 24° 08' 50.2468" Східної довготи, перепад висот рельєфу – до 15метрів.

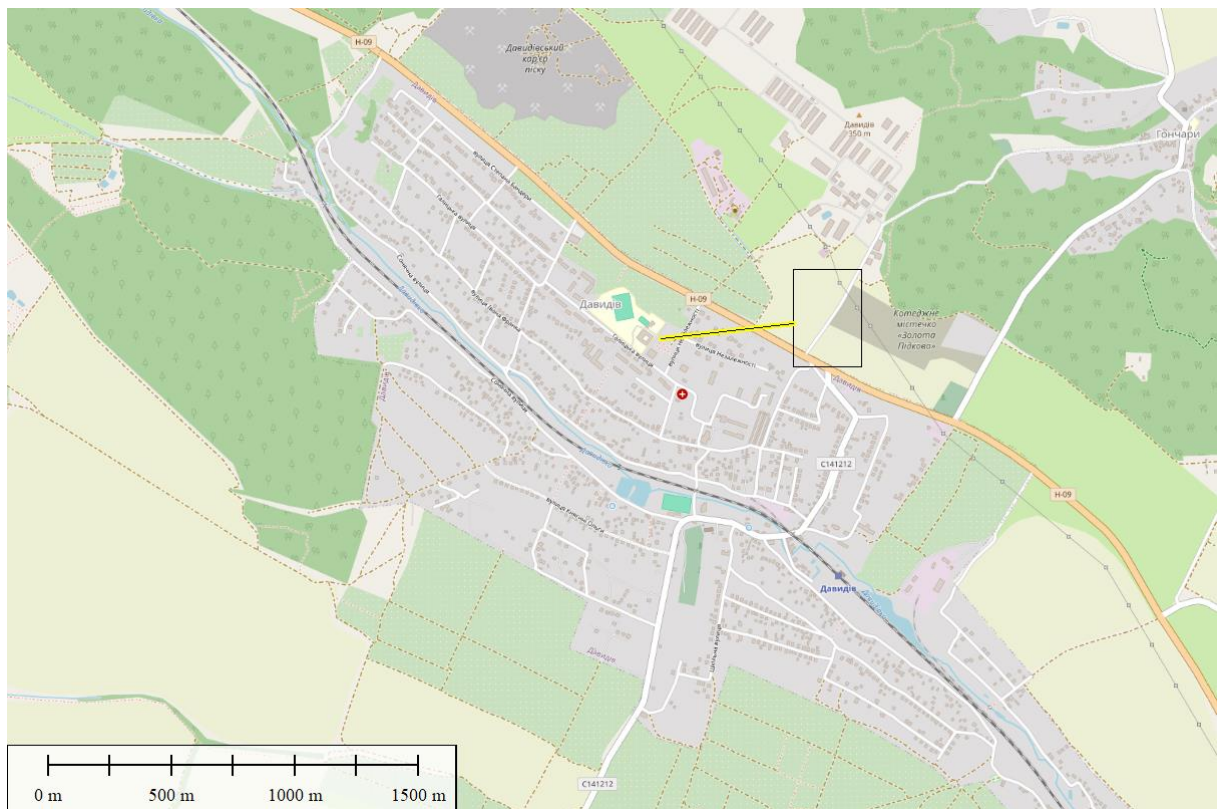


Рис.2.1. Ділянка картографування в північно-східній околиці с.Давидів



Рис.2.2. Топографічна ситуація на ділянці картографування.

2.2. Характеристика наявних матеріалів аерознімання з БПЛА

В розпорядженні виконавця робіт є файл розміщення 10 пунктів знімальної мережі у форматі ArcView Shapefile, координати яких було отримано в системі координат UTM методом ГНСС-знімання в 2021 році при створенні ортофотоплану масштабу 1:2000 забудованої частини селища.

FID	Shape *	Field1	Field4	X	Y
0	Point ZM	10	326,721	726557,91355	5515752,7758
1	Point ZM	11	317,991	726697,37804	5515660,2474
2	Point ZM	12	313,255	726907,54550	5515524,5347
3	Point ZM	24	325,502	726614,35730	5515229,1973
4	Point ZM	43	311,362	726499,99290	5515012,1313
5	Point ZM	72	315,41533	726284,12859	5514585,2539
6	Point ZM	73	318,492	726254,38273	5514383,5529
7	Point ZM	76	331,72828	726075,27049	5514457,8310
8	Point ZM	77	332,20614	726135,67376	5514024,2008
9	Point ZM	78	328,48614	726508,94061	5514747,6292
10	Point ZM	99	322,48787	726719,30367	5515370,4195

Рис.2.3. Атрибутивна таблиця шейп-файлу розміщення 10 пунктів знімальної мережі

Відстань від будь-якої точки на ділянці картографування до найближчого пункту знімальної мережі не перевищує 290 метрів.

Щільність наявної на території знімання планово-висотної основи відповідає формулам очікуваної точності визначення просторових координат точок фототріангуляції:

$$\text{По висоті: } m_h = K_z \frac{H_\phi}{b} m_{p,q} \sqrt{n^3 + 19n + 48} \quad (2.1)$$

$$\text{В плані: } m_L = K_{xy} \frac{H}{f} m_{xy} \sqrt{n^3} \quad (2.2)$$

де m_h , m_L – допустимі середні квадратичні помилки визначення висот і планових координат з фотограмметричного згущення; m_{xy} , m_{pq} – середні квадратичні помилки вимірювання координат і паралаксів, які залежать від геометричного розрізнення знімків; K_z , K_{xy} – коефіцієнти які залежать від способу виключення деформації в фотограмметричному блоці. Значення коефіцієнтів такі:

Характеристика фотограмметричного блоку	K_z	K_{xy}
В блочній фототріангуляції з $P_x=60\%$, $P_y=30\%$	0,08	0,25
В блочній фототріангуляції з $P_x=60\%$, $P_y=60\%$	0,07	0,20
При застосуванні способу самокалібрування	0,06	0,17

За формулами (2.1) і (2.2) розраховувалась кількість базисів між плановими і висотними опознаками із заокругленням до більшого цілого значення. Отримані значення $n_L=9$, $n_h=8$.

При проектуванні наземної опорної мережі враховувались такі вимоги до планово-висотної основи для аерознімання з БПЛА [Аерофотознімання з застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА): <http://balt-agr.ru/services/aerofoto.htm>] для створення планів масштабу 1:1000:

- Кількість точок на 1 км² : 6;
- Точність визначення координат опорних точок : 10см.

Аерознімання виконувалась з БПЛА літакового типу **Trimble X5** [21] із проєктованими перекриттями знімків 80%. БПЛА оснащено цифровою

фотокамерою Sony NEX-5R з сенсором на $4592 \times 3056 = 16,1$ Мега пікселів (матриця розміром $23,4 \times 15,6$ мм) і об'єктивом з фокусною відстанню 15,45мм.

Кількість зображень: 338;

Висота польоту: 283.782 м. ;

Розрізнення знімків на місцевості: 0.045 м /піксель;

Площа зони покриття: 2,71866 км².

В польоті записувався файл телеметрії в форматі csv, який може використовуватись як початкове наближення при створенні фотограмметричного блоку.

image	latitude	longitude	altitude	yaw	pitch	roll	0.05	0.09	0.09
DSC09753.TIF	49.73814144	24.14131738	491.89	203.78	12.57	-0.48	0.05	0.09	0.09
DSC09754.TIF	49.73780850	24.14109375	493.15	204.17	6.53	-1.57	0.05	0.09	0.09
DSC09755.TIF	49.73748310	24.14086747	490.78	206.86	4.66	5.52	0.05	0.09	0.09
DSC09756.TIF	49.73716753	24.14061393	488.91	211.18	10.22	2.06	0.05	0.09	0.09
DSC09757.TIF	49.73687592	24.14034909	490.89	210.50	12.49	-3.40	0.05	0.09	0.09
DSC09758.TIF	49.73652891	24.14006503	491.11	208.29	3.38	3.43	0.05	0.09	0.09

Рис.2.4. Файл навігаційних параметрів блоку аерознімків

Замовником також надано файл елементів зовнішнього орієнтування аерознімків. Координати центрів проєкцій приведено в системі координат СК63:

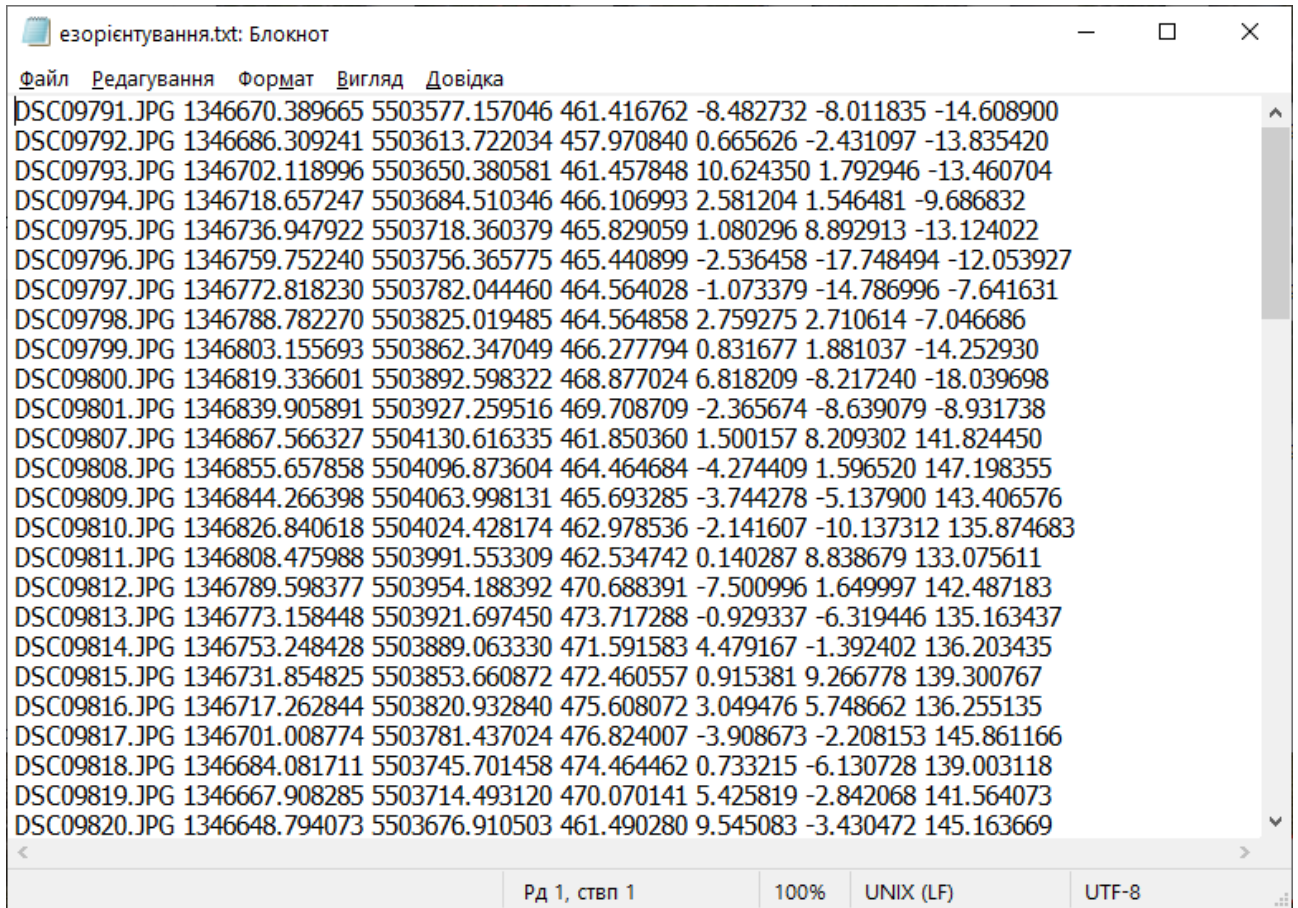


Рис.2.5. Файл елементів зовнішнього орієнтування аерознімків

РОЗДІЛ 3. СКЛАДАННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МАСШТАБУ 1:1000 ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

3.1. Методика фотограмметричного опрацювання матеріалів аерознімання об'єкта

В нормативних документах із створення топографічних планів і карт приведена формула для розрахунку необхідної точності ЦМР, яка може використовуватись при ортотрансформуванні кадрових знімків:

$$\Delta h_{max} = \frac{0.3fM_k}{r} \quad (3.1)$$

де 0,3мм- графічна точність топографічного плану;

f – фокусна відстань знімальної камери, мм;

M_k – знаменник масштабу створюваного фотоплану;

r – максимальне віддалення точки знімка від точки надира, мм.

У відповідності до цієї формули для ортофотоплану масштабу 1:1000 із аерознімків отриманих камерою Sony NEX-5R, враховуючи можливі кути нахилу знімків до 6°: $\Delta h_{max} = 0,19$ м. Саме цю величину приймемо як орієнтовну найгіршу очікувану точність визначення висот ЦМР. Фактично знімки мають значне перекриття, тому відмітка точки місцевості буде визначатись багатократно, що призведе до зменшення розрахованої величини і дозволить створити за отриманою ЦМР карту горизонталей з перерізом рельєфу 0,5м.

Опрацювання знімків виконувалось в фотограмметричному пакеті програм PIX4D. Враховуючи, що знімки мають точні елементи орієнтування, виконувався тільки процес генерації ЦМР та ортофотоплану. В результаті створено ортофотоплан, цифрову модель видимої поверхні і цифрову модель рельєфу. Всі названі продукти створено в системі координат СК63 і Балтійській системі висот.



Рис.3.1. Ортофотоплан з розрізненням 0,05м

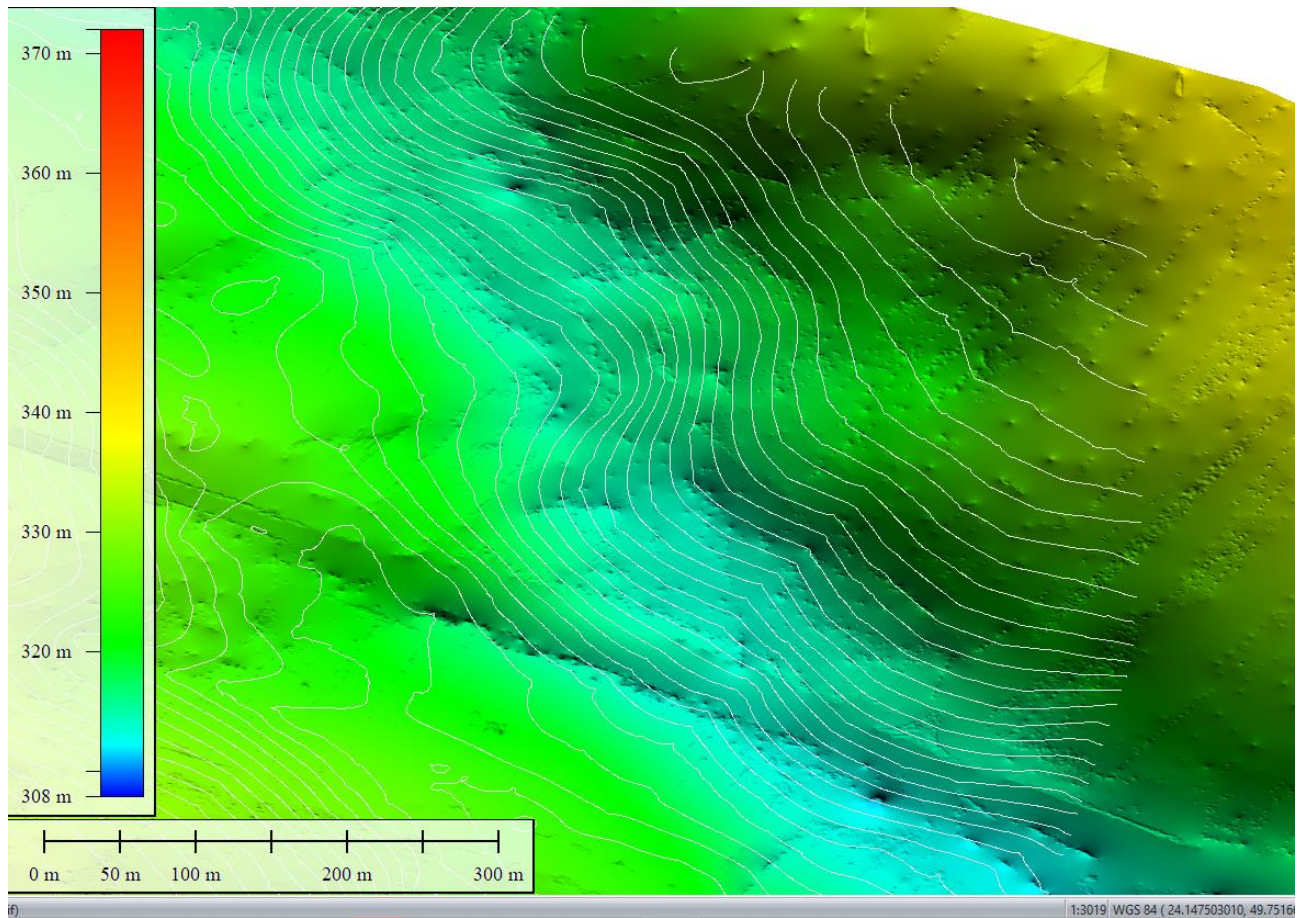


Рис.3.2. Цифрова модель рельєфу розрізненням 0,25см з автоматично згенерованими горизонталями (перетин 1м)

3.2. Підготовка растрових і векторних даних для роботи в програмі Digital

Отриманий в результаті фотограмметричного опрацювання ортофотоплан представлено у форматі GeoTIFF, з яким програма Digital безпосередньо не працює. Скористаємось програмою DIPedit (входить до складу програмного забезпечення Delta/Digital) для конвертації файлу ортофотоплану.

Після запуску програмного забезпечення DIPedit відкриваємо ортофотоплан у форматі GeoTIFF. Зберігаємо цей файл у внутрішню версію формату TIFF програмного забезпечення Delta/Digital, перевіривши властивості цього файлу, як показано на рисунку. Ми використовуємо формат TIF Tiled із JPEG стисненням при максимальному збереженні якості зображення 97%.

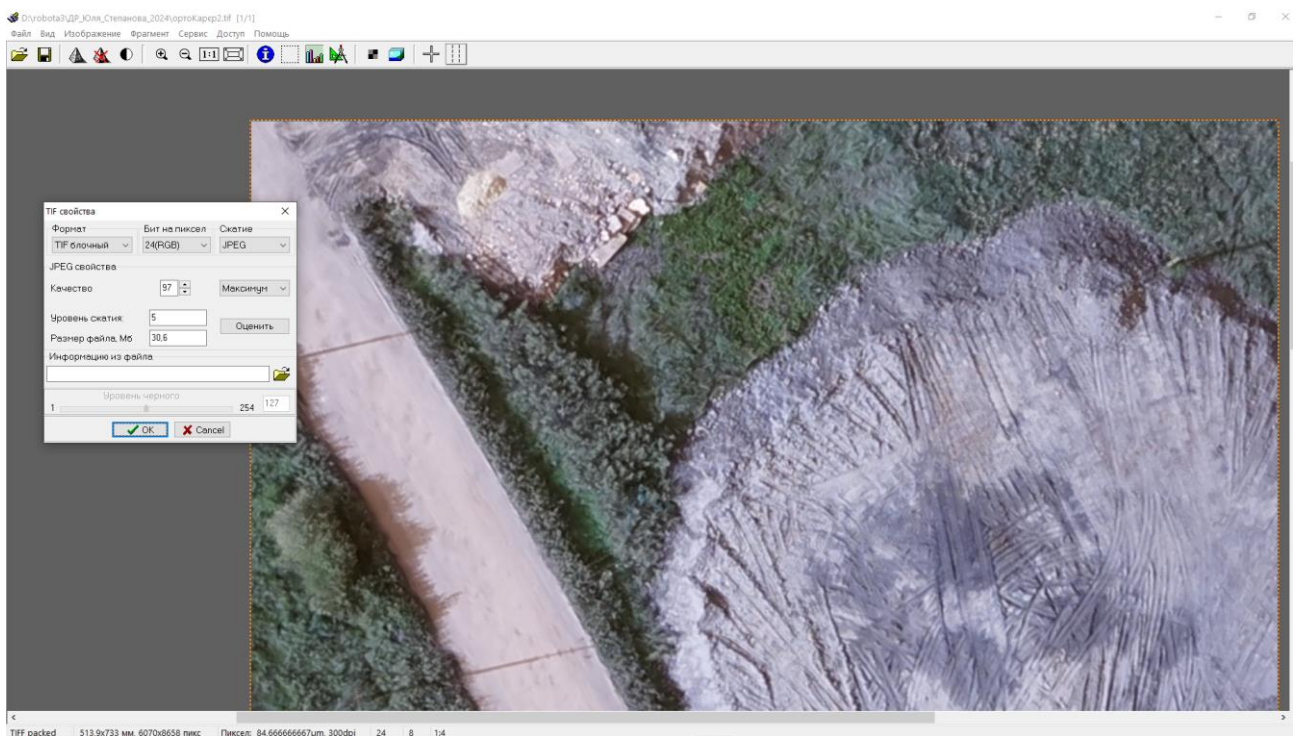


Рис.3.3. Збереження файлу ортофотоплану у внутрішню версію формату TIFF програмного забезпечення Delta/Digital

Для коректної роботи з ортофотопланом під час збору векторної топографічної інформації рекомендується виконати радіометричну корекцію зображення та створити піраміду зображень. Радіометрична корекція в автоматичному режимі вибирає оптимальні параметри зміни освітленості (гама-корекція), яскравості, контрасту, після чого зображення краще читається, деталі

на ньому стають добре видимими на екранах рідкокристалічних моніторів, проекторів.

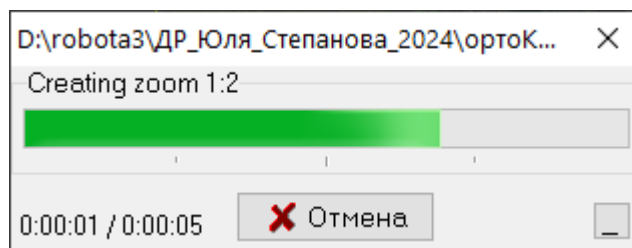
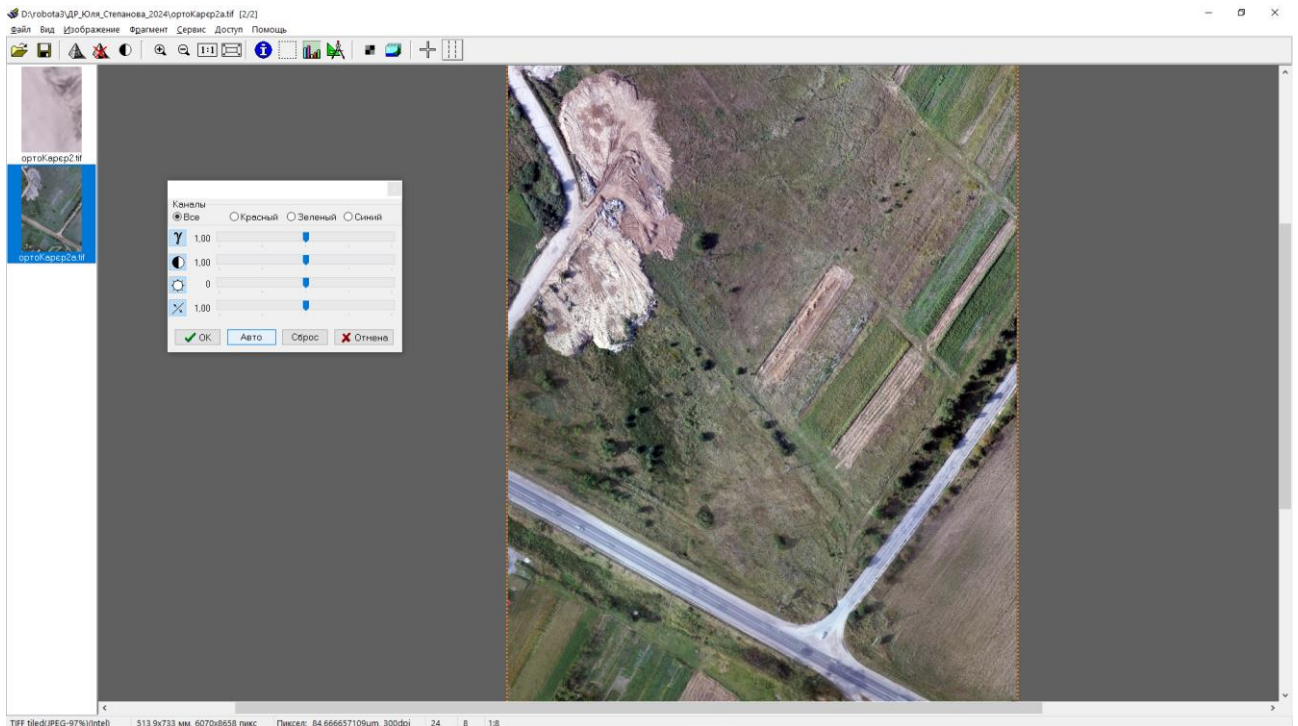


Рис.3.4. Процеси автоматичної радіометричної корекції та формування двоступеневої піраміди зображення файлу ортофотоплану

Гама-корекція — коригування яскравості цифрового зображення. Без корекції гама темні тони, зняті цифровими камерами, не виглядали б так, як бачать наші очі. У порівнянні з камерами очі людини більш чутливі до найменших змін темних відтінків і менш чутливі до досить великих змін яскравих тонів. Гама притаманна не тільки камерам — власну гама мають файли зображень, екрани та будь-який інший пристрій відображення. Гама-корекція зазвичай використовує степеневу функцію у вигляді:

$$V_{out} = AV_{in}^{\gamma} \quad (3.2)$$

де V_{out} це результуюча яскравість піксела, а V_{in} це вихідна / дійсна яскравість. Дія цієї формули відображається графіком.

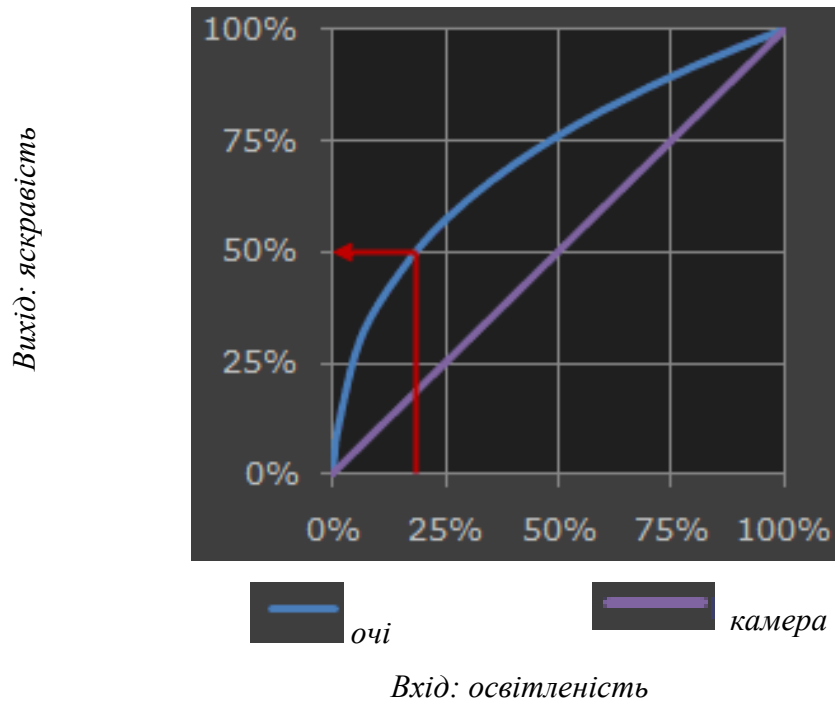


Рис.3.5. Дія гамма-корекції цифрового зображення

Піраміда - зображення меншого розрізнення (і, відповідно, розміру) відносно вхідного, додані в растровий файл для реалізації швидкої візуалізації і зміни масштабу відображення на дисплеї. Низькочастотну піраміду створюють згладжуванням зображення Гаусовим фільтром із наступним зменшенням розрізнення згладженого зображення удвічі вздовж кожного з координатних напрямів.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.3)$$

де параметр μ — математичне сподівання (середнє значення) яскравості, а параметр σ — середньоквадратичне відхилення, σ^2 — дисперсія розподілу.

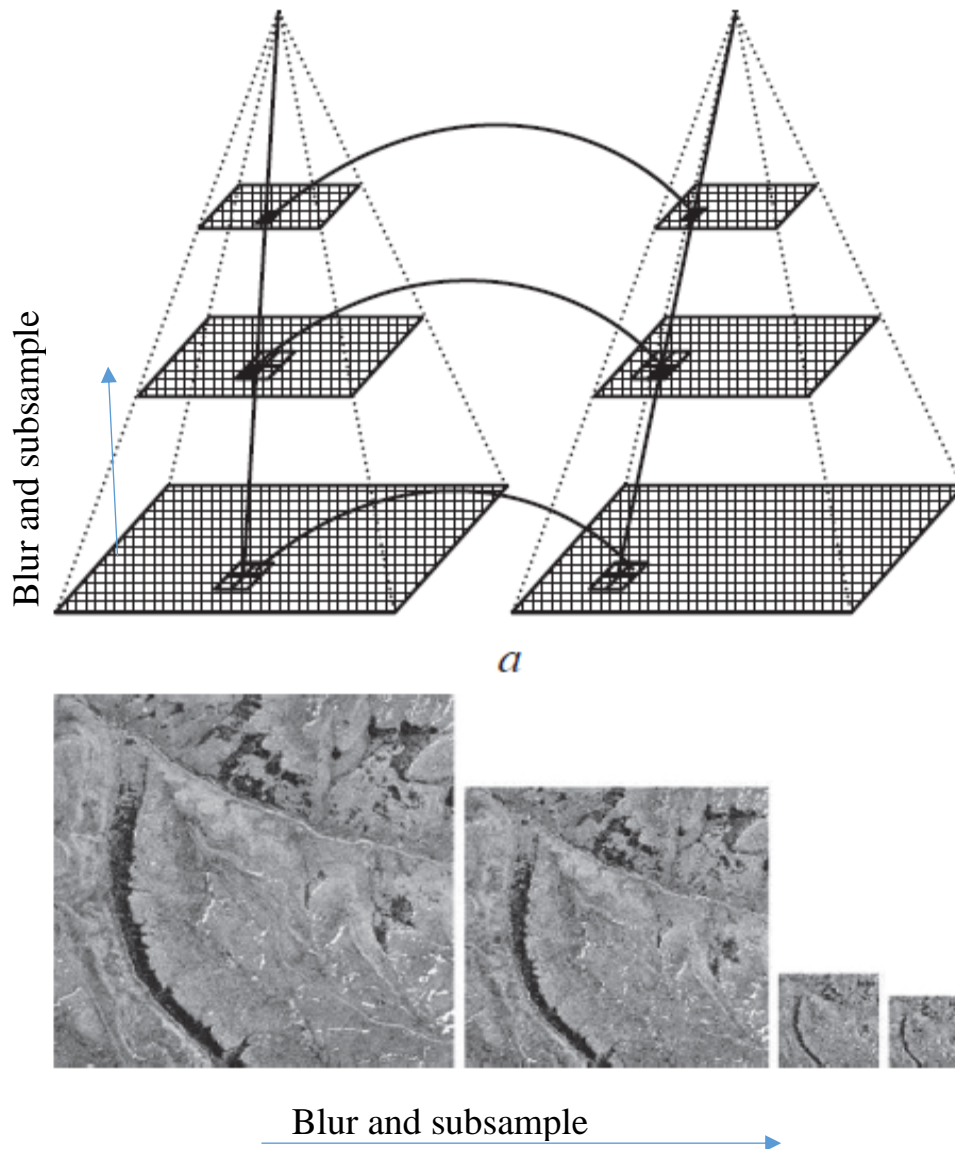


Рис.3.6. Піраміда цифрового зображення (*Blur*- розмиття гаусовим фільтром, *subsample* – зменшення розрізнення)

3.3. Векторизація ортофотоплану та компоновка топографічного плану

Маючи в розпорядженні ортофотоплан, в програмі Digital нами виконано його векторизацію. Дешифрувались і оконтурювались об'єкти в ручному режимі редагування «Збір». Під час векторизації процес перевірки якості дешифрування відбувався з паралельною візуалізацією хмари 3D точок, побудовою поперечних профілів з вимірюваннями глибин і висот таких елементів як насипи, виїмки, рослинність, поверховість будинків тощо. Така тривимірна візуалізація нами виконувалась в програмі GlobalMapper GIS.

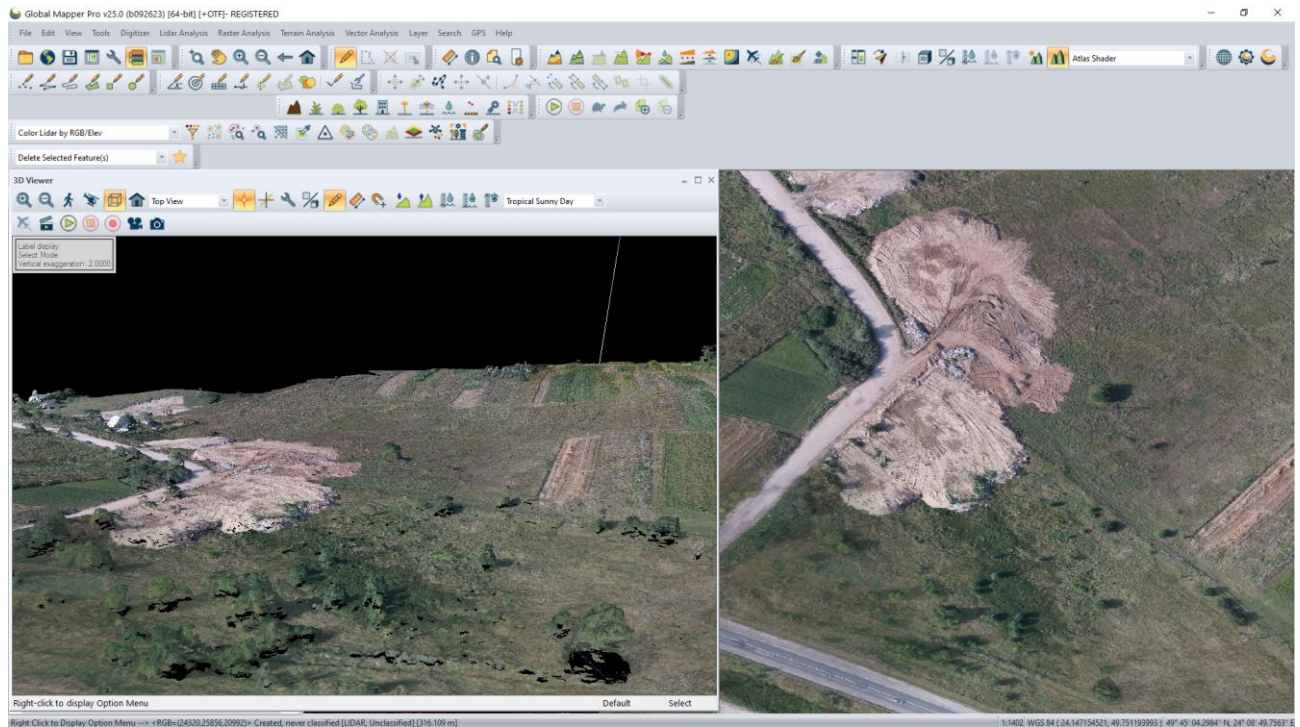
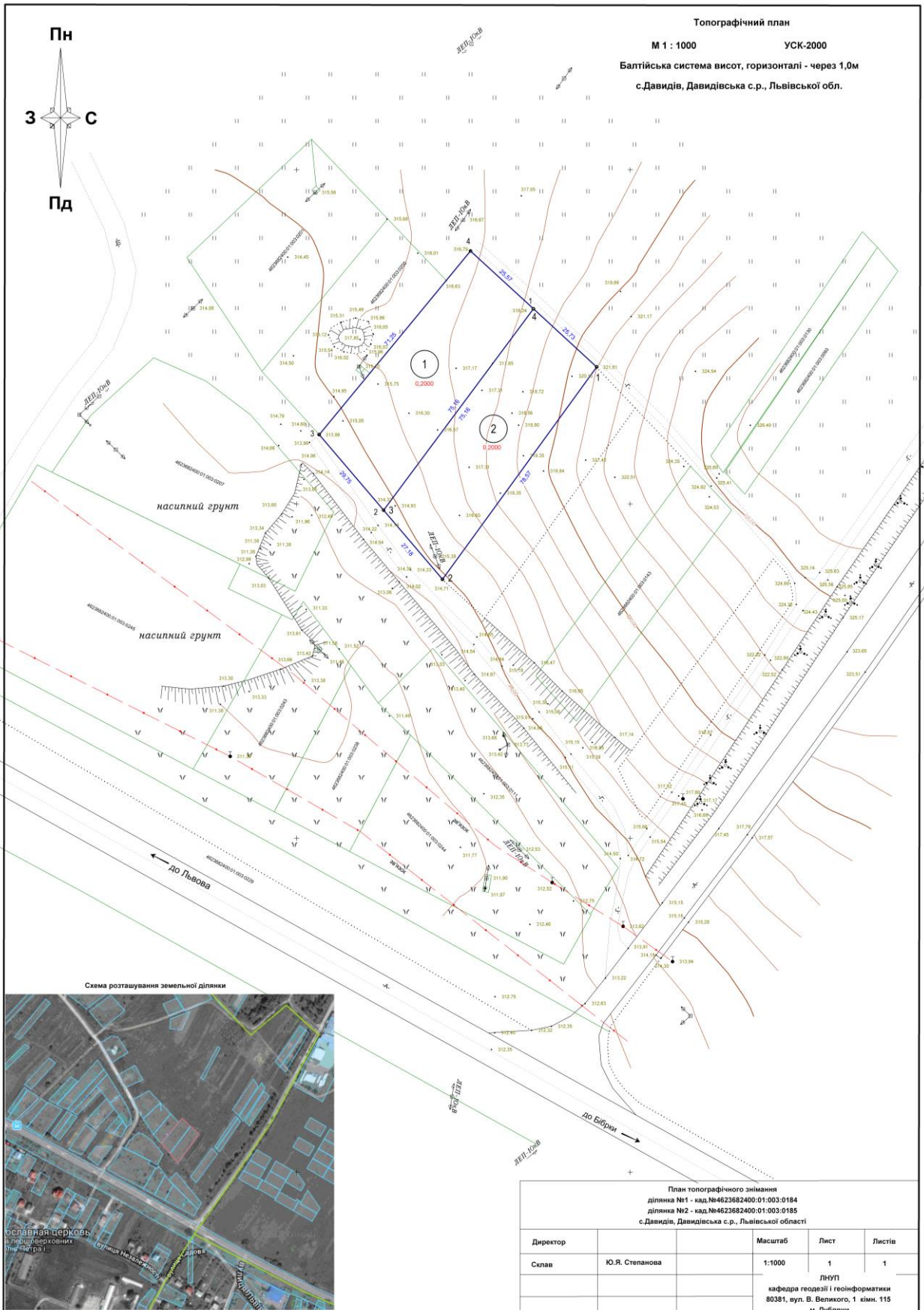


Рис.3.7. Ілюстрація можливості 3D векторизації по хмарі точок (GlobalMapper GIS) сумісно з 2D векторизацією по ортофотоплану

Після завершення збору контурної частини плану документ в форматі dfm було перепроєктовано в систему координат УСК 2000.

Остаточне оформлення топографічного плану нами виконане в програмі Digital. Використано відповідний шаблон для відображення класифікатора топографічних планів масштабу 1:1000 та зарамкового оформлення.



РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Екологічні проблеми Львівщини

Екологічні проблеми Львівщини, як і усіх регіонів України, потребують невідкладного вирішення [11], зокрема:

1) Проблеми, що вимагають вирішення на міжнародному рівні:

- адаптація законодавства України до стандартів законодавства Європейського Союзу;
- залучення грантових коштів не тільки на проєкти та семінари, а на високотехнологічне та екологічне обладнання;
- проблема утилізації токсичних відходів, імпортованих у Львівську область з Угорщини;
- проблема утилізації небезпечних відходів в т. ч. батарейок, аналогів утилізації яких відсутні в Україні;
- будівництво автобамів.

2) Проблеми загальнодержавного значення:

- забруднення гідросфери скидами стічних вод промислових підприємств і комунально-побутовими стічними водами;
- проблеми переробки відходів гірничодобувної, енергетичної та інших галузей промисловості;
- будівництво сучасних полігонів з утилізації побутових відходів та санація існуючих сміттєзвалищ, що вичерпали свій ресурс або експлуатуються з грубими порушеннями норм екологічної безпеки;
- невнесення в природу і картографічний матеріал водоохоронних зон і прибережних захисних смуг;
- утилізація розсолів з Стебницького гірничо-хімічного підприємства «Полімінерал»;
- зменшення забруднення довкілля викидами транспортних засобів шляхом створення мережі постійних контрольно-регулювальних постів на автошляхах, де проводилися б як контрольні заміри так і регулювання паливної

апаратури двигунів внутрішнього згорання. Забезпечення більш жорсткого контролю з боку контролюючих органів за експлуатацією пилогазоочисного обладнання та стабільного технологічного режиму підприємств;

- надання підприємствам податкових, кредитних та інших пільг у разі впровадження ними енерго і ресурсозберігаючих технологій; участь держави у фінансуванні екологічних заходів і будівництві екологічного призначення; в генеральних планах населених пунктів передбачити розв'язки транспортних шляхів та об'їзних доріг; запровадити встановлення каталізаторів та автомобілях старого випуску.

3) Проблеми місцевого значення:

- порушення гідрологічного та гідрохімічного режиму малих річок області;
- підтоплення територій області;
- забруднення підземних водоносних горизонтів;
- проблема шахтних і кар'єрних вод;
- поширення екзогенних геологічних процесів;
- будівництво сучасних полігонів з утилізації побутових відходів та санація існуючих сміттєзвалищ, що вичерпали свій ресурс або експлуатуються з грубими порушеннями норм екологічної безпеки;

- запланувати заходи щодо створення мережі пунктів спостережень та/або вдосконалення наявних мереж спостереження за якістю атмосферного повітря, які будуть відповідати європейським вимогам моніторингу.

- затвердження схеми екологічної мережі Львівської області;
- винесення в натуру меж територій та об'єктів природно-заповідного фонду Львівської області

4) Проблеми, вирішення яких не потребує залучення значних матеріальних (фінансових) ресурсів:

- збереження лісів;
- розвиток природно-заповідної справи;
- екологічна грамотність населення;
- сортування сміття в домогосподарствах.

4.2. Екологія родовищ піску у Львівській області

У Львівській області зосереджена найбільша, в порівнянні з іншими областями, кількість покладів піску – 47. Сьогодні 23 з них здані у промислове освоєння. На території картографування АПП «Львівське» розробляє Відниківське та Сихівське родовища. ТОВ «Пптахофабрика «Давидівська», яке має спецдозвіл на видобування піску у Давидів-Ведмедівському родовищі до 2033 року (територія родовища – 15,7 га.) безпосередньо видобуває пісок поблизу села Давидів. Корисною копалиною є піски кварцові тонко-дрібнозернисті, ясно-сірі, жовто-сірі, сипучі та слабо ущільнені. Фізико-механічні характеристики кварцових пісків Сихівського родовища визначені заданими лабораторних та польових досліджень і є такими: об’ємна маса – $\gamma = 1,66 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт розпушення – $K_p = 1,32$; природна вологість пісків – $W = 2,83 \%$; зчеплення пісків у гірському масиві – $C = 2 \text{ кПа}$; кут внутрішнього тертя – $\varphi = 33^\circ$; коефіцієнт пористості – $e = 0,65$.

Ведення відкритих гірничих робіт з видобутку будівельних корисних копалин характеризується складністю геологічних і гідрогеологічних умов їх розробки, а також інтенсифікацією і концентрацією гірничих робіт. Ці особливості впливають на стійкість укосів уступів та бортів кар’єрів, які у свою чергу визначають ефективність та повноту відпрацювання родовища, а також техніко-економічні показники роботи підприємства. Тому одним з основних завдань гірництва є визначення оптимальних параметрів укосів для забезпечення їхньої тривалої стійкості при мінімальних обсягах гірничих робіт. Завищені кути укосів неминуче призводять до розвитку зсувних явищ, що завдають великої матеріальної шкоди гірничим підприємствам. Зокрема, під зсувом опиняються підготовлені до виїмки запаси корисних копалин, а також порушуються безпечні умови праці. Занижені кути укосів спричиняють різке збільшення обсягів розкривних робіт і призводять до втрат корисних копалин у бортах кар’єру. Для умов кар’єру Сихівського родовища кварцових пісків виконано розрахунок стійкості робочого уступу виконано в [18].

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Правила безпеки і охорона праці при топографічному зніманні місцевості

До початку польових робіт мають бути проведені організаційно-технічні заходи, спрямовані на створення безпечних та здорових умов праці під час виконання польових робіт. У період складання проектів повинні враховуватися організаційні питання, пов'язані з охороною праці: вид транспорту та порядок пересування дільницею робіт та важкодоступними ділянками; терміни проведення робіт; порядок організації перегону транспорту та доставка людей до місця роботи; найприйнятніші технологічні схеми робіт.

Перед початком роботи геодезист повинен одягнути спеціальний одяг та спеціальне взуття з урахуванням погодних умов, а також сигнальний жилет та захисну каску; при необхідності, потрібно перевірити наявність та підготувати до використання засобу індивідуального захисту від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Спецодяг повинен бути відповідного розміру, чистим і не обмежувати рухів.

Перш ніж приступати до роботи, необхідно уважно оглянути місцевість та підготувати огорожі та дорожньо-сигнальні переносні знаки для їх встановлення у місцях можливого проходу людей та проїзду автотранспорту.

1. У сонячні дні обов'язково працювати з покритою головою. При роботі в полі на сонці без головного убору вплив інфрачервоного сонячного проміння може викликати сонячний або тепловий удар.

2. Не дозволяється лягати або сідати на сиру землю та траву – це може викликати сильну застуду та тяжкі захворювання.

3. Забороняється працювати без взуття.

4. У суху пору року використовувати легке взуття, черевики, капці.

5. Під час роботи вздовж дороги забороняється розміщувати інструменти на проїжджій частині.

6. Забороняється топтати та псувати посіви, зелені насадження, ходити газонами, псувати паркани тощо, залишати забиті кілочки.

7. Основний час робочого дня геодезист-топограф знаходяться на ногах, тому взуття необхідно підбирати по нозі, дотримуватися гігієни.

8. Забороняється пити сиру воду.

9. Забороняється з метою протипожежної безпеки розводити багаття.

10. Необхідно виконувати встановлений порядок. Не дозволяється самовільно відлучатися з бригади, не повідомивши керівника.

11. При інтенсивному русі міського транспорту відстані слід визначати з розташуванням базису на тротуарі чи іншому безпечному місці.

12. Забороняється залишати без нагляду геодезичні інструменти та обладнання.

13. Під час роботи на міських вулицях забороняється носити рейки, вішки на плечах.

15. У разі укусу змії або отруйних комах потрібно негайно і міцно перев'язати уражену частину тіла вище укусу на 10-15 см. Повідомити керівника і негайно звернутися до лікаря.

17. Про кожен нещасний випадок, внаслідок якого постраждалий залишає місце роботи, негайно слід повідомити керівника.

5.2. Міри безпеки при роботі з геодезичними інструментами

Необхідно суворо дотримуватися техніки безпеки як у процесі роботи з геодезичними інструментами, і пересування за місцем роботи, так і в дорозі до місця роботи і назад:

- штативи носити на плечі ніжками вниз;
- вішки слід переносити у вертикальному положенні, вістрям вниз;
- у місцях встановлення інструменту, в зоні 2 м від нього не повинно бути інших інструментів: вішок, рейок, кілочків тощо.
- у процесі вимірювання біля геодезичного інструменту не повинно бути нікого, крім спостерігача та його помічника, щоб уникнути випадкових травм;

- при переміщенні за місцем робіт стежити за станом поверхні землі, щоб уникнути травм;

- суворо дотримуватись правил дорожнього руху;

- не здійснювати посадку в перевантажений автотранспорт і не наздоганяти його, щоб уникнути травм.

Робота з сучасними геодезичними приладами:

1. До роботи з оптико-електронними, радіоелектронними приладами, супутниковою та гравіметричною апаратурою, до обслуговування бензоелектричних агрегатів, акумуляторних батарей повинні допускатися особи, які мають на це право, підготовка яких підтверджена відповідним документом.

2. При експлуатації геодезичних приладів, обладнання, допоміжної апаратури забороняється:

- застосовувати не за призначенням та в несправному стані;

- експлуатувати в режимах та при навантаженнях, що перевищують встановлені паспортом норми;

- застосовувати без контрольних-вимірювальних та індикаторних пристроїв, що входять до комплекту, або без штатних засобів захисту та сигналізації;

- залишати без нагляду працююче обладнання та апаратуру у випадках, які потребують обов'язкової присутності обслуговуючого персоналу;

- користуватися обладнанням, яке не має спеціального технічного висновку щодо їх безпечної експлуатації.

3. Під час роботи з лазерними геодезичними приладами забороняється:

- у момент генерації випромінювання здійснювати візуальний контроль точності візування на відбивач без застосування захисних засобів;

- спрямовувати промінь лазера на очі або інші частини тіла людей;

- наводити лазерний промінь на відбиваючі поверхні (дзеркала, поліровані матеріали, скло).

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі приведено аналіз сучасних методів здійснення великомасштабних топографічних зйомок, зокрема порядок отримання та опрацювання цифрових аерознімків з БПЛА для створення топографічного плану місцевості масштабу 1:1000.

Проведено повний комплекс опрацювання матеріалів аерознімання частини с. Давидів Львівської області, створено топографічний план місцевості масштабу 1:1000 на ділянку, що відводиться для розробки піщаного кар'єру. Загальна площа території картографування 10,53га. Роботи виконувались у відповідності до вимог діючих нормативних документів.

Технологія створення топографічних планів крім традиційного дешифрування і векторизації ортофотопланів містить також роботу з 3D формами відображення хмари точок. Це дозволяє перевіряти якість дешифрування, визначати властивості об'єктів побудовою поперечних профілів з вимірюваннями глибин і висот таких елементів як насипи, виїмки, висоту рослинності, поверховість будинків тощо. Така тривимірна візуалізація нами виконувалась в програмі GlobalMapper GIS. Остаточне оформлення топографічного плану нами виконане в програмі Digital. Використано відповідний шаблон для відображення класифікатора топографічних планів масштабу 1:1000 та зарамкового оформлення.

В кваліфікаційній роботі також розглянуті питання охорони довкілля та охорони праці. Приведено висновки та рекомендації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
2. Про затвердження Порядку загальнодержавного і тематичного картографування : Постанова Кабінету Міністрів України від 4 вересня 2013 року №661. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text>.
3. Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА / Галецький В., Глотов В., Колесніченко В. [та інші] // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – № 76. – С.85–93.
4. Безбородова Х. О. Використання безпілотних літальних апаратів для збору геопросторових даних / Х. О. Безбородова // Інженерна геодезія. – 2015. – Вип. 62. – С. 116 – 123.
5. Березіна С.І., Логачов С.В., Солонець О.І. (2018). Метод координатної прив'язки знімків, отриманих з БПЛА, за елементами зовнішнього орієнтування. Системи озброєння і військова техніка, 2018, № 1(53) -с. 76-83.
6. Вовк А. Аналіз результатів для створення ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу з застосуванням БПЛА TRIMBLE UX-5 / А. Вовк, В. Глотов, А. Гуніна, А. Маліцький, К. Третьяк, ЦерклевичА. ЦерклевичА. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 2015. - Вип. 81. - С. 90-103.
7. Глотов В. Порівняльний аналіз сучасних методів опрацювання великомасштабних планів / В.Глотов, А.Гуніна //–Міжвідомчий науково-технічний збірник “Геодезія, картографія і аерофотознімання”, Вип. 83 –2016. –с.53-63
8. Глотов В. Порівняльний аналіз сучасних методів опрацювання великомасштабних планів / В. Глотов, А. Гуніна // – Міжвідомчий науково-технічний збірник “Геодезія, картографія і аерофотознімання”, Вип. 83– 2016. – с.53-63.
9. ДБН А.2.1-1-2014. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. Наказ Мінрегіонбуду від 30.06.2015 № 149
10. Дичко Л. Обґрунтування параметрів цифрового аерознімання для інвентаризації земель та модернізації об'єктів залізничного транспорту / Л. Дичко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – Випуск 2 (24). – С. 159–162.
11. Екологічний паспорт Львівської області за даними 2022 року. Затверджено: Голова Львівської обласної військової адміністрації Максим КОЗИЦЬКИЙ, -2023.
12. Застосування БПЛА у військовій справі та аерозніманні. Глотов В. М., Фис М. М., Колесніченко В. Б., Гуніна А. В. Монографія. 2022. — 196 с.
13. Куліковська О. Є., Атаманенко Ю. Ю. Оптимальна область застосування сучасних БПЛА – технологій // International Scientific and Practical Conference

- “WORLD SCIENCE” № 10(26), Vol.1, October 2017 p.30-34.
<https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/445311>
14. Літинський В., Ващенко В. Щодо умовних знаків для топографічних планів масштабів 1:5000,1:2000,1:1000, 1:500 видання 2001 року. ISTCGCAP. 2006; Випуск 67, Номер 67 : 71-75
 15. Математичні моделі аналітичної та космічної фотограмметрії: монографія / О. Л. Дорожинський;— Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. — 144 с.
 16. Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500. Укргеодезкартографія, №3, від 24.01.94
 17. Фотограмметрія та дистанційне зондування : підручник. Кн. 1 / О. Л. Дорожинський. – Львів : Львівська політехніка, 2019. – 176 с.
 18. Фролов О.О., Дзьоба М.В. Встановлення стійкості уступу кварцових пісків на кар’єрі Сихівського родовища.: November 2023. Технічна інженерія. DOI: [10.26642/ten-2023-2\(92\)-258-267](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-258-267)
https://www.researchgate.net/publication/376881509_Vstanovlenna_stijkosti_ustupu_kvarcovih_piskiv_na_kar'eri_Sihivskogo_rodovisa
 19. Шульц Р. В., Войтенко С. П., Крельштейн П. Д., Маліна І. А. До питання розрахунку точності визначення координат точок під час аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів. *Інженерна геодезія*, 2015. Вип. (62). С. 124-136.
 20. Янчук Р. М., Трохимець С. М. Створення картографічної основи для розробки генеральних планів населених пунктів за матеріалами аерознімання з непрофесійних БПЛА. *Серія Технічні науки*, 2017. Вип. 1 (77). С. 32-39.
 21. Cosyn P. Trimble ux5 aerial imaging solution, A new standard in accuracy, robustness and performance for photogrammetric aerial mapping / P. Cosyn, R. Miller // WHITE PAPER, Trimble Survey. – USA, 2013. – P. 1–7. - Режим доступу: http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/trimble_ux5_whitepaper_english_0.pdf
 22. Enoc Sanz-Ablanedo, Jim H. Chandler, José Ramón Rodríguez-Pérez and Celestino Ordóñez. Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used. *Remote Sens.* **2018**, 10, 1606; doi:10.3390/rs10101606
 23. Haala N. Performance test on UAV-based photogrammetric data collection / N. Haala, M. Cramer, F. Weimer, M. Trittler // ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. – 2011. – XXXVIII-1/C22. – P. 7–12.
 24. Hohle J . Potuckova. Automated quality> control for Orthoimage and Digital Terrain Model. - 2004. - <http://www.plan.auc.dk/~jh/articles/QualityControl.pdf>
 25. Tumska O., Procyk M., Janczak W. Wvbor parametrow przy automatycznym tworzeniu numerycznego modelu rzeźby terenu z wykorzystaniem zdjęć lotniczych. *Archiwum Fotogrametrii. Kartografii i Teledetekcji*. - Krakow. 2004. Vol. 15. - S. 125-130