

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК 528. 4

**Топографо-геодезичні вишукування для
проектування автомобільних доріг**

Галузь знань 19 – “Архітектура та будівництво”
Спеціальність 193 – “Геодезія та землеустрій”
Освітня програма – “Землеустрій та кадастр”

Випускна кваліфікаційна робота магістра
студента другого курсу ОР “Магістр”
Вітра Євгенія Олександровича
Науковий керівник
кандидат географічних наук, доцент
Підлісецька Ірина Олександрівна

Допущено до захисту:

Протокол засідання кафедри № ____ від “ ____ ” _____ 2021 року
завідувач кафедри проф. Даценко Л.М.

Київ – 2021

РЕФЕРАТ

Розглянуто питання методики проведення топографо-геодезичних вишукувань для проектування автомобільних доріг.

На основі аналізу нормативно-правового регулювання топографо-геодезичної діяльності в Україні, було встановлено та визначено основні нормативні документи якими керуються при виконанні топографо-геодезичних робіт, а також порядок використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами.

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як одного з методів топографо-геодезичних вишукувань може бути не лише одним із засобів створення топографічних планів, а й дозволяє вирішити цілий ряд проблем, з якими стикається сучасна сфера будівництва автомобільних доріг.

Аерофотозйомка місцевості, здійснювана безпілотними літальними апаратами (БПЛА), на сьогоднішній день є актуальним і рентабельним рішенням більшості питань в галузі геодезії, топографії і картографії. БПЛА, пролітаючи по заданому маршруту як в автоматичному, так і напівавтоматичному режимі, отримує точні і достовірні фото- та відеоматеріали про місцевість, моніторинг будівель і споруд, тощо.

Отримані дані з безпілотника обробляються в спеціалізованих програмних продуктах і є основою для створення цифрових та електронних карт, топографічних планів місцевості, використовуються в проектуванні будівництва, моніторингу місцевості, дозволяють вивчити рельєф, розробити проектування впорядкування територій з урахуванням раціонального використання та охорони навколишнього середовища.

Визначено основні програмні засоби для обробки матеріалів польових даних для створення топографічного плану масштабу 1:500 (Agisoft Metashape, AutoCad, CloudCompare.).

Ключові слова: топографо-геодезичні вишукування, безпілотні літальні апарати, аерофотозйомка, тахеометричне знімання, РТК знімання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ.....	7
1.1 Топографо-геодезична діяльність в Україні.....	7
1.2 Перелік законодавчих та нормативних документів, якими керуються при виконанні топографо-геодезичних робіт	8
1.3 Порядок використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами.....	11
1.4. Вимоги та допуски при виконанні топографо-геодезичних робіт..	14
1.4.1. Вимоги до виконання аерофотознімальних робіт.....	14
1.4.2. Вимоги до виконання топографічних робіт.....	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ.....	19
2.1 Аналіз методів виконання топографо-геодезичних вишукувань місцевості	19
2.2 Системи координат та зв'язок між ними	22
2.3. Попередній розрахунок точності. Вибір геодезичного забезпечення.....	23
2.4. Опорна мережа.....	27
РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ ТРАСИ М-19.....	30
3.1 Опис об'єкту дослідження	30
3.2 Види польових робіт для створення топоплану місцевості масштабу 1:500.....	31
3.2.1 Аерофотозйомка, як метод отримання просторової інформації про об'єкт дослідження.....	31
3.2.2. Тахеометричне знімання.....	32
3.2.3. Визначення просторових координат пікетів методом РТК	33

3.3 Камеральна обробка результатів польових досліджень.....	34
3.3.1 Процес обробки матеріалів аерофотозйомки для створення ЦМР та ортофотоплану у програмному забезпеченні Agisoft Metashape.....	34
3.3.2.Класифікація щільної хмари точок у програмі Cloud Compare.....	40
3.3.3. Векторизація матеріалів аерофотозйомки та даних польових вимірювань у програмному забезпеченні «AutoCAD».....	45
Висновки.....	47
Список використаної літератури.....	48
Додатки.....	53

ВСТУП

Створення карти традиційними методами, коли до кожного відображуваного об'єкта картографу необхідно підійти, та зафіксувати його положення, доволі трудомісткий і тривалий процес. Проте, з винайденням літака та фотоапарату, в сфері топографо-геодезичних робіт виникає поняття аерофотозйомки, завдяки якому процес створення карти стає менш небезпечним, та менш трудомістким. Проте, із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) процес аерофотозйомки стає ще більш доступним і дозволяє виконати великомасштабні знімання в досить великому об'ємі за дуже короткий термін.

Актуальність роботи. Проблема будівництва та ремонту доріг є досить актуальною в Україні. Технічні вимоги до автомобільних доріг постійно зростають. Вимоги та терміни виконання будівельних робіт значно перевищують можливості будівельної індустрії. В наш час стрімкого розвитку технологій для створення великомасштабних топографічних планів автомобільних доріг є доцільним використання різноманітних методів знімання таких як використання БПЛА, оснащених відповідними засобами для проведення автоматизованого аерофотознімання в комплексі з традиційними методами (тахеометричні ходи та використання супутникових приймачів).

Об'єктом дослідження є: ділянка міжнародної траси М-19 Доманове (на м. Брест) – Ковель – Чернівці - Теремблече (на м. Бухарест) 159+900 161+300 загальною протяжністю 1,4 км, в межах села Підгайці.

Предметом дослідження є сучасні методи та технології топографо-геодезичних вишукувань для проектування автомобільних доріг.

Метою роботи є розкриття особливостей проведення топографо-геодезичних робіт для проектування автомобільних доріг.

Відповідно до сформованої мети були визначені наступні **завдання** кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати нормативно-правове регулювання топографо-геодезичної діяльності в Україні;

- дослідити порядок використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами;
- вивчити вимоги та допуски при виконанні топографо-геодезичних робіт;
- ознайомитись з основними методами проведення топографо-геодезичних вишукувань для проектування автомобільних доріг;
- виконати топографо-геодезичні вишукування для проектування автомобільних доріг на прикладі ділянки траси М-19 загальною протяжністю 1,4 км, в межах села Підгайці.

РОЗДІЛ 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ

1.1 Топографо-геодезична діяльність в Україні

Основні принципи законодавчого регулювання сфери топографо-геодезичної діяльності в Україні були запозичені з СРСР. Так зокрема, основною-нормативно правовою базою були документи ГОСТу, та інші. На сьогодні головним законом є «Закон про топографо-геодезичну і картографічну діяльність в Україні». В цьому законі визначені основні терміни, поняття та принципи на яких базується топографо-геодезична та картографічна діяльність в Україні. Суб'єктами цієї діяльності є юридичні та фізичні особи які мають технічне забезпечення для її виконання, також важливим моментом є наявність сертифікованого інженера-геодезиста, який пройшов державну програму сертифікації для виконання топографо-геодезичної та картографічної діяльності в Україні.

Державою також було створено орган який виконує контролюючу функцію в топографо-геодезичній і картографічній сферах цим органом є «Держгеокадастр». Головною метою цього органу є реалізація державної політики у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності, земельних відносин, землеустрою, у сфері Державного земельного кадастру, державного нагляду (контролю) в агропромисловому комплексі в частині дотримання земельного законодавства, використання та охорони земель усіх категорій і форм власності, родючості ґрунтів. Також він надає адміністративні послуги у цій сфері, та вносить на розгляд міністра розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства пропозиції, щодо забезпечення формування державної політики у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності.[1]

До документів окрім законів, якими мають керуватися суб'єкти топографо-геодезичної та картографічної діяльності в Україні відносять: державні будівельні норми, «інструкцію з топографічного знімання у

масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500», деякі постанови кабінету міністрів України та накази профільного міністерства.

Якщо відповідати на питання про законодавче регулювання використання повітряних засобів в топографо-геодезичній сфері, то Чинними нормативними документами, що регулюють використання безпілотників, або, як визначено в законодавстві, «безпілотних повітряних суден» (БПС) в Україні наразі є Повітряний кодекс України (ПКУ), Положення про використання повітряного простору України та Авіаційні правила України «Правила використання повітряного простору України». Також, На сайті Державіаслужби України з'явилась окрема сторінка, «Безпілотні повітряні судна», де максимально конкретно й детально викладено нові правила використання БПЛА, як у текстовому форматі, так і у вигляді інфографіки.

1.2. Перелік законодавчих та нормативних документів, якими керуються при виконанні топографо-геодезичних робіт

Основи регулювання топографо-геодезичної діяльності в Україні в своїй більшості, оскільки вона була учасницею ССРСР, опираються якраз на ті норми, та закони, які були закладені в законодавстві УРСР. Головним органом, в сфері топографо-геодезичних відносин, є Державна служба з питань геодезії, картографії та кадастру, яка підпорядковується Міністерству розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України.

До нормативно-правових актів, які регулюють топографо-геодезичну діяльність України, відносяться: закони України, постанови кабінету Міністрів України, накази центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності, накази центрального апарату Держгеокадастру. Найголовнішими з них є:

ЗУ «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [1]. Закон визначає завдання у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності, а

саме: регулювання відносин у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності для забезпечення потреб держави і громадян результатами топографо-геодезичної і картографічної діяльності.

ЗУ «Про географічні назви» [2]. Цей Закон визначає правові основи регулювання відносин та діяльності, пов'язаних із встановленням назв географічних об'єктів, а також унормуванням, обліком, реєстрацією, використанням та збереженням географічних назв.

ЗУ «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» [3]. Цей Закон визначає правові та організаційні засади, основні принципи і порядок здійснення державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності, повноваження органів державного нагляду (контролю), їх посадових осіб і права, обов'язки та відповідальність суб'єктів господарювання під час здійснення державного нагляду (контролю).

Постанова КМУ «Деякі питання застосування геодезичної системи координат» [4].

Постанова КМУ «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [5].

Постанова КМУ «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» [6].

Постанова КМУ «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) за топографо-геодезичною і картографічною діяльністю Державною службою з питань геодезії, картографії та кадастру» [7].

Постанова КМУ «Про затвердження Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України» [8].

Постанова КМУ «Про Порядок використання апаратури супутникових радіонавігаційних систем під час проведення топографо-геодезичних,

картографічних, аерофотознімальних, проектних, дослідницьких робіт і вишукувань та кадастрових зйомок» [9].

Постанова КМУ «Про затвердження Порядку охорони геодезичних пунктів» [10].

Постанова КМУ «Про створення Державного картографо-геодезичного фонду України» [11].

Наказ Мінагрополітики «Про затвердження Порядку обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі» [12].

Наказ Мінагрополітики «Про затвердження Вимог до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт» [13].

Наказ Мінагрополітики «Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою» [14].

Наказ Держгеокадастру «Про затвердження типових Інформаційних та Технологічних карток адміністративних послуг, які надаються територіальними органами Держгеокадастру» [15].

Наказ Держгеокадастру «Про затвердження типових Інформаційних та Технологічних карток адміністративних послуг, які надаються Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру» [16].

Наказ Держгеокадастру «Про затвердження Річного плану здійснення заходів державного нагляду (контролю) Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру на 2021 рік» [17].

«Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» (ГКНТФ-2.04-02-98) [18].

Також для регулювання геодезичної діяльності при будівельних процесах використовуються ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи будівництві» [19].

В основному вище зазначенні нормативно-правові акти роз'яснюють, та водять необхідні норми та терміни, завдяки яким здійснюється регуляція та об'єктивізація результатів роботи.

Проте методологія описана в цій роботі є новою, і її правовий статус знаходиться зараз на стадії становлення. Основним документом, що регламентує використання повітряного простору України є

- Повітряний кодекс України;
- Положення про використання повітряного простору України;
- Правила використання повітряного простору України;

1.3. Порядок використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами

Відповідно до вимог пункту 4 розділу II Правил використання повітряного простору, польоти безпілотних повітряних суден масою до 20 кг включно виконуються без подання заявок на використання повітряного простору, без отримання дозволів на використання повітряного простору, без інформування органів управління Повітряних Сил Збройних Сил України та органів об'єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України (ОЦВС), органів Державної прикордонної служби України, органів обслуговування повітряного руху (ОПР) та відомчих органів управління повітряним рухом (УПР), за умови дотримання таких вимог[20]:

- 1) польоти виконуються без перетинання державного кордону України;
- 2) польоти виконуються поза межами встановлених заборон та обмежень використання повітряного простору, крім випадків, установлених Положенням про використання повітряного простору;
- 3) польоти виконуються не ближче 5 км від зовнішніх меж злітно-посадкових смуг аеродромів або не ближче 3 км від зовнішніх меж злітно-посадкової смуги ЗПМ/вертодромів, крім випадків узгодження з експлуатантом аеродрому/ЗПМ/вертодрому;
- 4) польоти виконуються не ближче 500 м від пілотованих повітряних суден;
- 5) польоти не виконуються над:

скупченням людей на відкритому просторі та над місцями щільної забудови;

об'єктами (зонами), які визначені Міністерством оборони України, Міністерством інфраструктури України, Міністерством внутрішніх справ України, Державною прикордонною службою України, Службою безпеки України, Національною поліцією України, Національною гвардією України, Державною фіскальною службою України, Службою зовнішньої розвідки України, Управлінням державної охорони України, іншими військовими формуваннями та правоохоронними структурами, утвореними відповідно до законів України, та відносно яких здійснюється охорона / державна охорона (за умови позначення території навколо цих об'єктів інформаційними знаками про заборону польотів безпілотних повітряних суден та/або шляхом оприлюднення меж такої заборони), крім випадків виконання польотів за дозволом зазначених вище повноважних органів[20];

б) польоти виконуються в межах прямої видимості (VLOS);

7) максимальна висота польоту не вище:

120 м над рівнем земної (водної) поверхні поза межами CTR , AFIZ , ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, іншого спеціально зарезервованого повітряного простору;

50 м над рівнем земної (водної) поверхні в межах CTR, AFIZ, ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, іншого спеціально зарезервованого повітряного простору, якщо інформація про фактичний статус елементів структури повітряного простору на час виконання польоту відсутня;

50 м над статичними перешкодами на горизонтальній відстані не більше 100 м від таких перешкод, як відхилення від зазначених вище обмежень по висоті, на запит власника такого об'єкту;

8) швидкість польоту безпілотного повітряного судна складає не більше 160 км/год.;

В інших випадках польоти безпілотного повітряного судна масою до 20 кг включно та усі без винятку польоти безпілотного повітряного судна масою

більше 20 кг виконуються у межах спеціально встановлених зон та маршрутів з дотриманням вимог щодо подання заявок на використання повітряного простору, отримання дозволів та умов використання повітряного простору, інформування органів управління Повітряних Сил Збройних Сил України, органів Державної прикордонної служби України, органів ОЦВС, органів ОПР/УПР[20].

З метою спрощення планування польотів БПЛА державною авіа службою було створено карту обмеження зон польотів, яка дозволяє одразу бачити доступні і закриті зони для виконання польотів. Проте зараз зазвичай цей функціонал одразу вбудовано в ПЗ БПЛА[20].

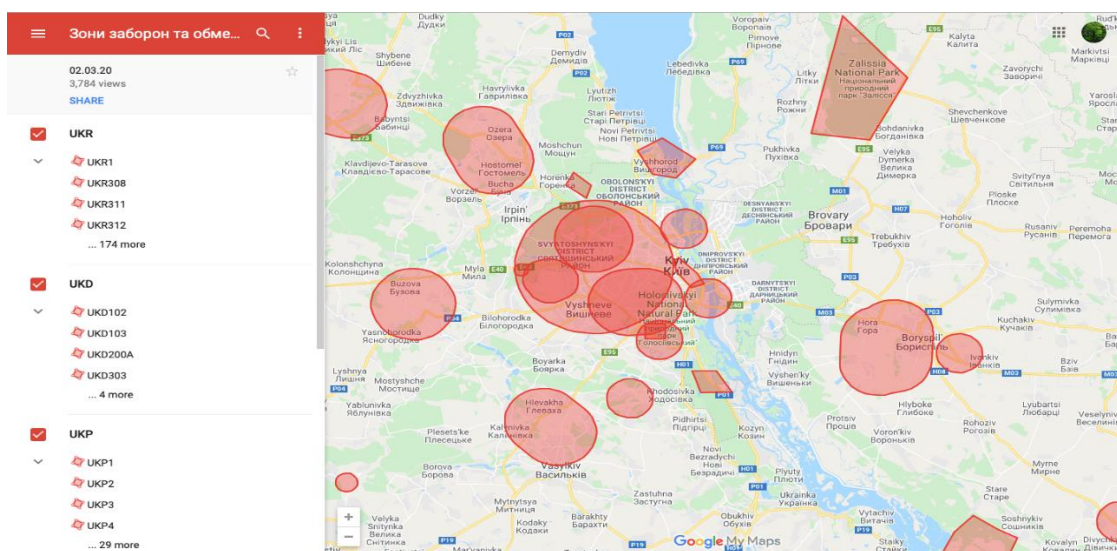


Рис. 1.3.1 - Карта зон заборон та обмежень використання повітряного простору в Київській області

1.4. Вимоги та допуски при виконанні топографо-геодезичних робіт

1.4.1. Вимоги до виконання аерофотознімальних робіт

Основне регулювання методології та основних номінальних показників для аерофотознімання наведено в п 7.1.13. «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500», зокрема там вказано методологія для вибору масштабу аерофотознімання і фокусної відстані АФА для планів масштабу 1:5000 – 1:500 (рис.1.4.1.1-1.4.1.4), в залежності від характеру території знімання, та дані для вибору масштабу аерофотознімання і фокусної відстані АФА для створення цифрових моделей місцевості.

Характеристика ділянки знімання	Переріз рельєфу, м	Контурна частина плану	Знімання рельєфу	Масштаб аерофотознімання	Фокусна відстань АФА, мм	Висотна підготовка
Населені пункти, промислові майданчики, інші забудовані території	0,5	фотоплан	стереоскопічне	1:10000-1:12000 1:4500-1:6500	200; 350 100; 70	повна (суцільна)
	1,0	фотоплан	стереоскопічне	1:10000-1:12000 1:6000-1:10000	200; 350 100; 70	повна (суцільна)
	2,0	фотоплан	стереоскопічне	1:10000-1:12000 1:14000-1:10000	200; 350 100; 140	повна (суцільна) розріджена
Незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,5	фотоплан, графічний план	стереоскопічне	1:4500-1:6500	100; 70	повна (суцільна)
	1,0	графічний план, фотоплан	стереоскопічне	1:6000-1:10000	100; 70	повна (суцільна) розріджена
	2,0	графічний план, фотоплан	стереоскопічне	1:14000-1:10000	100; 140	розріджена

Рис. 1.4.1.1 - Вибір масштабу аерофотознімання і фокусної відстані АФА масштабу 1:5000.

Характеристика ділянки знімання	Переріз рельєфу, м	Контурна частина плану	Знімання рельєфу	Масштаб аерофотознімання	Фокусна відстань АФА, мм	Висотна підготовка
Населені пункти, промислові майданчики, інші забудовані території	0,5	фотоплан	стереоскопічне	1:5500-1:8000 1:4500-1:6500	200; 350; 500 100; 70	повна (суцільна)
	1,0	фотоплан	стереоскопічне	1:5500-1:8000 1:6000-1:10000	200; 350; 500 100; 70	повна (суцільна)
	2,0	фотоплан	стереоскопічне	1:5500-1:8000 1:6000-1:10000	200; 350; 500 100; 140	повна (суцільна) розріджена
Незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,5	фотоплан, графічний план	стереоскопічне	1:4500-1:6500	100; 70	повна (суцільна)
	1,0	фотоплан, графічний план	стереоскопічне	1:6000-1:10000	100; 70	повна (суцільна) розріджена
	2,0	фотоплан, графічний план	стереоскопічне	1:6000-1:10000	100; 140	розріджена

Рис. 1.4.1.2 - Вибір масштабу аерофотознімання і фокусної відстані АФА 1:2000.

Характеристика ділянки знімання	Переріз рельєфу, м	Контурна частина плану	Знімання рельєфу	Масштаб аерофотознімання	Фокусна відстань АФА, мм	Висотна підготовка
Масштаб 1:1000						
Населені пункти, промислові майданчики	0,25	фотоплан	наземна	1:3000-1:6000	200; 350; 500	- -
	0,5	фотоплан	стереоскопічне	1:3000-1:6000 1:3000-1:5000	200; 350; 500 100; 70	повна (суцільна)
	2,0	фотоплан	стереоскопічне	1:3000-1:6000 1:3000-1:6000	200; 350; 500 100; 140	повна (суцільна)
Масштаб 1:500						
Населені пункти, промислові майданчики	0,25	фотоплан	наземна	1:2500-1:3500	350; 500 -	-
	0,5	фотоплан	стереоскопічне	1:2500-1:3500 1:3500-1:2500	350; 500 100; 140	повна (суцільна)
	1,0	фотоплан	стереоскопічне	1:2500-1:3500 1:3500-1:2500	350; 500 100; 140	повна (суцільна)

Рис. 1.4.1.3 - Вибір масштабу аерофотознімання і фокусної відстані АФА

1:1000-1:500

Контурне навантаження місцевості	Переріз рельєфу, м	Контурна частина плану	Середні величини помилок положення контурних точок у плані, м	Знімання рельєфу	Середні величини помилок положення точок по висоті, м	Масштаб аерофото-знімання	Фокусна відстань АФА, мм
Забудовані території міст і селищ міського типу	0,25	Цифрова модель контурів	0,05	Цифрова модель рельєфу	0,03	1:2500-1:3500	100
	0,5	- " -	0,10	- " -	0,05	1:3500-1:5000	100
Забудовані території сільських населених пунктів	1,0	- " -	0,20	- " -	0,10	1:5000-1:8000	100; 140
	1,0	- " -	0,30	- " -	0,10	1:8000-1:12000	100; 140
	2,0	- " -	0,30	- " -	0,20	1:8000-1:12000	100; 140
Незабудовані території, сільськогосподарські угіддя	0,5	- " -	0,50	- " -	0,05	1:3500-1:5000	100; 70
	1,0	- " -	0,50	- " -	0,10	1:8000-1:12000	100; 70
	2,0	- " -	0,50	- " -	0,20	1:8000-1:12000	100; 70

Рис. 1.4.1.4 - Вибір масштабу аерофотознімання і фокусної відстані АФА

Пункти 7.1.27 – 33 описують маркірування розпізнавальних знаків. В пунктах 7.1.34. – .45 вказується методологія планової підготовки аерофотознімків, а в пунктах 7.1.46–.56 описується процес висотної підготовки аерофотознімків при стереотопографічному зніманні.

1.4.2. Вимоги до виконання топографічних робіт

Точність топографічних планів оцінюється за величинами розходжень положень контурів та висот точок, виміряних на плані з даними контрольних вимірів на місцевості [21].

Критеріями оцінки якості є середні, граничні та грубі похибки, які не повинні перевищувати величини похибок, встановлених цими Основними положеннями[21].

Середня похибка у положенні на плані предметів та контурів місцевості з чіткими контурами відносно ближніх точок зйомочної основи не повинна перевищувати 0,5 мм, а в гірській та залісненій місцевості - 0,7 мм у масштабі плану[21].

Середня похибка у взаємному положенні на плані чітких контурів на забудованій території (роги капітальних будівель, люки інженерних комунікацій та інші, визначені з допомогою координування), розташованих один від одного на відстані до 100 м, не повинна перевищувати 0,3 мм у масштабі плану[21].

Середня похибка зйомки рельєфу відносно ближніх точок геодезичної основи не повинна перевищувати по висоті[21]:

- $1/4$ прийнятої висоти перерізу рельєфу при кутах нахилу до 2° ;
- $1/3$ - при кутах нахилу від 2° до 6° для планів масштабу 1:5000, 1:2000; і до 10° для планів масштабу 1:1000 та 1:500;
- $1/3$ - при перерізі рельєфу через 0.5 м на планах масштабів 1:5000 та 1:2000.

На залісненій місцевості ці допуски збільшуються у півтора рази.

У місцевостях з кутами нахилу рельєфу більш як 6° для планів масштабів 1:5000 та 1:2000, а також більш як 10° для планів масштабів 1:1000 та 1:500 кількість горизонталей повинна відповідати різниці висот, визначених на характерних перегінах схилів, а середні похибки висот, визначених на

характерних типах рельєфу, не повинні перевищувати $1/3$ прийнятої висоти перерізу рельєфу[21].

Граничні похибки у положенні на план; предметів та контурів місцевості з чіткими контурами відносно ближніх точок зйомочної геодезичної основи не повинні перевищувати 1,0 мм, а в гірській та залісненій місцевості - 1,4 мм у масштабі плану[21].

Граничні похибки у взаємному положенні на плані чітких контурів на забудованій території не повинні перевищувати 0,6 мм у масштабі плану.

Кількість граничних похибок не повинна перевищувати 10% від загальної кількості контрольних вимірів[21].

При наявності грубих (випадкових) похибок їх кількість не повинна перевищувати 5%. Якщо таких похибок більше 5% - робота бракується.

На великомасштабних топографічних планах (масштаби 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500), в графічному або цифровому вигляді, достовірно з необхідною точністю та детальністю, в залежності від масштабу плану, відображуються: житлові та нежитлові будівлі та споруди, об'єкти шляхової мережі, надземні та підземні інженерні споруди, межі та огорожі, гідрографія та гідротехнічні споруди, рельєф місцевості, рослинний покрив, а також пункти геодезичної основи[21].

На топографічних планах всіх масштабів, в результаті застосування умовних знаків, забезпечується однакове відображення однотипних елементів місцевості.

Рельєф місцевості передається горизонталями, умовними знаками, а також підписами відміток пікетів місцевості, горизонталей, глибини (відносні висоти) окремих форм рельєфу, а також вказується напрямок схилу.

Висота перерізу рельєфу встановлюється залежно від характеру місцевості, масштабу планів, а також їх призначення.

Для зображення характерних форм та деталей рельєфу, які не відображаються горизонталями основного перерізу, використовуються половинні або допоміжні горизонталі.

На топографічних планах масштабів 1:5000 та 1:2000 на кожний квадратний дециметр підписується не менш ніж п'ять відміток характерних точок місцевості. На планах масштабів 1:1000 та 1:500 підписуються відмітки не менш ніж через 2 см.

Горизонталі не проводяться через штучні покриття та розриті території (розрізи, кар'єри тощо).

Примітка. В разі необхідності проведення горизонталей через штучні покриття та розриті території доцільність обґрунтовується в технічних проектах (програмах) робіт.

Таблиця 1.4.2.1. Допуски на визначення відміток рельєфу.

Характеристика рельєфу та максимально переважні кути нахилу	Масштаб знімання		
	1:5000	1:2000	1:1000 1:500
	Висота перерізу рельєфу, м		
Рівний, з кутами нахилу до 2 град.	(0,5) 1,0	0,5 (1,0)	0,5
Горбистий, з кутами нахилу до 4 град.	(1,0) 2,0	0,5* 1,0	0,5
Пересічений, з кутами нахилу до 6 град.	2,0 (5,0)	(1,0) 2,0	0,5 1,0
Гірський та передгірський, з кутами нахилу понад 6 град.	2,0* 5,0	2,0	1,0

Примітка. Висоти перерізу рельєфу, значення яких відмічені зірочкою, на топографічних планах населених пунктів не використовуються. На топографічних планах населених пунктів можливе застосування висот перерізу рельєфу, значення яких наведені в дужках, але в обмежених випадках, що передбачено технічним проектом або програмою.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ

2.1. Аналіз методів виконання топографо-геодезичних вишукувань місцевості

В сучасних умовах для створення крупно-масштабних топографічних карт та планів існують різні методи, які різняться в основному інструментальним використанням, зокрема широкого використання набули такі методи:

- РТК зйомка;
- Тахеометрична зйомка;
- Аерофотозйомка.

РТК-зйомка

В основі методу РТК зйомки лежить визначення координатного положення об'єкту з допомогою використання супутників, а саме вимірювання відстаней від супутників до точки місцезнаходження приймача, для подальшого розв'язання лінійної засічки. Перевагою цього методу, є мобільність, оскільки можна одразу отримати координати потрібної точки одразу в бажаній системі координат, без необхідності створення ходу від базової точки. Недоліком цього методу, є залежність можливості його використання від навколишньої ситуації, оскільки його неможливо використовувати при знаходженні навколо високих об'єктів.

Тахеометричне знімання.

В основі цього методу лежить використання, тахеометра приладу який здійснює автоматичне зчитування кутів за рахунок використання системи кодових (растрових) сіток замість звичайних лімбів з перетворенням лінійного переміщення датчика в кутове. Положення визначуваної точки в цьому методі визначається способом полярних координат. Використання цього методу

передбачає також необхідність наявності відбивача, відповідно і ще одної особи, тобто цей метод є найбільш трудомістким, серед інших, проте він є і найбільш точним, та автономним в порівнянні з іншими. Основними джерелами похибок тут виступають похибки за центрування, редукування та похибки приладу.

Аерофотозйомка

Радіокерована аерофотозйомка – це фото / відео зйомка, за допомогою радіокерованих літальних апаратів, розмір яких не більше 2,5 м якщо йдеться про літаки і не більше 120 см, якщо говорити про мультіроторних апаратах. Такі апарати як правило на електротязі, але бувають апарати і з бензиновими двигунами. Маса таких апаратів не перевищує 40 кг. Аерозйомка може здійснюватися і при мінус 25 градусах і при плюс 50. Обмеженнями для деяких видів аерозйомки може бути сильний вітер (більше 5 м / с) і опади. Як правило, управління радіокерованими моделями відбувається в таких межах видимості керуючого, коли він гарантовано бачить положення і напрямок руху моделі. В основному, на це впливають розміри і забарвлення моделі. Часто застосовуються спеціальні, яскраві і контрастні забарвлення, які спрощують визначення положення моделі в просторі і її помітність. Дальність дії апаратури управління, традиційно, сильно перевищує цю відстань. В аматорському середовищі іноді зустрічаються моделі керовані за допомогою трансльованих моделлю телеметрії і відеосигналу з бортової камери.

Радіокерована аерофотозйомка дає можливість оцінити взаємодію архітектурних (будівель) об'єктів і навколишнього простору, показуючи масштабне відношення між об'єктами, дає можливість для виробництва планів та карт та відносно точного обстеження території. Для отримання хороших кадрів необхідно мати чітке уявлення про технічну сторону даного виду зйомок. Традиційно фотознімки з повітря отримували за допомогою фотокамер, які розміщувалися на громіздких літаках або гелікоптерах. Але подібні способи зйомки дуже дорогі і мають істотні обмеження по: мінімальній висоті мінімум -150 м від землі; польотам над певною територією; ціні (оренда літака

з екіпажем, фотооператора і т.д.); узгодженню маршруту польоту з диспетчером ; підготовці літака – більше 1 години ; перегляду результатів тільки після посадки літака (це як правило більше 3 годин); більш складна техніка.

Радіокерована аерофотозйомка – це просте і ефективне рішення. Вона має ряд переваг:

- мінімальний час на підготовку апаратури (до 15 хвилин);
- мінімальна висота зйомок від 40 см від землі;
- низький рівень шуму; - максимальний рівень безпеки; - мінімальний обслуговуючий персонал - до 3 чоловік;
- моментальний перегляд результату зйомки;
- корегування маршруту на місці; - мобільність і компактність.

Є три головних кути знімання. Кожен кут надає різне візуальне бачення зазнятої території, і використовується для різних цілей.

1. Вертикальний кут, (по вертикалі) – зображення виконується камерою спрямованою вертикально вниз, під кутом 90 градусів. Такий кут зйомки дає можливість побачити об'єкти зверху з мінімальним спотворенням, а також побачити масштабні відношення поруч розташованих об'єктів. Використовується в основному в картографії (для створення карт невеликих територій), фотограмметрії (для знімання природних ландшафтів).

2. Середній кут нахилу оптичної вісі – зйомка, виконана під кутом до 40 градусів. Цей кут зйомки дає більший огляд земної поверхні , але не показує лінію горизонту, отже небосхилу ще не видно. Таку зйомку застосовують для обстеження територій або пошуків об'єктів, людей.

3. Великий кут нахилу оптичної вісі – зйомка, виконана під кутом більше 70 градусів. Такий кут зйомки дає максимальний кут огляду місцевості і захоплює лінію горизонту і частину небосхилу.

2.2. Системи координат та зв'язок між ними

Системи координат які використовуються в Україні.

На сьогодні в Україні використовуються наступні системи координат:

1. Система координат 1942 року (СК-42)— референцна система прямокутних координат на площині, яка базується на використанні конформної проекції Гаусса-Крюгера з вихідними даними:

- референц-еліпсоїд Красовського — велика піввісь 6 378 245 м, стиснення 1:298,3;
- висота геоїда в Пулково над референц-еліпсоїдом дорівнює нулю;
- геодезичні координати Пулковської обсерваторії (центр сигналу А): широта — $59^{\circ}46'15,359''$, довгота від Грінвіча $30^{\circ}19'28,318''$;
- геодезичний азимут з Пулково на пункт - Бугри — $121^{\circ}06'42,305''$.

Центр еліпсоїда Красовського збігається з початком референцної СК, вісь обертання еліпсоїда рівнобіжна (паралельна) осі обертання Землі, а площина нульового меридіана визначає положення початку відліку довгот. Всі інші параметри еліпсоїда є похідними [23].

Державна нівелірна мережа поширює на всю територію країни систему нормальних висот (Балтійська система 1977 року), вихідним початком якої є нуль Кронштадтського футштока. Прямокутні координати Державної геодезичної мережі обчислювалися на площині в конформній проекції Гаусса-Крюгера в шестиградусних зонах, осьовими меридіанами яких є меридіани з довготами 21° , 27° , 33° , 39° . Початком координат у кожній зоні є точка перетину осьового меридіана з екватором. Значення ординати на осьовому меридіані приймається рівним 500 км. При топографічних зніманнях у масштабах 1:5000 і більше крім прямокутних координат у шестиградусних зонах обчислюються прямокутні координати у триградусних зонах. Осьовими меридіанами цих зон у системі координат 1942 року є меридіани з довготами 21° , 24° , 27° , 30° ... 39° [23].

Система координат 1963 року (СК-63) ґрунтується на триградусних зонах, є відкритою системою і у відповідності до діючих нормативно-технічних документів, рекомендована як основна для кадастрових зніманих. Практичне застосування СК-63 ускладнюється можливістю попадання крупних об'єктів картографування в декілька зон, а також "таємністю" параметрів переходу ("ключів") від державної системи координат до СК-63 при відкритості самих координат в СК-63. Це спеціально спотворена СК, яка базувалася на проекції Гаусса-Крюгера і системі координат 1942 року. За математичною сутністю — це та ж система Гаусса-Крюгера, тільки номенклатура базових карт масштабу 1:100 000 побудована по-іншому[23].

Прив'язуються топографічні карти СК-63 до стандартної системи СК-42, виходячи з того, що обидві системи ґрунтуються на системі координат Гаусса-Крюгера, рамки аркушів розбиті по географічній сітці, а зміщення сітки кратні цілому числу мінут (одна мінута вздовж меридіана дорівнює 1 морській милі = 1 852 метрам, довжина міноти уздовж паралелі зменшується до півночі і на середніх широтах становить приблизно половину милі). При використанні деяких сучасних методів визначення місцеположення (GPS) необхідно вносити відповідні поправки у результати вимірювань для переходу в систему СК-63 [23].

Система координат УСК-2000 встановлена за умови паралельності її осей просторовим осям Міжнародної загальноземної референцної системи координат ITRS. За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського. Система координат УСК-2000 чітко узгоджена з Міжнародною загальноземною референцною системою координат ITRS на епоху 2000 року — ITRF2000, яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі. УСК-2000 встановлена для виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт на території України постановою КМУ "Деякі питання застосування геодезичної системи координат". З моменту введення системи координат УСК-2000 року при виконанні нових робіт вона замінила систему координат 1942 року [23].

УСК-2000 отримана в результаті сумісного вирівнювання пунктів Української перманентної мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем та Державної геодезичної мережі 1-4 класів на епоху 2005 року і закріплена пунктами Державної геодезичної мережі [23].

Параметри системи УСК-2000.

За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського з параметрами:

— велика піввісь 6 378 245м;

— стиснення 1:298,3.

Положення пунктів в прийнятій системі координат визначається:

- просторовими прямокутними координатами X, Y, Z ;
- геодезичними (еліпсоїдальними) координатами B, L, H ;
- плоскими прямокутними координатами x та y , які обчислюються в проекції Гаусса-Крюгера;
- геодезична висота H утворюється, як сума нормальної висоти та висоти квазігеоїда над еліпсоїдом Красовського. Нормальні висоти геодезичних пунктів визначаються в Балтійській системі висот 1977 року[23].

Найбільшого розповсюдження з цих трьох систем мають СК-63, яку часто використовують в землевпорядній сфері, оскільки більша частина поворотних координат земельних ділянок визначенні та занесені в базу кадастрової карти саме в цій системі. УСК-2000 є системою яка використовується для виконання топографічних робіт результати яких мають бути погодженні саме в цій системі координат. УСК-2000 Система координат УСК-2000 на місцевості закріплена пунктами ДГМ. Геодезичною основою при здійсненні робіт є пункти ДГМ 1-3 класів; пункти геодезичних мереж згущення (далі - ГМЗ) 4 класу, 1 та 2 розрядів; пункти знімальної геодезичної мережі[24].

Зараз в Україні наразі є 1146 місцевих систем координат, при чому лідером є Донецька область у якій їх нараховується аж 124. Водночас розбіжність між координатами пунктів Державної геодезичної мережі у СК-42 і СК-63 може сягати, у межах держави, від мінус 3 до плюс 3 метрів. [24].

2.3. Попередній розрахунок точності. Вибір геодезичного забезпечення

Розрахунок точності визначення координат і висоти точок місцевості по стереопарі знімків.

- Розмір пікселя – 4.14 мкм;
- Фокусна відстань – 4.49 мм \approx 749 пікселів ;
- Формат кадру 24x18 мм або 3968x2967 пікселів;
- Коротка сторона кадру направлена в сторону польоту;
- Повздовжнє перекриття – 70%
- Висота знімання – 50 м;

Розмір одного пікселю на землі розраховується за формулою:

$$\Delta = \frac{H}{f} = \frac{50}{749} = 0.07 \text{ м} \quad (2.3.1)$$

Базис фотографування в масштабі знімку:

$$b = \frac{100 - 70}{100} * 24 = 7.2 \text{ мм} \quad (2.3.2)$$

або в пікселях

$$b = \frac{100 - 70}{100} * 3968 = 1190 \text{ пікселів} \quad (2.3.3)$$

Точність визначення координат точок на місцевості m_x , m_y , m_z

$$m_x = m_y = \frac{H}{f} m_p = \frac{50}{749} 0.5 = 0.03 \text{ м} \quad (2.3.4)$$

$$m_z = \frac{H}{b} m_p = \frac{50}{1190} 0.5 = 0.02 \text{ м} \quad (2.3.5)$$

Згідно інструкції точність планових координат потрібно розраховувати вздовж радіус-вектору, знайдемо її по формулі:

$$m_{XY}^2 = m_X^2 + m_Y^2 \quad (2.3.6)$$

$$\text{При } m_x = m_y \quad m_{xy} = m_x \sqrt{2}$$

$$\text{Або } m_{xy} = 0.01\sqrt{2} = 0.008 \text{ м}$$

Точність визначення координат по стереопарі для заданих параметрів наступна:

- в плані $m_{xy} = 0.008 \text{ м}$
- по висоті $m_z = 0.02 \text{ м}$

Відповідно до вимог точності топографічних планів М 1:500.

- середня похибка у положенні на плані предметів та контурів місцевості з чіткими контурами відносно ближніх точок зйомочної основи не повинна перевищувати 25 см [21].
- середня похибка зйомки рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не повинна перевищувати по висоті 16 см

тобто: [21].

$$m_{xy(\max)} = 0.25 \text{ м}$$

$$m_{z(\max)} = 0.16 \text{ м}$$

Проведені розрахунки показують що точність виконання робіт має задовільне значення. В разі, якщо значення перевищує нормативне, то для більшої точності рекомендується збільшення базису фотографування або збільшенням точності вимірювання координат і паралаксів.

Далі можна провести обчислення граничної похибки визначення висоти:

$$\Delta h_{\text{гран}} = \frac{0.3fM_k}{r}, \quad (2.3.7)$$

де радіус робочої площі знімку визначається за формулою:

$$r = \sqrt{\left(\frac{l_x}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_y}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{24}{2}\right)^2 + \left(\frac{18}{2}\right)^2} = 15 \text{ мм} \quad (2.3.8)$$

При створенні ортофотоплану відповідно до вимог точності карти М 1:500 маємо:

$$\Delta h_{\text{гран}} = \frac{0.3 * 500 * 4.49}{15} = 0.05 \text{ м} \quad (2.3.9)$$

Отримане значення означає, що якщо перепад висот в межах робочої площини вибраного знімку не перевищує подвійної величини $\Delta h_{\text{гран}}$, $(2 * 0.05) = 0.1 \text{ м}$, то цифрове фототрансформування знімку можна виконати на середню площину (середня висота місцевості в межах вибраного знімку).

2.4. Опорна мережа

Для успішної побудови ортофотоплану, важливим є етап побудови опорної мережі точок, які задані в бажаній системі координат та мають визначенні координати. Найбільш вигідним положенням для опознаків є область потрібного перекриття, оскільки таким чином можна отримати точку з визначеними координатами на максимальній кількості знімків [25].

Важливим моментом при закладанні опознаків є їх легкість у розпізнаванні, тобто необхідно забезпечити однозначне, та легке розпізнавання центру опознаків для їх використання. Зокрема вимагається аби віддаль від опознаку до країв аерознімка повинна бути більше 1 см [25].

Густота розташування розпознаків залежить від масштабу аерознімального зальоту, формату аерознімків, масштабу створюваної карти, якості зальоту, рельєфу місцевості і методу фотограмметричної обробки. Чим більший масштаб створюваної карти і рельєфніша територія, тим більше число планових розпознаків визначається на площу яка опрацьовується [25].

Існують такі вимоги до вибору планово-висотних опознаків [26].

Вибір опознаків згідно існуючих матеріалів АЗ проводиться серед чітких контурів об'єктів, які розпізнаються на аерофотознімку і на місцевості з точністю не менше 0,1 мм в масштабі створюваного плану [27].

При виборі опознаків, які виконуються без наявних матеріалів, потрібно враховувати наступні моменти [27].

- місце вибору опознака чітко розпізнається на майбутніх топографічних матеріалах;
- місце вибору опознака має бути подалі від об'єктів, які своєю проекцією та тінню будуть перешкоджати фотограмметричному розпізнанню;
- можливість повторного використання у разі виготовлення фотограмметричної продукції інших масштабів [27].

Основними об'єктами для вибору опознаків є:

- фундаменти, бетонні блоки;
- об'єкти дорожньої інфраструктури (краї мостів, огорожі, люки, зливні решітки, автопавільйони, дорожні знаки, бордюри, та ін.);
- опори стовпів ліній електропередач та зв'язку;
- кути парканів та огорож;
- інші об'єкти, які мають чіткі контури на місцевості [27].

Забороняється використовувати для опознаків контури з нечіткими краями, які знаходяться на крутих схилах, на дні ярів і т. інші., а також ті об'єкти місцевості, які існують недовго. Також забороняється проводити вибір опознаків поблизу силових лінії електропередач, дерев та високих об'єктів, які перешкоджають прийому супутникового сигналу та спотворюють його [27].

Проте для вихідного об'єкту, для якого виконується дослідження в цій дипломній роботі рекомендоване розташування опознаків має схему «конверту». Дана схема передбачає розташування не менше 5-ти опознаків, при цьому 4 опознаки встановлюються в кутових зонах. Рекомендована кількість 10 опознаків, з рівномірним розташування всередині площини знімання.

Існують також певні вимоги до вигляду самих опознаків, всі вони вказані в інструкції з топографічного знімання. Так зокрема для виконання цієї роботи опознаки (білого або жовтого кольору) мають мати такі розміри:

- довжина одного променя – 8 см;
- ширина променя – 2.5 см;
- вільний простір у центрі між протилежними променями – 2.5 см;
- сторона квадрату або діаметр кола – 5 см;

Якщо використовувати знак чорного кольору, то потрібно збільшити вищевказані розміри в 1.5 рази. [27]

РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ПРИКЛАДІ ДІЛЯНКИ ТРАСИ М-19

3.1. Опис об'єкту дослідження

Об'єкт дослідження знаходиться в Волинській області, на території Луцького району в межах села Підгайці.

Ділянка траси М-19 159+900 161+300 загальною протяжністю 1,4 км знаходиться на Південно-Східній околиці міста Луцьк.

Географічні координати точок початку та кінця ділянки 50.726467, 25.389362 та 50.716770, 25.402326.

Луцький район межує з Локачинським, Рожищенським, Ківерцівським та Млинівським районами.

Автомобільний шлях М-19 є міжнародною трасою за державною класифікацією яка з'єднує Доманове (на м. Брест) – Ковель – Чернівці - Теремблече (на м. Бухарест). Балансоутримувачем ділянки є САД у Волинській області.

Село Підгайці розташоване на схід від міста Луцьк. На території протікає річка Стир, що є правою притокою Прип'яті. На околиці села розташована метеорологічна станція «Луцьк», де цілодобово збираються дані про напрям вітру, атмосферний тиск, температуру води і ґрунту.

3.2. Види польових робіт для створення топоплану місцевості масштабу 1:500.

3.2.1 Аерофотозйомка, як метод отримання просторової інформації про об'єкт дослідження

В ході виконання рекогносцирування цієї ділянки було встановлено, що ця територія є забудованою. Також на ній мало дерев, що зробило доцільним використання БПЛА для зйомки місцевості.

Зйомка проводилась комплексно з використанням аерофотознімання, тахеометричної зйомки та зйомки в режимі RTK спутниковим приймачем.

На першому етапі було проведено рекогносцирування ділянки, за яким було визначено основні методи зйомки та знаходження пунктів ДГМ на місцевості для контролю точності робіт.

Особливості технології оперативного картографування складаються в мобільному проведенні зйомки заданої місцевості за допомогою безпілотного літального апарату Phantom 4 Pro. Спеціалізований програмний продукт Pix4Dcapture автоматично визначить оптимальні параметри польоту для забезпечення необхідних характеристик точності на обраному полігоні[28].



Рис. 3.2.1.1 - Вікно планування аерофотозйомки в Pix4DCapture

Виконуючи політ, апарат з певним інтервалом робить знімки місцевості, відповідно до вказаної висотою, моделлю камери, величиною перекриття знімків і іншими характеристиками. До кожного фотознімку прив'язуються його координата з сантиметровою точністю. Продукт аерозйомки сумісний з більшістю програмних пакетів по формуванню ортофотопланів і хмар точок.

В ПЗ «Pix4DCapture» необхідно вказати площу для якої виконується аерофотозйомка, після чого програма автоматично в залежності від заданих значень повздовжнього та поперечного перекриття (рис. 17), покриває задану територію маршрутами. Також зокрема цього, можна змінювати висоту зальоту, в залежності від якої буде змінюватись роздільна здатність фотографій.

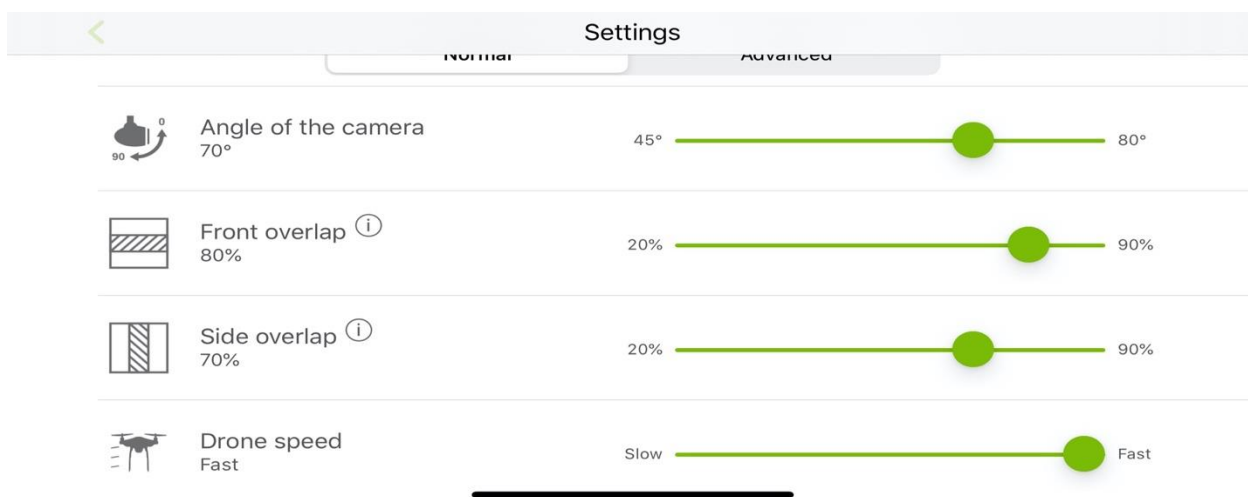


Рис. 3.2.1.2 - Параметри аерофотознімання в "Pix4DCapture".

3.2.2. Тахеометричне знімання

Тахеометричну зйомку місцевості, виконувалась одночасно з прокладанням тахеометричного ходу. Зйомка предметів, контурів і рельєфу місцевості виконувалась полярним методом. Зйомка виконувалась по обидві сторони ходу в смузі. При зйомці предметів, контурів і рельєфу горизонтальні і вертикальні кути вимірювались при одному положенні вертикального круга [29].

Зйомка місцевості починається від напрямів на задню або передню точку ходу. Для виконання зйомки на характерні точки рельєфу і на контури або предмети місцевості, установлюють віху з призмою. Ці точки називають

пікетами, вони на місцевості не закріплюються. На пікети замірялись: горизонтальний кут від початкового напрямку вертикальний кут на висоту віхи. Всі відліки і дані записують в журнал тахеометричної зйомки. Пікети нумеруються порядковим номером. Кількість пікетів залежить від перерізу рельєфу, характеру рельєфу, кількості предметів, контурів і регламентується інструкцією[29].

3.2.3. Визначення просторових координат пікетів методом RTK

В якості координатної основи при виконанні робіт було використано послуги мережі постійного діючих референтних GNSS-станцій компанії System Solution, сертифікованої в установленому порядку, що мають метрологічні атестати. Положення базових станцій визначені в системі координат і мають жорсткі зв'язки з пунктами УПМ ГНСС. GNSS-приймач, яким виконувались вимірювання, сертифікований в установленому порядку. В результаті спостережень максимальне значення СКП не перевищувало 0.05, що задовольняє вимогам точності виконуваних робіт.

Під час виконання зйомки методом RTK по всій території аерофотознімання було заснято всі опорні знаки та контрольні маркери. Також було визначено положення ряду об'єктів: дорожні знаки та дорожні огороження, опори ліній електропередач з подальшим записом їх нумерації та напрямками ліній, інженерні комунікації (телефонна мережа, кабельні стовпчики, їх нумерація, колодязі з їх подальшим обстеженням: водопровід, водовідвід, газопровід, електромережа), дорожні стовпчики (рис. 3.2.3.1).



Рис. 3.2.3.1 – Інженерні комунікації

3.3. Камеральна обробка

3.3.1 Процес обробки матеріалів аерофотозйомки для створення ЦМР та ортофотоплану у програмному забезпеченні Agisoft Metashape.

Після виконання аерофотозйомки місцевості були отримані 1085 фотографій, їх необхідно завантажити, та обробити в обраному ПЗ для побудови ЦММ, ортофотоплану, в ході виконання роботи використовувалось ПЗ «Agisoft Metashape».

Agisoft Metashape — це професійний інструмент для виконання фотограмметричних робіт, цей пакет для моделювання на основі зображень є найбільш розповсюдженим він дозволяє побудувати 3D модель об'єкта з використанням фотографій знятих на будь-яку камеру при умові, що кожен елемент реконструкції видно з як мінімум 2-х позицій. Для моделей з заданим масштабом Agisoft Metashape дозволяє вимірювати площу поверхні та об'єм. Масштабування відбувається на основі попередніх вимірювань в межах створюваної моделі[30].

Фотографії створенні в ході аерофотозйомки було завантажено в Metashape, та виконано процес вирівнювання камер та пошуку спільних точок, тобто в ході виконання цього процесу Agisoft аналізує кожну фотографію порівнюючи точки які зображуються на цій фотографії з точкам на інших фотографія, та розташовує проаналізовані фотографії впорядковано в виді маршрутів (рис. 2.1.) [30].

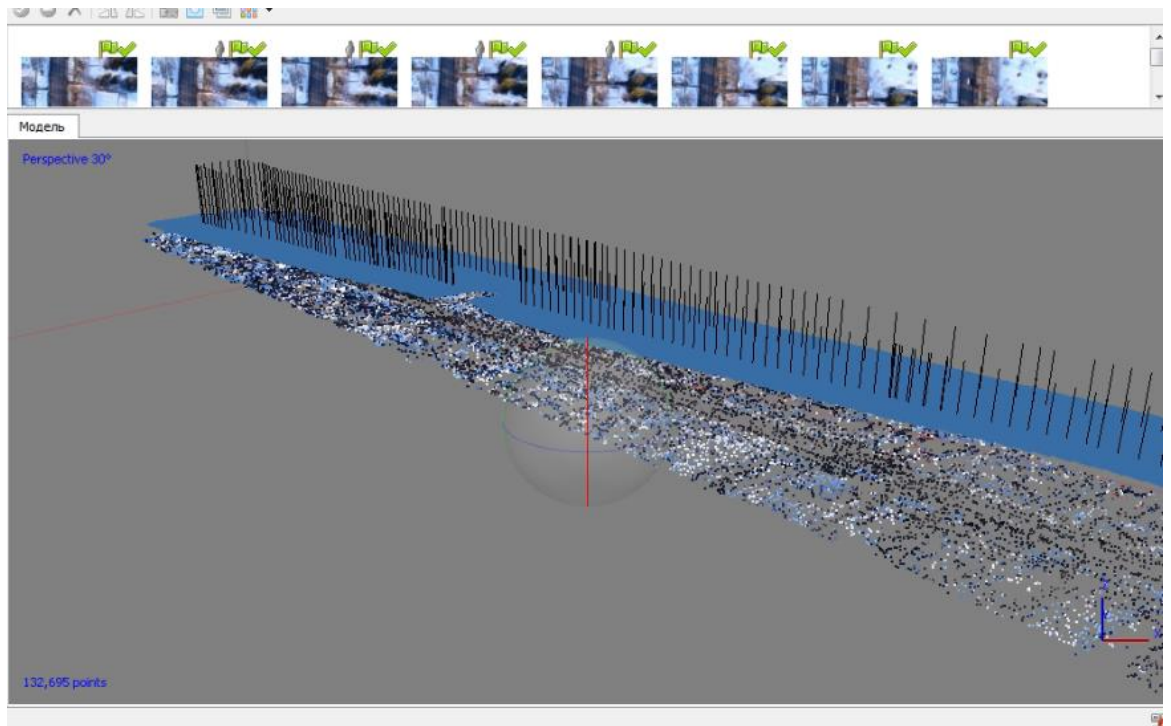


Рис. 3.1 - Розташування фотографій після виконання процесу вирівнювання камер

Центри фотографії після вирівнювання мають визначенні координати в умовній системі координат.

Після успішного виконання процесу вирівнювання фотознімків, виконується процес задання опорних точок місцевості. Опорні точки місцевості використовуються для зовнішнього орієнтування моделі. Координати опорних точок задаються в бажаній системі координат. Встановивши маркер на опорну точку на одній з фотографій, далі програма сама встановить цей маркер в ту саму точку на інших фотознімках, але все одно для більш точного встановлення, бажано проставити цю точку самостійно, орієнтуючись на показник похибки положення цього маркеру в пікселях. [30].

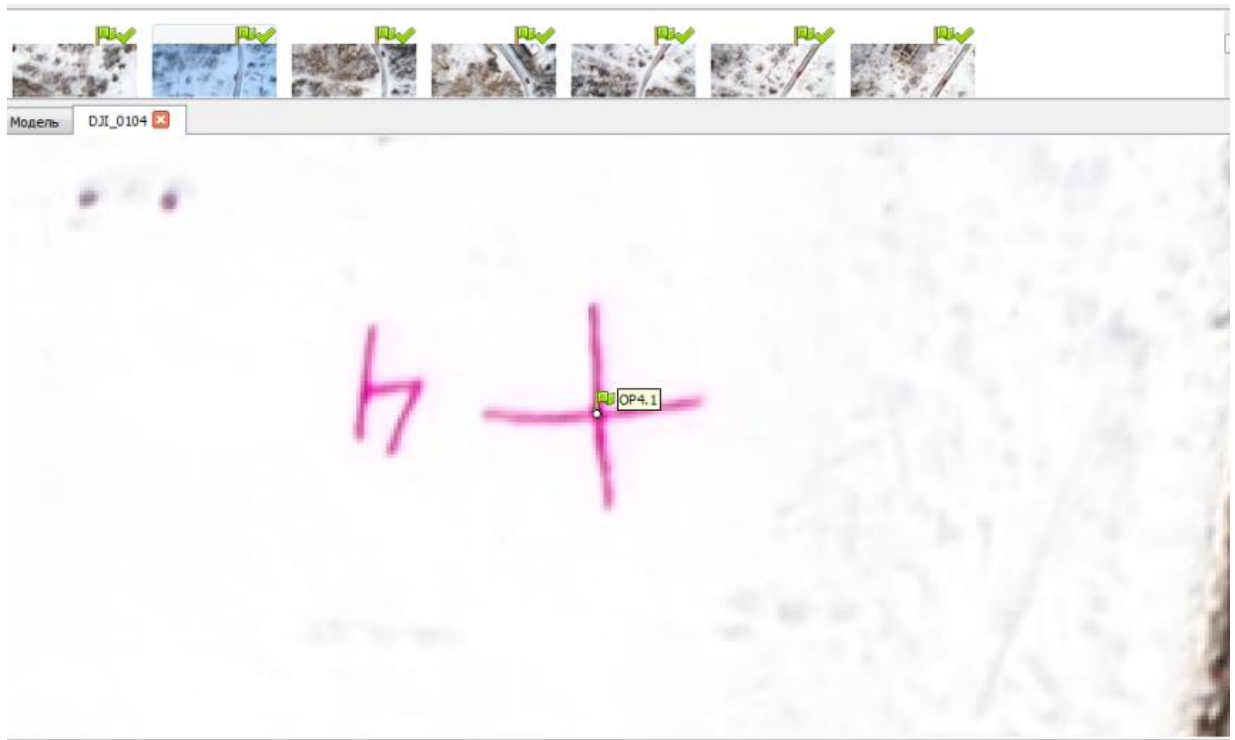
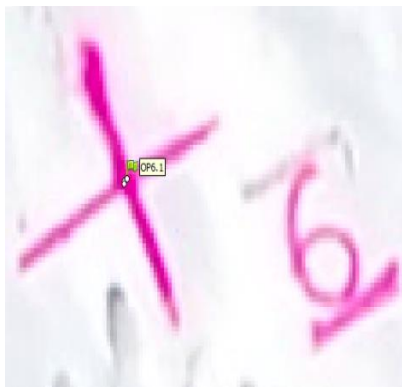


Рис. 3.3.1.24 - Процес встановлення опорних маркерів місцевості

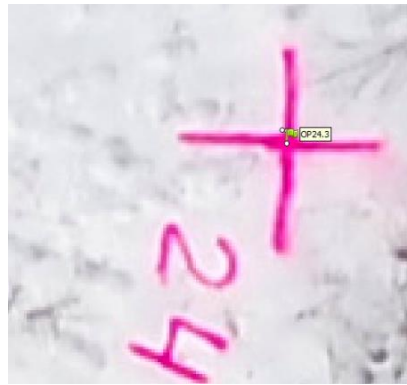
Маркеры	Ошибка, X (м)	Ошибка, Y (м)	Ошибка, Z (м)	Точность (м)	Ошибка
<input checked="" type="checkbox"/> OP1.1	-0.008307	0.031102	0.009343	0.005000	0.033521
<input checked="" type="checkbox"/> OP2.3	-0.009259	-0.004874	0.000431	0.005000	0.010472
<input checked="" type="checkbox"/> OP3.3	0.000753	0.002748	0.000962	0.005000	0.003007
<input checked="" type="checkbox"/> OP4.1	0.009198	0.000050	-0.008027	0.005000	0.012208
<input checked="" type="checkbox"/> OP5.2	-0.007000	0.008323	-0.000416	0.005000	0.010884
<input checked="" type="checkbox"/> OP6.1	0.008873	0.001757	0.008095	0.005000	0.012138
<input checked="" type="checkbox"/> OP7.2	0.000609	0.006566	-0.002967	0.005000	0.007231
<input checked="" type="checkbox"/> OP8.3	0.007749	0.002362	-0.000307	0.005000	0.008107

Рис. 3.3.1.3 - Показники точності положення опорних маркерів

Для орієнтування моделі використовувались 54 опорних знака та контрольних знаків. Координати опознків були виміряні RTK-ровером Javad Triumph-2.



а)



б)



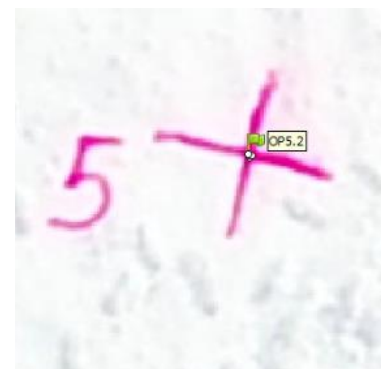
в)



г)



д)



е)

Рис 3.3.1.4 - Розміщення на місцевості опорних маркерів: а) point 6; б) point 24; в) point 7; г) point 12; д) point 1; е) point 5

Виконавши процес розміщення опорних маркерів, та аналізу точності їх положення, далі можна починати виконання процесу «оптимізації положення камери» (зовнішнє та внутрішнє орієнтування фотознімків). Для цього необхідно в параметрах прив'язки вказати в якій системі координат задані координати опорних маркерів, систему координат центрів фотознімків (якщо їх було імпортовано з файлу координат), та бажану систему координат проекту. Під час процесу «оптимізації врівноваження камер» відбувається уточнення таких параметрів: фокусна відстань камери, зміщення кардинальної точки, коефіцієнти радіальної дисторсії, коефіцієнти тангенціальної дисторсії, коефіцієнти афінитету і неортогональності.

Після приведення помилки положення опорних маркерів до нормального значення та проведення оптимізації вирівнювання фотознімків, далі можна починати процес створення щільної хмари точок.

Щільна хмара точок – це великий набір точок, фіксованих в єдиній системі координат. Хмара представляє собою точну цифрову копію усіх видимих поверхонь об'єкта. Тобто кожна точка хмари має свою свої координати.



Рис.3.3.1.5 - Вигляд щільної хмари точок

Створення щільної хмари точок є основним та найбільш ресурсозатратним етапом.

Після того як хмара точок була створена, автоматично виконується процес формування сітки TIN з якої пізніше отримують цифрову модель поверхні. У програмі «Metashape» ця обробка повністю автоматизована за допомогою попереднього встановлення наступних параметрів: тип поверхні – довільний; вихідні дані для визначення TIN – густа хмара точок; максимальна кількість полігонів, які братимуть участь у формуванні мережі – висока. Фрагмент сформованої мережі можна побачити нижче (рис. 22).[28]

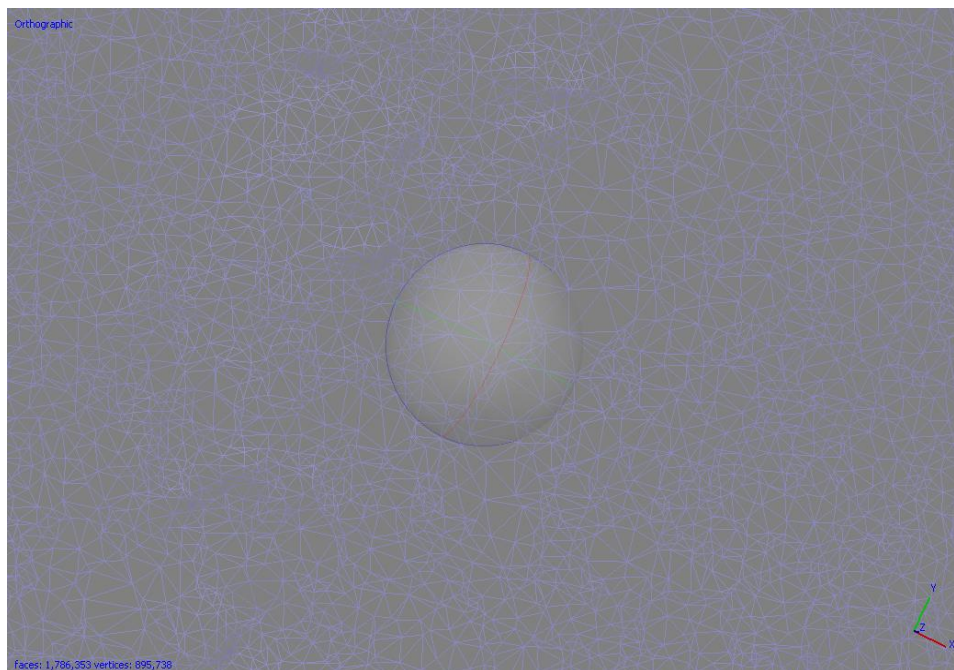


Рис. 3.3.1.6 - Фрагмент сітки TIN

Одним з найголовніших завдань програмного забезпечення з фотограмметрії є формування цифрової моделі рельєфу. Цей процес базується на алгоритмах відповідності та автокореляції. Автоматично створена цифрова модель рельєфу показана на (рис.3.3.1.7). На (рис. 3.3.1.8) показано фінальний вигляд ортофотоплану



Рис. 3.3.1.7 - Згенерована цифрова модель рельєфу

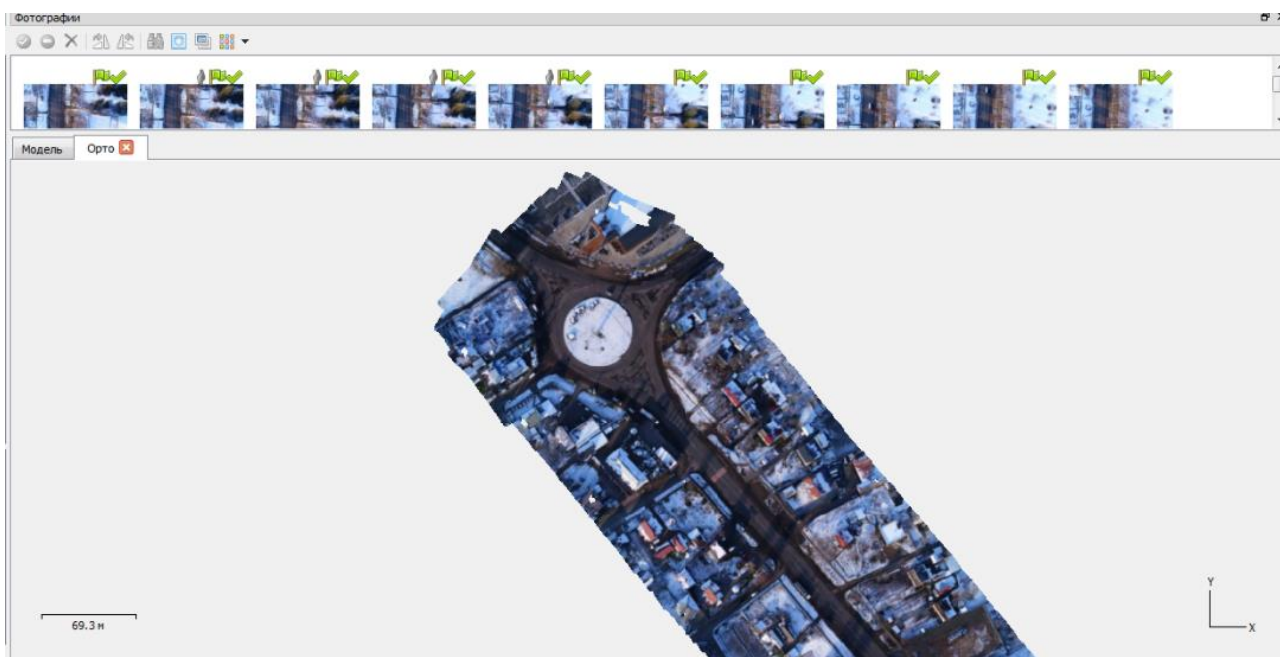


Рис. 3.3.1.8 - Ортофопотлан

3.3.2.Класифікація щільної хмари точок у програмі Cloud Compare

Важливим моментом є видалення так званих точок «nongroud», які мають бути враховані при побудові горизонталей. Для цих двох вище вказаних задач підійде ПЗ «Cloud Compare».

CloudCompare - це програмне забезпечення для редагування та обробки 3D-точок. Спочатку, воно було розроблено для покращення безпосереднього порівняння між щільними хмарами точок. Це програмне забезпечення спирається на специфічну восьмигранну структуру, яка забезпечує високу продуктивність при виконанні таких задач. Більш того оскільки більшість хмарних точок були створенні на той момент лазерними сканерами, то CloudCompare мав на меті зробити можливим обробку цих же хмар, які містили в собі більше 10 млн точок, на звичайному ноутбуці (2005 рік). Незабаром було додано підтримку порівняння між точковою хмарию та TIN-сіткою. На зараз CloudCompare підтримує різні алгоритми обробки хмарних точок, зокрема такі як: реєстрація, перекомпонування, управління кольором/звичайними векторами/скалярними полями, обчислення статистики, управління сенсором,

інтерактивна або автоматична сегментація тощо), а також були додані інструменти для покращення відображення (спеціальні кольорові рампи, кольорова і нормальна обробка векторів, калібрована обробка зображень, шаблони OpenGL, плагіни тощо).[29]

Що стосується конкретного принципу то, CloudCompare розглядає майже всі 3D-об'єкти, як хмари точок. Зазвичай трикутна сітка - це лише хмара точок (вершини сітки) з пов'язаною топологією (три «з'єднаних» точки, що відповідають кожному трикутнику). Це пояснює, що в сітках завжди є або хмара точок з назвою "вершини" як брати чи «родичі» (залежно від способу завантаження чи генерації). CloudCompare дозволяє користувачеві застосовувати деякі інструменти безпосередньо на сітчастій структурі (тобто трикутниках), то деякі інструменти можна застосовувати лише до вершин сітки. Звичайно, оскільки CloudCompare призначений для виявлення змін (наприклад, моніторинг просідання), а оскільки трикутна сітка є дуже поширеним способом представлення опорної форми (наприклад, будівлі), то підтримка такої структури є важливою, і її не можна ігнорувати. Тим не менш, вона залишається "вторинним" об'єктом, тим більше, що CloudCompare здатний порівнювати дві точкові хмари безпосередньо, без необхідності створювати посередницьку сітку [29].

Основними причинами малої важливості сітки є:

- сітку, як правило важко згенерувати належними чином на звичайних об'єктах, особливо якщо побудова цієї хмари відбувалась лазерним сканером;
- хмари точок типу ALS/TLS, мають велику щільність та точність, та мають всю необхідну інформацію одразу, без побудови сітки. [29]

Після створення хмари точок в ПЗ «AgisoftMetashape», на основі аерофотознімків, було завантажено цю ж саму хмару в «CloudCompare». Для зменшення навантаження, на обчислювальну техніку раціональним є зменшення густоти точок цієї хмари, так зокрема в «CloudCompare», можна

зменшити щільність точок застосувавши вбудованні інструменти, так було зменшено кількість точок з майже 32 мільйонів (рис.3.3.2.1) до 8 мільйонів (рис.3.3.2.2).

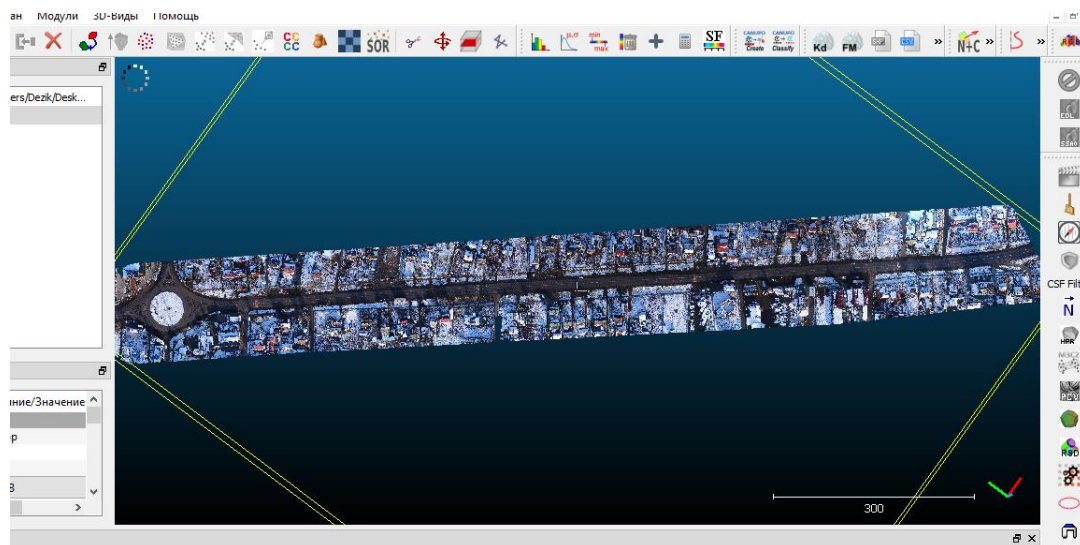


Рис.3.3.2.1 - Вигляд щільної хмари в «CloudCompare»

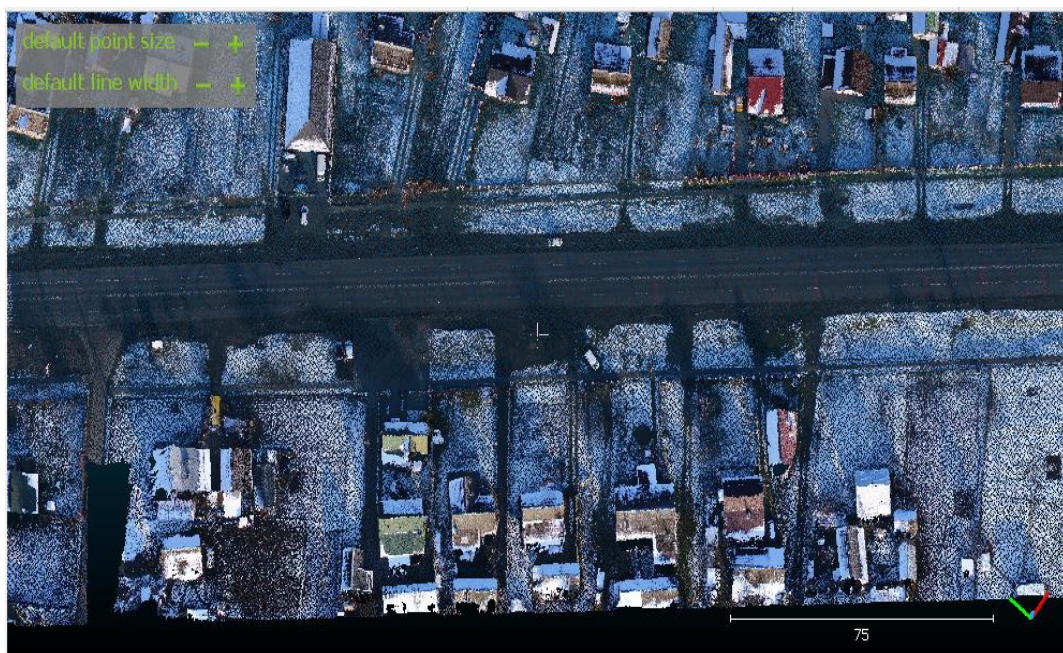


Рис. 3.3.2.2 - Вигляд розрідженої хмари в «CloudCompare»

Далі необхідно отримати такий набір точок, який би містив в собі лише точки «грунту». Для цього в «CloudCompare» вбудований спеціальний інструмент «CSF» (рис. 3.3.2.3), який на основі даних про крок сітки, кількості наближень та допуску класифікації, виділяє рельєфні точки та прибирає непотрібні.

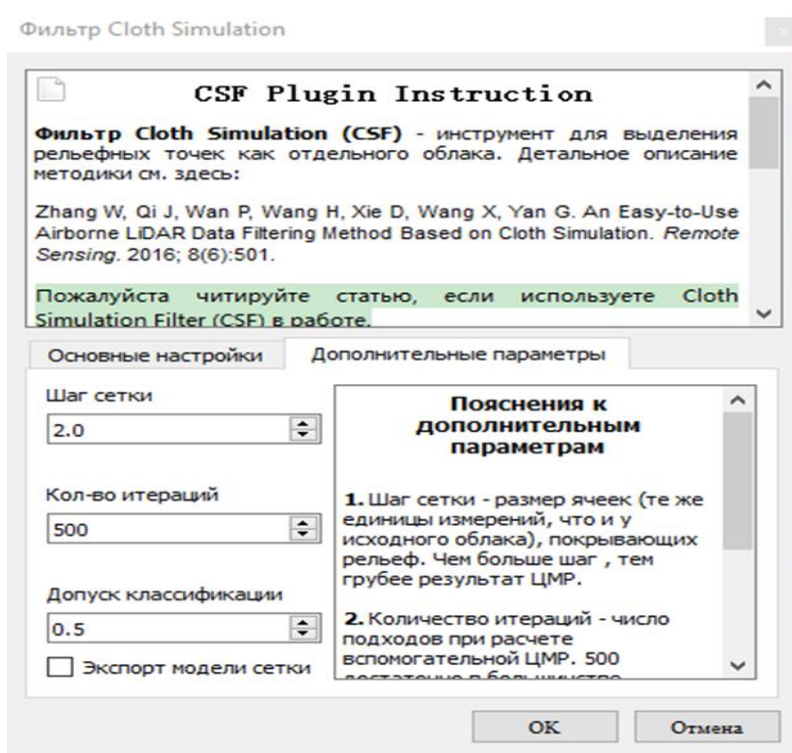


Рис. 3.3.2.3 - Вікно параметрів «CSF Plugin»

Так зокрема було виконано таку класифікацію та отримано набір точок необхідних для побудови поверхні, на основі якої побудуються горизонталі. Відповідно нижче (рис. 3.3.2.4), можна побачити, що були прибрані усі точки будинків. На основі цієї хмари точок можна виконати побудову горизонталей.

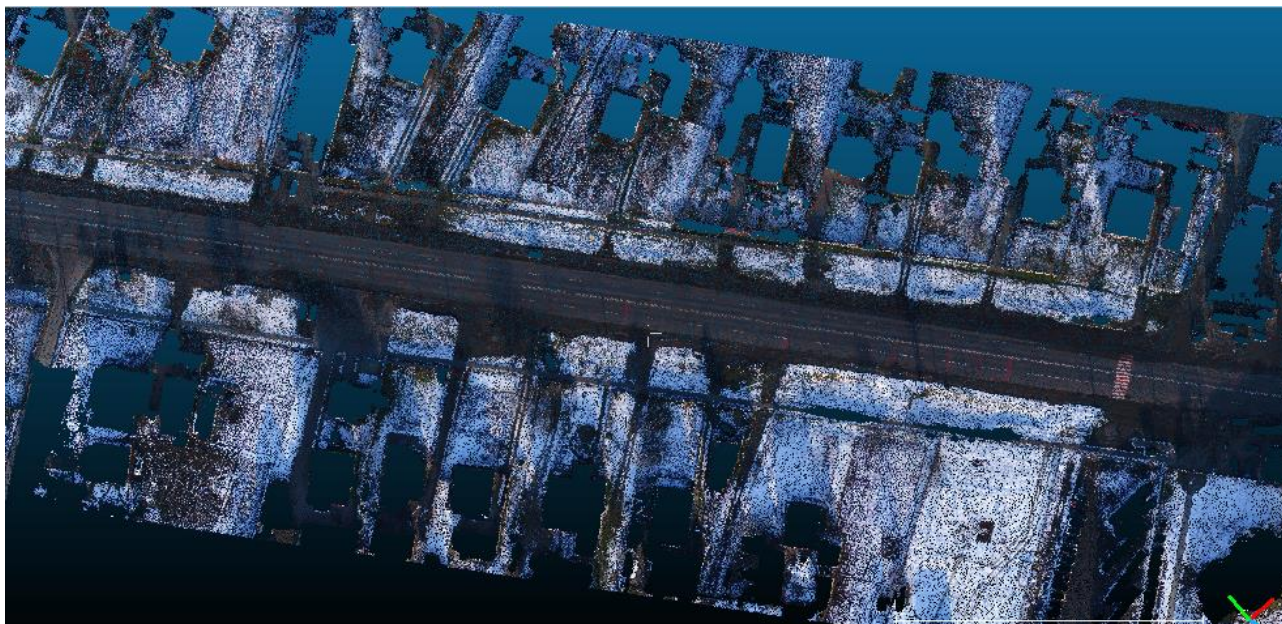


Рис. 3.3.2.4 - Набір хмарних точок які відповідають лише точкам ґрунтової поверхні

Побудова горизонталей в ПЗ «CloudCompare» виконується на основі принципу растеризації поверхні, тобто на основі інтерполяції, та з'єднанні точок з однаковими висотними відмітками. Так зокрема на (рис. 3.3.2.5.), можна побачити, що для виконання растеризації виконується побудова сітки з заданим кроком, та вказується діапазон висот. Також в даному вікні вказується дія відносно пустих областей (інтерполювати, чи залишити пустими).

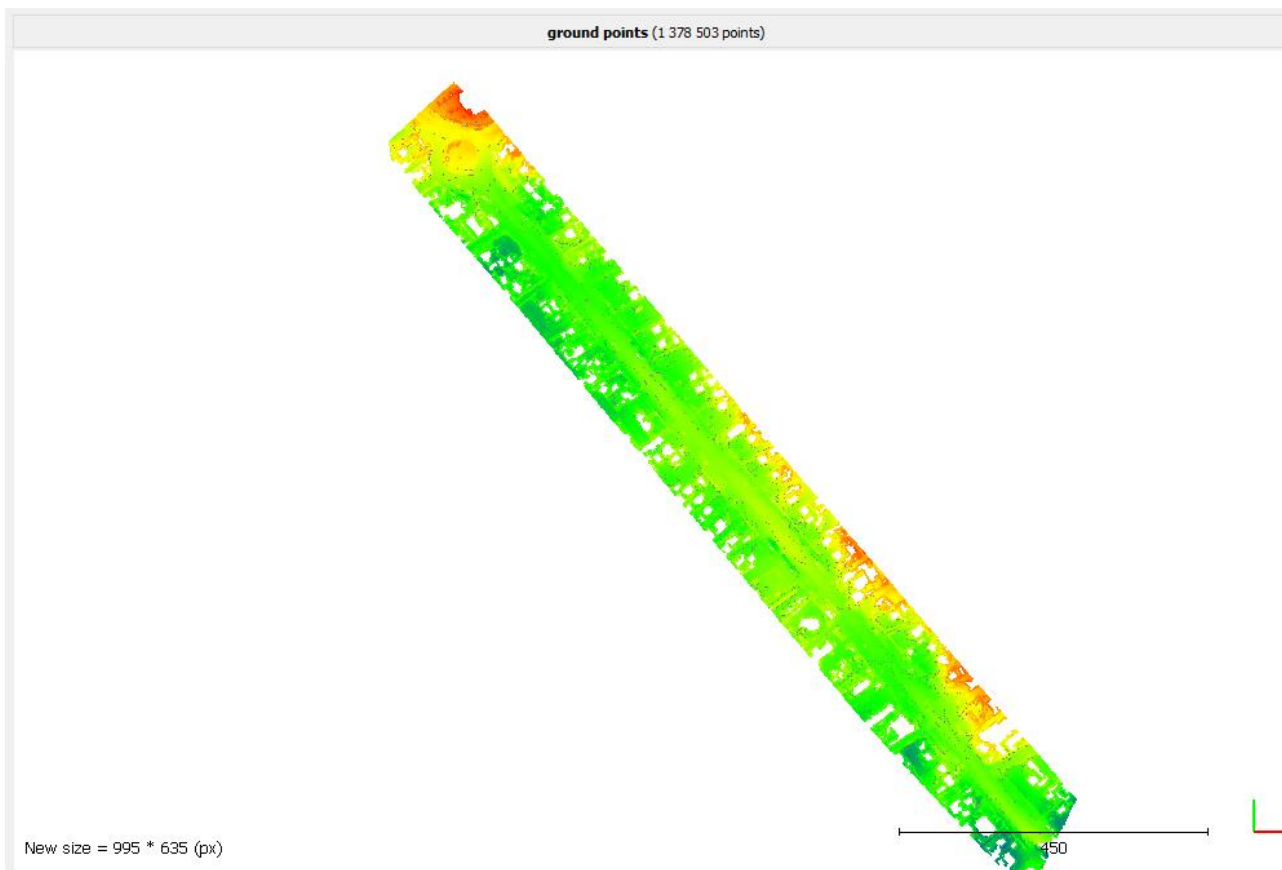


Рис. 3.3.2.5 - Вікно растеризації заданої хмари точок

Далі можна задати крок між горизонталями, початкову висоту їх побудови, та мінімальну кількість вершин, яка має входити до складу однієї горизонталі.



Рис. 3.3.2.6 - Вигляд горизонталей з кроком 0.5м побудованих в «CloudCompare»

В подальшому ці горизонталі можна зберегти в доступному форматі, як для подальшої роботи з ними в ГІС-системах так і САПР-системах. В нашому випадку, використовувалось ПЗ «AutoCAD» для перетворення растрової інформації в векторну.

3.3.3. Векторизація матеріалів аерофотозйомки та даних польових вимірювань у програмному забезпеченні «AutoCAD».

В загальному вигляді подальший процес можна описати таким порядком дії:

1. Імпорт точок тахеометричного та RTK зйомок.
2. Прив'язка ортофотоплану
3. Векторизація ситуації та розміщення топографічних знаків.
4. Аналіз точності та відповідності реальній ситуації

Для пришвидшення процесу камеральної обробки даних, та створення топографічного плану, використовувалось ПЗ «Geonics». Це ПЗ являє собою розширення функціоналу базової версії САПР «AutoCAD», а саме підтримку

топографічних знаків, для М 1:500-1:10000, аналіз поверхонь, створення горизонталей і т.д.

Для створення горизонталей, було завантажено створенні в «CloudCompare» горизонталі, та на їх основі створено поверхню в ПЗ «Geonics». Це було зроблено для полегшення роботи, оскільки горизонталі, створені внутрішніми засобами ПЗ, можна легко аналізувати, та використовувати для побудови точок на цій поверхні.

Для аналізу результатів роботи по створенню топографічного плану з використанням БПЛА, було виконано порівняння цього плану з планом який побудовано на основі GNSS зйомки.

Висновки

За результатами дослідження, проведеного в кваліфікаційній роботі магістра, були зроблені наступні висновки:

1. Топографо-геодезичні роботи для проектування автомобільних доріг регулюють наступні нормативні документи: державні будівельні норми; «інструкцію з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500»; деякі постанови кабінету міністрів України та накази профільного міністерства.
2. Польоти безпілотних ПС організуються та здійснюються згідно з вимогами нормативно-правових актів України у галузі цивільної та державної авіації з дотриманням правил польотів у повітряному просторі України та цих Авіаційних правил. Організацію таких польотів забезпечують користувачі повітряного простору (керівники авіапідприємств, організацій, власники або зовнішні пілоти ПС тощо), що планують або проваджують зазначену діяльність.
3. Точність топографічних планів оцінюється за величинами розходжень положень контурів та висот точок, виміряних на плані з даними контрольних вимірів на місцевості. Критеріями оцінки якості є середні, граничні та грубі похибки, які не повинні перевищувати величини похибок, встановлених Основними положеннями.
4. В сучасних умовах для створення крупно-масштабних топографічних карт та план існують різні методи, які різняться в основному інструментальним використанням, зокрема широкого використання набули такі методи: РТК зйомка; тахеометрична зйомка; аерофотозйомка.
5. Проведено топографо-геодезичні вишукування на ділянці траси М-19 та створено ортофотоплан, цифрову модель рельєфу та топографічний план масштабу 1:500.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» : за станом на 18.04.2021 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
2. Закон України «Про географічні назви» : за станом на 18.04.2021 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2604-15#Text>
3. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» : за станом на 18.04.2021 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/877-16#Text>
4. Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат: Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. N 1259. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF#Text>
5. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” : Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF#Text>
6. Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування : Постанова Кабінету Міністрів України від 4 вересня 2013 р. № 661. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text>
7. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) за топографо-геодезичною і картографічною діяльністю Державною службою з питань геодезії, картографії та кадастру :

Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 765. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/765-2018-%D0%BF#Text>

8. Про затвердження Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України : Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 1999 р. № 1344. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1344-99-%D0%BF#Text>

9. Про Порядок використання апаратури супутникових радіонавігаційних систем під час проведення топографо-геодезичних, картографічних, аерофотознімальних, проектних, дослідницьких робіт і вишукувань та кадастрових зйомок : Постанова Кабінету Міністрів України від 13 липня 1998 р. № 1075. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1075-98-%D0%BF#Text>

10. Про затвердження Порядку охорони геодезичних пунктів : Постанова Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 836. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/836-2017-%D0%BF#Text>

11. Про створення Державного картографо-геодезичного фонду України: Постанова Кабінету Міністрів України від 20 червня 1996 р. N 661. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-96-%D0%BF#Text>

12. Про затвердження Порядку обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 03.11.2014 № 435. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1467-14#Text>

13. Про затвердження Вимог до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від

11.02.2014 № 65. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0395-14#Text>

14. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 02.12.2016 № 509. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text>

15. Про затвердження типових Інформаційних та Технологічних карток адміністративних послуг, які надаються територіальними органами Держгеокадастру: Наказ Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру від 11.08.2017 № 177. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0177877-17#Text>

16. Про затвердження типових Інформаційних та Технологічних карток адміністративних послуг, які надаються Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру: Наказ Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру від 23.10.2017 № 215. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0215877-17#Text>

17. Про затвердження Річного плану здійснення заходів державного нагляду (контролю) Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру на 2021 рік: Наказ Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру від 25.11.2020 № 507. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://land.gov.ua/info/nakaz-derzhheokadastru-vid-25-11-2020-507-pro-zatverdzhennia-richnoho-planu-zdiisnennia-zakhodiv-derzhavnoho-nahliadu-kontroliu-derzhavnoiu-sluzhboiu-ukrainy-z-pytan-heodeziikartohrafiit-ta-kada/>

18. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті

Міністрів України від 09.04.1998 № 56. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>

19. ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві»

20. БЕЗПЛОТНІ ПОВІТРЯНІ СУДНА [Електронний ресурс]. <https://avia.gov.ua/bezpilotni-povitryani-sudna-2/>

21. Основні положення створення топографічних планів масштабів 1: 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 та 1: 500 (Затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 24.01.94 №3)

22. Толстохатько В. А. Конспект лекцій з курсу «Фотограмметрія та дистанційне зондування». Модуль 1: «Фотограмметрія» для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій» / В. А. Толстохатько, В. О. Пеньков; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва імені О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2013. – 91 с.

23. ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ В УКРАЇНІ Ясінський С.П. - студент 2 курсу, напряму підготовки «Геодезія картографія та землеустрій»

24. ПОРЯДОК використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою ЗАТВЕРДЖЕНО Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України 02 грудня 2016 року № 509

25. В. М. Грабовий «Геодезія». Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ. 2004. – 455 с.

26. : Ясінський С.П. «Питання використання систем координат» в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kadastrpdatu.at.ua/publ/novini/pitannja_vikoristannja_sistem_koordinat_v_ukrajini_jasinskij_s_p_student_2_kursu_naprjaju_pidgotovki_geodezija_kartografija_ta_zemleustrij/2-1-0-66.

27. «Технологія виконання топографо-геодезичних робіт з планово-висотної прив'язки аерознімків». [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.avia.org.ua/data/Tehnologia_PVP.pdf
28. Оперативне картографування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ngc.com.ua/ua/info/aerofotosyemka.html>
29. Комбінована засічка [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studopedia.org/8-46503.html>
30. Керівництво користувача Agisoft Metashape Professional Edition, версія 1.5

Д О Д А Т К И

Додаток А

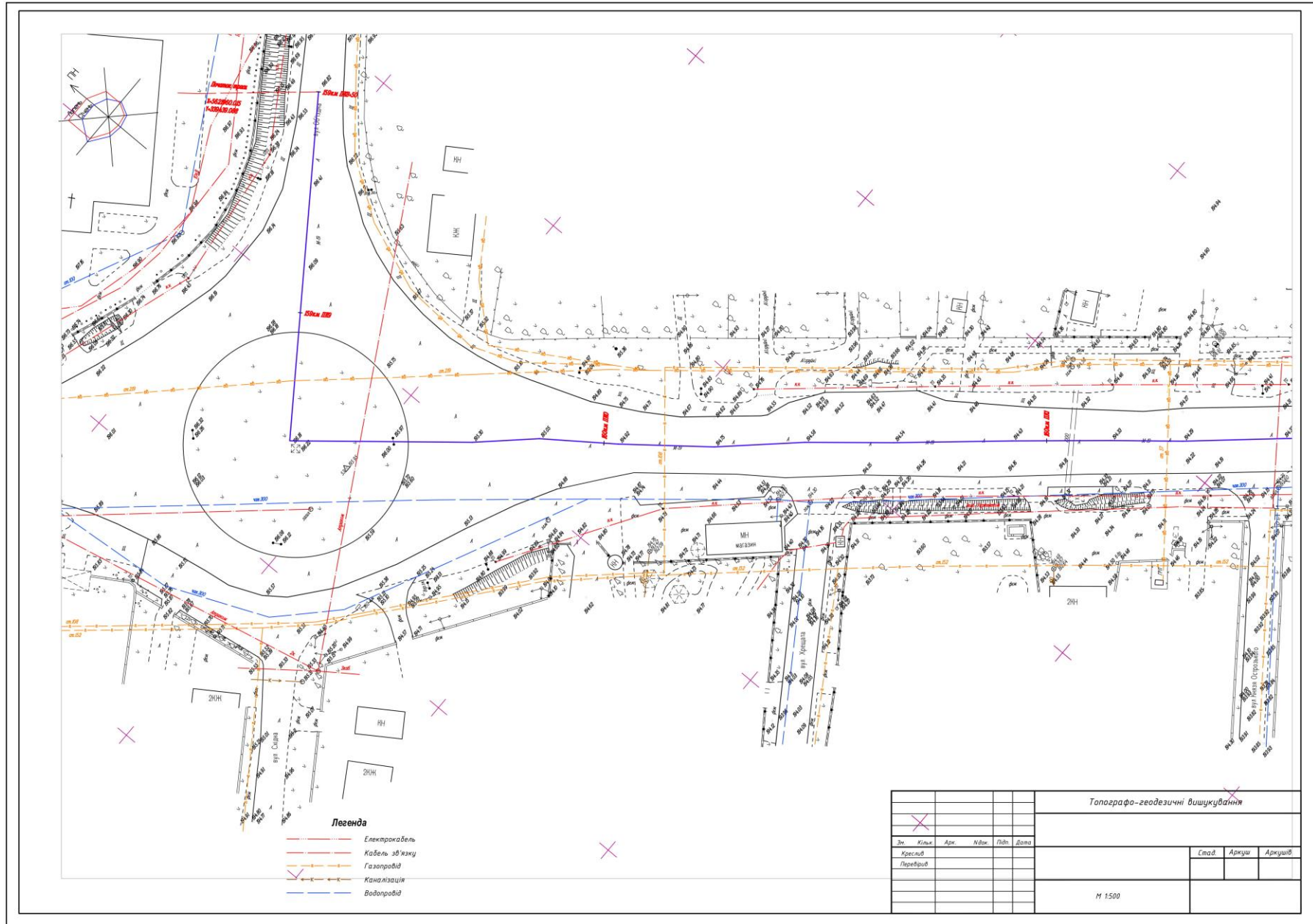


Рис. А.1 - Фрагмент топографічного плану масштабу 1:500



Рис.Б.1 – Фрагмент ортофотоплану автомобільної дороги

