

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА,
ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи бакалавра

на тему: «СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ
МІСТА ПІВДЕННЕ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ»

Виконав: студент 4 курсу групи ГКЗ 2022-1
спеціальності 193 Геодезія та землеустрій
ОП Геодезія, картографія та землеустрій



Георгієв Гліб Дмитрович

Керівник



Нестеренко Сергій Григорович

Рецензент



Афанасьєв Олександр Валерійович

2026 року

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії
Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій
Освітня програма Геодезія, картографія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЗА та ГІС
проф. Мамонов К. А.

 Восстановимая подпись

X 

Подписано: f054cc53-ba06-45d3-8422-a8d59cd399bb




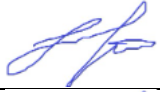


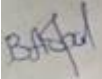
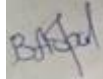
«25» травня 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Георгієв Гліб Дмитрович

1. Тема проекту (роботи): Створення цифрового топографічного плану міста Південне Харківської області
керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент Нестеренко Сергій Григорович,
затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.05.2026 року № 441-03.
2. Строк подання студентом проекту (роботи): 18 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) растрова підоснова, ортофотоплан, результати GNSS-вимірювань, матеріали аерофотознімання території.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) фотограмметричне опрацювання матеріалів аерофотознімання; розробка цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) фрагменти цифрового топографічного плану масштабу 1:2000; результати аналізу та оформлений цифровий топографічний план території.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Нестеренко Сергій Григорович, доцент кафедри ЗА та ГІС		
2	Нестеренко Сергій Григорович, доцент кафедри ЗА та ГІС		
3	Нестеренко Сергій Григорович, доцент кафедри ЗА та ГІС		
4	Абракітов В. Е. доцент кафедри О.П. та БЖД		

7. Дата видачі завдання: 25 травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Формування інформаційної бази	25.05.26	
2.	Розробка та написання першого розділу роботи	03.06.26	
3.	Розробка та написання другого розділу роботи	09.06.26	
4.	Розробка та написання третього розділу роботи	12.06.26	
5.	Розробка та написання розділу з охорони праці	15.06.26	
6.	Оформлення роботи та нормоконтроль	18.06.26	
7.	Попередній захист роботи	21.06.26	
8.	Захист дипломної роботи у ДЕК	25.06.26	

Студент



Георгієв Г. Д.

Керівник проекту (роботи)



Нестеренко С. Г.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 3 табл., 27 рис., 28 джерел, 33 слайдів.

АЕРОФОТОЗНІМАННЯ, ФОТОГРАММЕТРИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ, ЦИФРОВЕ КАРТОГРАФУВАННЯ, РЕЛЬЄФ, ВЕКТОРИЗАЦІЯ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Об'єктом дослідження дипломної роботи є територія міста Південне Харківської області.

Предметом дипломної роботи є технологічні процеси створення цифрових топографічних планів із використанням сучасних геодезичних, фотограмметричних та геоінформаційних технологій.

Мета – створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне Харківської області на основі сучасних геодезичних та фотограмметричних технологій.

Методи дослідження – геодезичних вимірювань, цифрової фотограмметрії, геоінформаційного моделювання, статистичного аналізу, порівняльного аналізу та узагальнення результатів досліджень..

У дипломному проекті було описано процес створення цифрових топографічних планів із використанням сучасного програмного забезпечення.

Практичне значення роботи полягає у створенні актуальної цифрової картографічної основи території міста Південне Харківської області, яка може бути використана для ведення містобудівного та земельного кадастрів, оновлення геопросторових даних, розроблення містобудівної документації, проектування інженерних мереж і споруд, а також для впровадження сучасних геоінформаційних технологій управління територіальним розвитком.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ ТА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ	10
1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку цифрового великомасштабного картографування	10
1.2 Методика збору топографічної інформації із застосуванням безпілотних літальних апаратів.....	13
1.3 Підготовка до аерофотознімання місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСТА ПІВДЕННЕ.....	23
2.1 Виробничий процес створення цифрової моделі місцевості та цифрової моделі рельєфу	23
2.2 Фотограмметричне опрацювання матеріалів аерофотознімання та створення цифрових моделей місцевості	26
2.3 Створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 на основі ортофотоплану	32
3 РОЗРОБЛЕННЯ ЦИФРОВОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСТА ПІВДЕННЕ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	39
3.1 Характеристика вихідних геопросторових даних для створення цифрового топографічного плану.....	39
3.2 Створення цифрового топографічного плану території міста Південне ...	44
3.3 Аналіз змісту та точності цифрового топографічного плану.....	50
3.4 Практичне використання цифрового топографічного плану для задач містобудування та управління територією	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
4.1 Організація безпечних умов праці під час виконання аерофотознімальних та камеральних робіт	58

4.2 Аналіз виробничих небезпек і заходи щодо їх попередження під час створення цифрового топографічного плану.....	61
4.3 Заходи цивільного захисту та дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру	63
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Сучасний розвиток територій населених пунктів неможливий без наявності актуальної геопросторової інформації, яка забезпечує ефективне управління земельними ресурсами, містобудівною діяльністю, інженерною інфраструктурою та об'єктами нерухомості. В умовах цифрової трансформації державного управління особливого значення набуває створення цифрових топографічних планів як базової складової геоінформаційного забезпечення територій.

Великомасштабні цифрові топографічні плани використовуються для розроблення містобудівної документації, проектування та реконструкції об'єктів будівництва, ведення державних кадастрів, управління інженерними мережами, моніторингу земельних ресурсів та забезпечення потреб органів місцевого самоврядування. Вони виступають основою для формування єдиних геоінформаційних ресурсів територіальних громад та забезпечують можливість інтеграції просторових даних у сучасні інформаційні системи.

Особливої актуальності питання створення цифрових топографічних планів набуло після впровадження комплексного планування просторового розвитку територій громад, що потребує використання достовірної та актуальної картографічної основи. Для міст Харківської області наявність сучасних цифрових топографічних матеріалів є необхідною умовою відновлення та подальшого розвитку територій, модернізації інженерної інфраструктури та впровадження сучасних геоінформаційних технологій управління.

Важливою тенденцією останніх років є перехід від традиційних методів топографічного знімання до використання безпілотних літальних апаратів, супутникових технологій позиціонування та автоматизованих програмних комплексів фотограмметричного опрацювання даних. Застосування таких технологій забезпечує високу точність, оперативність отримання інформації та суттєве скорочення витрат на виконання топографо-геодезичних робіт.

Теоретичні та практичні аспекти цифрового картографування, створення геопросторових даних і застосування сучасних геоінформаційних технологій досліджували численні вітчизняні та зарубіжні науковці. Значний внесок у розвиток цифрового топографічного картографування зробили А. Лященко, Ю. Карпінський, В. Глотов, Н. Лазоренко-Гевель, С. Войтенко, К. Третяк, Р. Шульц, С. Перій, К. Кондратенко, А. Вовк та інші дослідники. Окремі питання використання безпілотних літальних апаратів для створення цифрових моделей місцевості та топографічних планів висвітлені у працях І. Колба, І. Гергеля, В. Картунова та інших авторів.

Незважаючи на значну кількість наукових досліджень у сфері цифрового картографування, питання оперативного створення та оновлення великомасштабних топографічних планів із використанням сучасних безпілотних авіаційних систем залишаються актуальними. Постійний розвиток технологій дистанційного зондування Землі, фотограмметричного програмного забезпечення та геоінформаційних систем обумовлює необхідність подальшого вдосконалення методів створення цифрових топографічних планів.

Метою кваліфікаційної роботи є створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне Харківської області на основі сучасних геодезичних та фотограмметричних технологій з формуванням цифрової картографічної основи для подальшого використання у містобудівній діяльності, земельному кадастрі та геоінформаційних системах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку цифрового великомасштабного картографування;
- дослідити методи збору топографічної інформації із застосуванням безпілотних літальних апаратів;
- виконати підготовку та проектування аерофотознімальних робіт;
- здійснити фотограмметричне опрацювання матеріалів аерознімання;
- створити цифрову модель місцевості та цифровий топографічний план території дослідження;

– сформувати базу топографічних даних для подальшого використання в геоінформаційних системах.

Об'єктом дослідження є територія міста Південне Харківської області.

Предметом дослідження є технологічні процеси створення цифрових топографічних планів із використанням сучасних геодезичних, фотограмметричних та геоінформаційних технологій.

Координатною основою робіт є Державна геодезична референтна система координат УСК-2000 та відповідна місцева система координат, що використовується на території Харківської області.

У процесі виконання роботи використано методи геодезичних вимірювань, цифрової фотограмметрії, геоінформаційного моделювання, статистичного аналізу, порівняльного аналізу та узагальнення результатів досліджень.

Практичне значення роботи полягає у створенні актуальної цифрової картографічної основи території міста Південне Харківської області, яка може бути використана для ведення містобудівного та земельного кадастрів, оновлення геопросторових даних, розроблення містобудівної документації, проектування інженерних мереж і споруд, а також для впровадження сучасних геоінформаційних технологій управління територіальним розвитком.

Отримані результати також мають навчально-практичне значення, оскільки дозволяють закріпити теоретичні знання з геодезії, фотограмметрії, дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем, а також набути практичних навичок створення цифрових топографічних планів із використанням сучасного програмного забезпечення.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ ТА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку цифрового великомасштабного картографування

Цифрове великомасштабне картографування є одним із ключових напрямів розвитку сучасної геодезії, картографії та геоінформаційних технологій. В умовах цифрової трансформації суспільства просторові дані стали важливим ресурсом для державного управління, містобудування, земельних відносин, інженерного проектування та моніторингу територій. Саме тому створення актуальних цифрових топографічних планів залишається одним із пріоритетних завдань геодезичної галузі України [1].

Топографічний план являє собою детальне картографічне відображення території у великому масштабі, яке містить інформацію про рельєф місцевості, забудову, транспортну мережу, інженерні комунікації, рослинність, водні об'єкти та інші елементи місцевості. У цифровому форматі такий план перетворюється на структурований набір геопросторових даних, придатний для інтеграції в геоінформаційні системи, автоматизовані кадастрові бази та інформаційно-аналітичні платформи.

Особливого значення цифрові топографічні плани набули після впровадження в Україні концепції Національної інфраструктури геопросторових даних. Відповідно до сучасних підходів топографічний план розглядається не лише як картографічний документ, а як складова комплексної системи геоданих, що забезпечує взаємодію між державними кадастрами, містобудівними реєстрами, земельними інформаційними ресурсами та галузевими геоінформаційними системами [2-3].

У практиці просторового планування територій великомасштабні топографічні плани масштабів 1:500, 1:1000 та 1:2000 є основою для розроблення генеральних планів населених пунктів, детальних планів

територій, комплексних планів просторового розвитку територіальних громад, проєктів землеустрою, реконструкції інженерної інфраструктури та будівництва об'єктів різного функціонального призначення. Особливо важливою є актуальність таких матеріалів для міських територій, де постійно відбуваються зміни забудови, транспортної мережі та інженерних комунікацій.

Протягом останнього десятиліття технології створення цифрових топографічних планів зазнали суттєвих змін. Якщо раніше основним методом отримання геодезичної інформації були традиційні тахеометричні та мензульні знімання, то сьогодні все ширше використовуються супутникові технології позиціонування GNSS, лазерне сканування, безпілотні літальні апарати та автоматизовані фотограмметричні комплекси. Це дозволяє значно скоротити терміни виконання робіт, підвищити точність визначення координат об'єктів та отримувати великі обсяги просторових даних у цифровому вигляді [4].

Сучасне великомасштабне картографування базується на використанні цифрових моделей місцевості та цифрових моделей рельєфу. Цифрова модель місцевості відображає сукупність природних і антропогенних об'єктів території, тоді як цифрова модель рельєфу містить інформацію про висотне положення земної поверхні. Саме на основі цих моделей здійснюється побудова цифрових топографічних планів, ортофотопланів та тривимірних геопросторових моделей.

Одним із найбільш динамічних напрямів розвитку сучасного картографування є використання безпілотних літальних апаратів. Технології аерофотознімання з БПЛА забезпечують отримання зображень надвисокої просторової роздільної здатності, що дозволяє створювати топографічні плани масштабів 1:500 та 1:2000 із точністю, яка відповідає нормативним вимогам. Перевагами використання безпілотних авіаційних систем є оперативність виконання робіт, можливість багаторазового моніторингу території, висока деталізація результатів та відносно низька вартість у порівнянні з традиційним пілотованим аерозніманням.

Важливою тенденцією останніх років є перехід від окремих картографічних продуктів до формування інтегрованих геопросторових баз даних. У такому підході кожен об'єкт місцевості описується не лише графічним зображенням, а й набором атрибутивних характеристик. Це дозволяє використовувати результати топографічного знімання для виконання просторового аналізу, моделювання територіального розвитку, управління інженерною інфраструктурою та підтримки прийняття управлінських рішень.

Суттєвий вплив на розвиток цифрового картографування мають міжнародні стандарти серії ISO 19100, специфікації Open Geospatial Consortium (OGC), директива INSPIRE та нормативні документи Національної інфраструктури геопросторових даних України. Їх застосування забезпечує сумісність геопросторових даних, можливість обміну інформацією між різними інформаційними системами та інтеграцію українських геоданих у міжнародний геоінформаційний простір [5-6].

Сьогодні одним із головних завдань геодезичної галузі є забезпечення регулярного оновлення великомасштабних топографічних планів. Особливо актуальним це питання є для міських територій, де інтенсивність змін забудови значно перевищує темпи оновлення картографічної документації. У зв'язку з цим сучасні технології оперативного картографування на основі GNSS-вимірювань, безпілотного аерофотознімання та автоматизованої фотограмметричної обробки даних стають основним інструментом формування актуальної цифрової картографічної основи.

Таким чином, розвиток цифрового великомасштабного картографування характеризується переходом від традиційних картографічних матеріалів до комплексних геоінформаційних ресурсів, широким впровадженням технологій безпілотного аерознімання, використанням супутникових систем позиціонування та інтеграцією геопросторових даних у єдине інформаційне середовище. Саме ці тенденції визначають сучасні підходи до створення цифрового топографічного плану міста Південне Харківської області та формують методичну основу даного дослідження.

1.2 Методика збору топографічної інформації із застосуванням безпілотних літальних апаратів

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку сучасних топографо-геодезичних робіт є використання безпілотних літальних апаратів для отримання просторових даних. Швидкий розвиток цифрових технологій, удосконалення навігаційного обладнання та фотограмметричного програмного забезпечення сприяли широкому впровадженню БПЛА у сферу великомасштабного картографування. На сьогодні аерофотознімання з використанням безпілотних авіаційних систем є ефективним інструментом створення цифрових моделей місцевості, ортофотопланів та топографічних планів великих масштабів [1].

Відповідно до чинних нормативних документів України топографічні знімання можуть виконуватися наземними, аерофототопографічними та комбінованими методами [2]. Водночас сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій свідчать про поступове збільшення частки дистанційних методів збору просторової інформації. До таких методів належать аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів, авіаційне лазерне сканування та супутникові методи дистанційного зондування Землі [3].

Безпілотний літальний апарат являє собою повітряне судно, яке виконує політ без екіпажу на борту та керується автоматизованою системою або оператором дистанційно. У геодезичній практиці БПЛА використовуються як носії цифрових камер, мультиспектральних сенсорів, тепловізійних систем та лазерних сканерів. Основним завданням таких платформ є оперативне отримання високоточних геопросторових даних для подальшого фотограмметричного опрацювання [4].

Широке впровадження безпілотних технологій пояснюється низкою переваг у порівнянні з традиційними методами аерознімання. Насамперед це можливість отримання наддетальних цифрових зображень із просторовою роздільною здатністю від кількох сантиметрів на піксель. Для створення

топографічних планів масштабу 1:2000 така деталізація дозволяє впевнено ідентифікувати елементи забудови, дорожню мережу, інженерні комунікації та інші об'єкти місцевості [5].

Важливою перевагою безпілотних систем є висока оперативність виконання робіт. За сприятливих погодних умов аерофотознімання території населеного пункту площею кілька квадратних кілометрів може бути виконане протягом одного робочого дня. Отримані матеріали практично відразу передаються на камеральне опрацювання, що суттєво скорочує терміни створення картографічної продукції.

Загальну структуру технологічного процесу отримання топографічної інформації із застосуванням безпілотних літальних апаратів наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Основні етапи збору топографічної інформації з використанням БПЛА

Технологія аерофотознімання включає підготовчий, польовий та камеральний етапи. На підготовчому етапі виконується аналіз території дослідження, визначаються вимоги до точності майбутнього топографічного плану, здійснюється вибір типу безпілотного літального апарата та фотограмметричного обладнання. Додатково проводиться планування маршрутів польоту та розрахунок параметрів аерознімання [6].

Польовий етап передбачає створення планово-висотного обґрунтування, закладання та визначення координат опорних точок, виконання аерофотознімання і первинний контроль якості отриманих матеріалів. Для забезпечення нормативної точності топографічних планів використовуються GNSS-приймачі геодезичного класу точності, що працюють у режимах RTK або PPK [7].

Після завершення польових робіт розпочинається камеральний етап, який включає фотограмметричне опрацювання аерофотознімків, побудову цифрової моделі місцевості, формування цифрової моделі рельєфу, створення ортофотоплану та подальшу векторизацію об'єктів місцевості. На основі отриманих матеріалів створюється цифровий топографічний план відповідного масштабу.

Якість результатів аерофотознімання значною мірою залежить від правильно вибраних параметрів польоту. До основних параметрів належать висота польоту, швидкість руху БПЛА, величина поздовжнього та поперечного перекриття знімків, фокусна відстань об'єктива та просторова роздільна здатність зображень. Для створення топографічних планів масштабу 1:2000 рекомендується забезпечувати поздовжнє перекриття на рівні 75–85 %, а поперечне – не менше 60–70 % [8].

Типову схему організації маршрутів аерофотознімання наведено на рисунку 1.2.

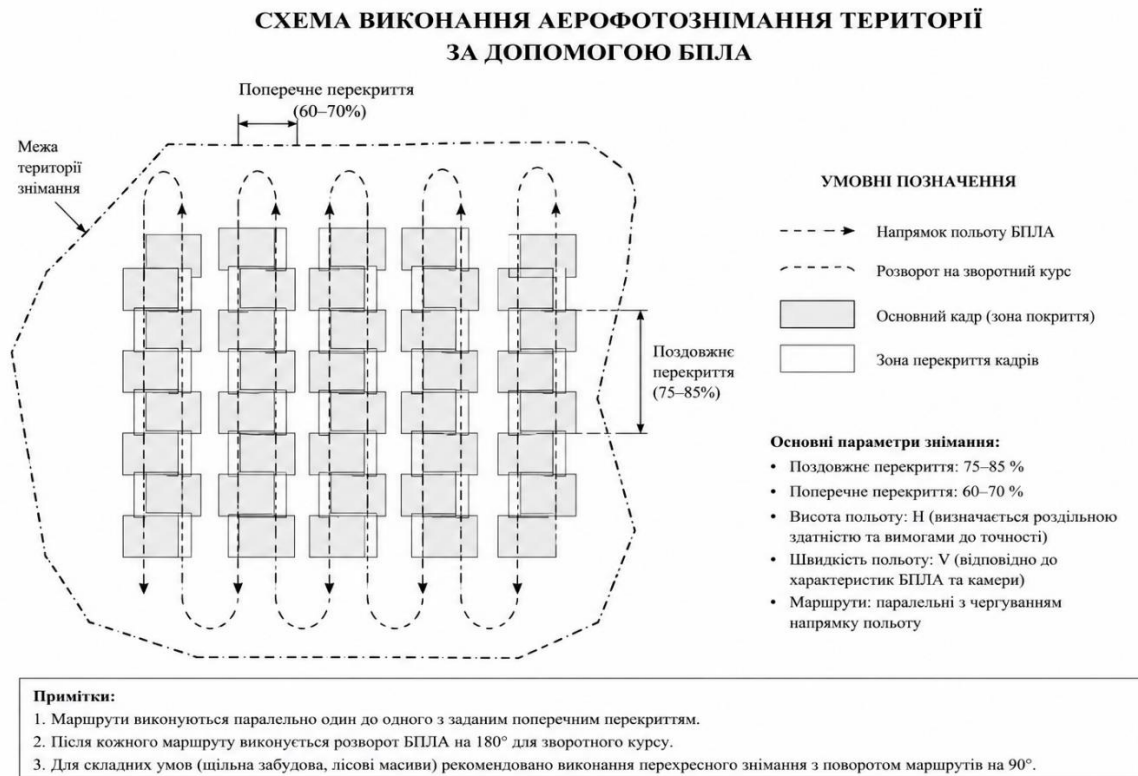


Рисунок 1.2 – Схема виконання аерофотознімання території за допомогою БПЛА

У межах міських територій, де присутня щільна забудова та значна кількість вертикальних об'єктів, доцільним є використання перехресних маршрутів польоту. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив затінених ділянок, підвищити якість побудови тривимірної моделі місцевості та забезпечити більш точне визначення координат об'єктів.

Незважаючи на численні переваги, використання БПЛА має певні технічні обмеження. На якість матеріалів можуть впливати погодні умови, пориви вітру, нестабільність польоту, точність навігаційного обладнання та характеристики фотокамери. Особливе значення має точність визначення елементів зовнішнього орієнтування аерознімків, оскільки саме вона впливає на якість побудови фотограмметричних моделей [9].

Сучасні безпілотні комплекси обладнуються високоточними GNSS-приймачами та інерціальними навігаційними системами. Використання технологій RTK та PPK дозволяє визначати координати центрів

фотографування з точністю до кількох сантиметрів, що суттєво зменшує кількість необхідних наземних опорних точок і підвищує ефективність польових робіт [10].

Система параметрів, що визначають ефективність аерофотознімання, включає характеристики камери, параметри польоту, особливості місцевості та вимоги до майбутньої картографічної продукції. Взаємозв'язок зазначених складових наведено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Структура основних параметрів аерофотознімальної системи

Таким чином, застосування безпілотних літальних апаратів дозволяє забезпечити оперативний збір високоточних просторових даних, необхідних для створення цифрових топографічних планів великих масштабів. Поєднання сучасних БПЛА, супутникових технологій позиціонування та цифрової фотограмметрії створює ефективне технологічне середовище для виконання топографо-геодезичних робіт на території міста Південне Харківської області.

1.3 Підготовка до аерофотознімання місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів

Якість цифрового топографічного плану значною мірою визначається правильністю виконання підготовчих робіт до аерофотознімання. Саме на цьому етапі здійснюється вибір технічних засобів, визначення параметрів польоту, розрахунок характеристик знімальної системи та проектування майбутньої аерозйомки. Помилки, допущені під час підготовки, можуть призвести до погіршення точності кінцевих результатів, збільшення витрат часу на польові роботи та необхідності повторного виконання аерознімання [11].

Підготовка до аерофотознімання території за допомогою безпілотних літальних апаратів включає декілька взаємопов'язаних етапів:

- вибір безпілотної авіаційної платформи та аерофотознімального обладнання;
- аналіз території майбутнього знімання;
- визначення необхідної точності та масштабу топографічного плану;
- розрахунок параметрів аерофотознімання;
- проектування маршрутів польоту;
- підготовку геодезичної основи;
- оцінку якості отриманих матеріалів після завершення польотів [12].

Одним із найважливіших завдань підготовчого етапу є вибір цифрової камери. Саме її технічні характеристики визначають якість отриманих аерофотознімків та можливість створення топографічних планів необхідного масштабу. При виконанні великомасштабного картографування особливу увагу приділяють розміру матриці, фокусній відстані об'єктива, фізичному розміру пікселя, світлосилі оптичної системи, геометричній стабільності камери та її масі [13].

Для виконання фотограмметричних робіт найбільш придатними є цифрові камери з можливістю ручного налаштування параметрів експозиції та фокусування. Важливою вимогою є фіксація фокусування на нескінченність

протягом усього польоту, що дозволяє уникнути зміни внутрішнього орієнтування знімальної системи. Крім того, камера повинна забезпечувати високу роздільну здатність та мінімальний рівень геометричних спотворень зображення.

Основні характеристики сучасних цифрових камер, що можуть використовуватись для аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики цифрових камер для аерофотознімання

Назва камери	Роздільна здатність, пкс	Розмір матриці, мм	Розмір пікселя, мкм	Фокусна відстань, мм	Світлосила	Маса, г
DJI Zenmuse P1	8192 × 5460	35,9 × 24,0	4,4	35	f/2.8	800
DJI Zenmuse X7	6016 × 4008	23,5 × 15,7	3,9	24	f/2.8	449
Sony Alpha A6000	6000 × 4000	23,5 × 15,6	3,9	20	f/2.8	344
Sony Alpha A7R IV	9504 × 6336	35,7 × 23,8	3,76	35	f/2.8	665
DJI Mavic 3 Enterprise	5280 × 3956	17,3 × 13,0	3,3	24	f/2.8	915*
DJI Phantom 4 RTK	5472 × 3648	13,2 × 8,8	2,4	8,8	f/2.8	1391*
DJI Matrice 4E	8064 × 6048	17,3 × 13,0	3,3	24	f/2.8	420**

* Маса вказана разом із інтегрованою камерою.

** Маса камери без підвісу.

Після вибору фотокамери виконується розрахунок основних параметрів аерофотознімання. Насамперед визначається максимально допустима висота польоту, яка забезпечує отримання зображень із необхідною просторовою роздільною здатністю. Відомо, що для створення топографічного плану масштабу 1:2000 величина проєкції одного пікселя на місцевості повинна відповідати вимогам нормативних документів щодо точності відображення об'єктів ситуації та рельєфу [14].

Залежність між параметрами фотокамери, висотою польоту та розміром пікселя на місцевості наведено на рисунку 1.4.

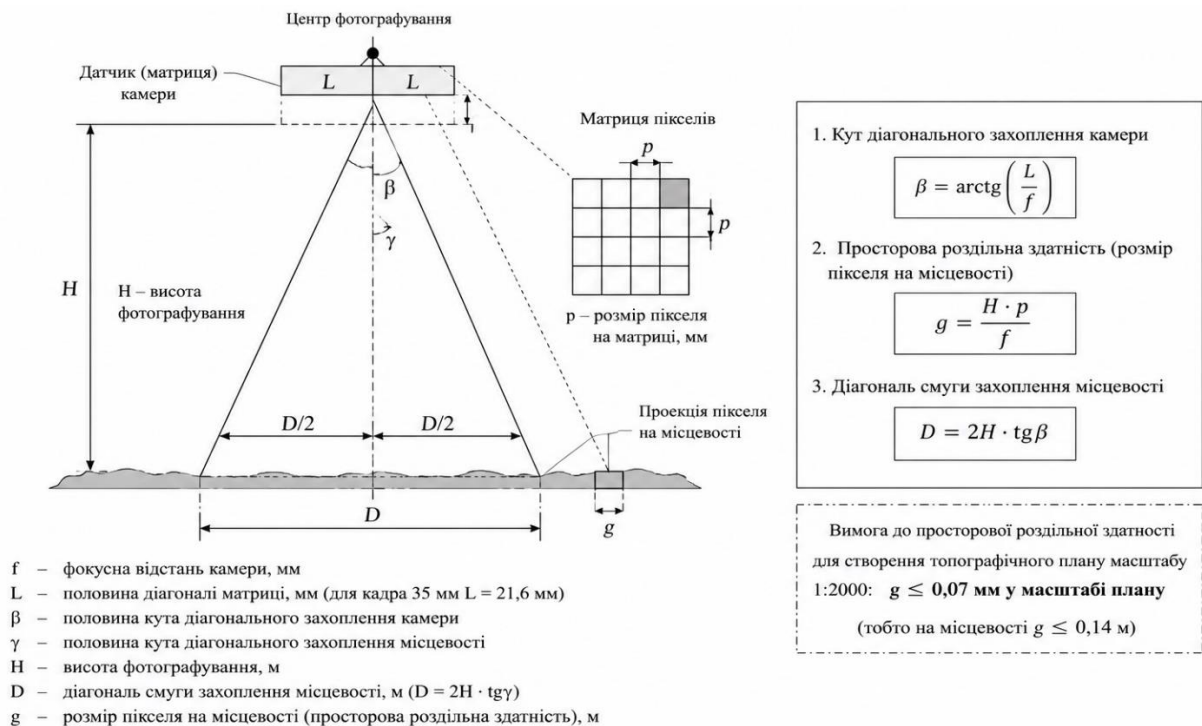


Рисунок 1.4 – Взаємозв'язок параметрів фотокамери та просторової роздільної здатності аерофотознімання

При проєктуванні аерофотознімання визначаються основні геометричні параметри польоту: висота фотографування, ширина смуги захоплення місцевості, відстань між маршрутами та інтервал між сусідніми центрами фотографування. Розрахунок цих параметрів здійснюється з урахуванням характеристик фотокамери, масштабу майбутнього топографічного плану та вимог до взаємного перекриття знімків [15].

Одним із ключових параметрів є поперечне та поздовжнє перекриття кадрів. Для великомасштабного картографування територій населених пунктів рекомендується забезпечувати поздовжнє перекриття на рівні 80 %, а поперечне — не менше 60 %. Такі значення створюють оптимальні умови для автоматичного пошуку зв'язкових точок і побудови фотограмметричної моделі місцевості [16].

Під час планування польотів необхідно враховувати можливі відхилення безпілотного літального апарата від проектної траєкторії. Такі відхилення можуть виникати під впливом поривів вітру, похибок навігаційної системи та особливостей роботи автопілота. Для забезпечення гарантованого перекриття аерофотознімків між маршрутами закладається додатковий запас ширини покриття території.

Важливим елементом підготовчих робіт є створення планово-висотної основи. Залежно від технічного оснащення безпілотного комплексу можуть використовуватися різні схеми геодезичного забезпечення. У разі застосування технологій RTK або РРК кількість наземних опорних точок значно скорочується. За відсутності високоточного супутникового позиціонування необхідно створювати густішу мережу опорних пунктів для забезпечення нормативної точності фотограмметричних побудов [17].

На завершальному етапі підготовки формується проєкт польотного завдання. Він містить інформацію про конфігурацію території знімання, параметри польоту, висоту фотографування, напрямки маршрутів, точки зльоту та посадки безпілотного літального апарата, а також вимоги до якості отриманих матеріалів.

Для оцінки продуктивності аерофотознімання та вибору оптимальної конфігурації обладнання виконуються попередні розрахунки висоти польоту, відстані між маршрутами та необхідної кількості знімків. Приклад результатів таких розрахунків для створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 наведено в таблиці 1.2.

Таким чином, підготовка до аерофотознімання є одним із найвідповідальніших етапів технологічного процесу створення цифрового топографічного плану.

Таблиця 1.2 – Орієнтовні параметри аерофотознімання для створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000

Назва камери	Робоча висота фотографування, м	Відстань між маршрутами, м	Відстань між центрами фотографування на маршруті, м	Орієнтовна кількість знімків на 1 км ²
DJI Zenmuse P1 (35 мм)	320	180	145	65
DJI Zenmuse X7	260	135	115	95
Sony Alpha A6000	250	130	110	100
Sony Alpha A7R IV	380	220	180	50
DJI Mavic 3 Enterprise	180	95	80	180
DJI Phantom 4 RTK	150	80	65	230
DJI Matrice 4E	220	120	100	120

Правильний вибір обладнання, обґрунтований розрахунок параметрів польоту та якісне проектування аерофотознімання забезпечують отримання матеріалів, придатних для подальшого фотограмметричного опрацювання та формування високоточної цифрової картографічної основи території міста Південне Харківської області.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСТА ПІВДЕННЕ

2.1 Виробничий процес створення цифрової моделі місцевості та цифрової моделі рельєфу

Створення цифрової моделі місцевості (ЦММ) та цифрової моделі рельєфу (ЦМР) є одним із ключових етапів формування цифрового топографічного плану. Саме результати фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання забезпечують отримання просторових даних, необхідних для подальшого картографування території, побудови ортофотопланів, тривимірних моделей та формування геоінформаційних ресурсів. Сучасні технології цифрової фотограмметрії дозволяють автоматизувати більшість етапів оброблення аерофотознімків, забезпечуючи високу точність та продуктивність робіт [19].

Виробничий процес створення цифрових моделей місцевості базується на послідовному виконанні комплексу фотограмметричних операцій, починаючи від обробки первинних аерофотознімків і закінчуючи формуванням готових геопросторових продуктів. Загальна схема такого процесу включає:

- формування блоку аерофотознімків та навігаційних даних;
- визначення параметрів внутрішнього орієнтування цифрової камери;
- автоматизований пошук зв'язкових точок між суміжними знімками;
- виконання взаємного та зовнішнього орієнтування зображень;
- побудову мережі фотограмметричної тріангуляції;
- створення щільної хмари точок;
- формування цифрової моделі поверхні;
- побудову цифрової моделі рельєфу;
- створення ортофотоплану;
- побудову цифрової моделі місцевості та тематичних геопросторових шарів [20].

Для фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання сьогодні використовуються сучасні програмні комплекси, зокрема Pix4Dmatic, Pix4Dsurvey, RealityCapture, Bentley ContextCapture, Trimble Inpho, DJI Terra, ArcGIS Drone2Map, OpenDroneMap та інші системи цифрової фотограмметрії [21]. Застосування таких програмних продуктів дозволяє автоматизувати значну частину виробничих процесів та скоротити час створення цифрових моделей території.

У результаті фотограмметричного опрацювання можуть бути сформовані різноманітні геопросторові продукти, які використовуються на різних етапах створення цифрового топографічного плану:

- параметри внутрішнього та зовнішнього орієнтування камер;
- геоприв'язані аерофотознімки;
- щільна хмара точок;
- цифрова модель поверхні (DSM);
- цифрова модель рельєфу (DTM);
- ортофотоплан території;
- тривимірна текстурована модель місцевості;
- горизонталі рельєфу;
- цифрові векторні шари ситуації;
- тривимірні об'єкти забудови та інфраструктури [22].

Одним із найвідповідальніших етапів є фотограмметричне зрівнювання блоку аерофотознімків. Для його виконання використовуються координати наземних опорних точок та результати GNSS-вимірювань центрів фотографування. У процесі зрівнювання визначаються уточнені параметри орієнтування кожного знімка та оцінюється точність фотограмметричної мережі. Основним показником якості є середньоквадратична похибка визначення координат контрольних точок, яка повинна відповідати вимогам до створення топографічних планів масштабу 1:2000 [23].

Після завершення фототріангуляції формується щільна хмара точок, яка містить просторові координати мільйонів точок поверхні місцевості. На основі

цієї хмари виконується побудова цифрової моделі поверхні, яка відображає всі об'єкти, розташовані на території знімання, включаючи будівлі, споруди, дерева та інші елементи середовища.

Для створення цифрової моделі рельєфу проводиться класифікація точок хмари та відокремлення точок земної поверхні від точок, що належать штучним або природним об'єктам. У результаті формується цифрова модель рельєфу, яка відображає виключно рельєф місцевості без урахування забудови та рослинності [24].

Наступним етапом є створення ортофотоплану. Ортотрансформування аерофотознімків виконується із використанням побудованої цифрової моделі рельєфу та параметрів орієнтування камер. Отриманий ортофотоплан має єдину систему координат та позбавлений перспективних спотворень, що дозволяє використовувати його як картографічну основу для подальшої векторизації об'єктів місцевості.

На завершальному етапі створюється цифрова модель місцевості, яка являє собою комплекс взаємопов'язаних просторових даних про рельєф, забудову, транспортну мережу, інженерні комунікації, гідрографію та інші об'єкти території. Саме цифрова модель місцевості використовується як основа для створення цифрового топографічного плану та подальшого ведення геоінформаційних систем [25].

Деталізовану послідовність виконання робіт зі створення цифрової моделі місцевості та цифрової моделі рельєфу наведено в таблиці 2.1.

Таким чином, сучасний виробничий процес створення цифрових моделей місцевості та рельєфу базується на комплексному використанні безпілотних авіаційних систем, GNSS-технологій та цифрової фотограмметрії. Автоматизація більшості технологічних операцій дозволяє забезпечити високу точність геопросторових даних та ефективно створювати цифрові топографічні плани масштабу 1:2000 для території міста Південне Харківської області.

Таблиця 2.1 – Виробничий процес створення цифрової моделі місцевості та цифрової моделі рельєфу

№	Етап робіт	Виконавець	Вхідні дані	Результат
1	Завантаження матеріалів аерофотознімання	Оператор БПЛА	Аерофотознімки, журнали польотів, GNSS-дані	Підготовлений набір вихідних даних
2	Формування фотограмметричного проєкту	Інженер-фотограмметрист	Геоприв'язані аерофотознімки	Створений проєкт обробки
3	Автоматичне вирівнювання аерофотознімків	Інженер-фотограмметрист	Фотограмметричний проєкт	Розраховані параметри орієнтування
4	Прив'язка за опорними точками	Інженер-фотограмметрист	Дані GNSS та опорних пунктів	Зрівняна фотограмметрична мережа
5	Побудова щільної хмари точок	Інженер-фотограмметрист	Орієнтований блок знімків	Щільна хмара точок
6	Класифікація точок	Інженер-фотограмметрист	Хмара точок	Класифікована хмара точок
7	Створення цифрової моделі поверхні (DSM)	Інженер-фотограмметрист	Класифікована хмара точок	DSM
8	Створення цифрової моделі рельєфу (DTM)	Інженер-фотограмметрист	DSM та точки рельєфу	DTM
9	Формування ортофотоплану	Інженер-фотограмметрист	DTM та аерофотознімки	Ортофотоплан
10	Векторизація об'єктів місцевості	Інженер-фотограмметрист	Ортофотоплан	Векторні шари ситуації
11	Створення цифрової моделі місцевості	Інженер-фотограмметрист	Векторні дані та DTM	Цифрова модель місцевості
12	Експорт результатів	Інженер-фотограмметрист	ЦММ та ЦМР	Файли форматів GeoTIFF, LAS, DXF, SHP, GPKG

2.2 Фотограмметричне опрацювання матеріалів аерофотознімання та створення цифрових моделей місцевості

Після завершення аерофотознімальних робіт наступним етапом створення цифрового топографічного плану є фотограмметричне опрацювання отриманих

матеріалів. Саме на цьому етапі окремі аерофотознімки перетворюються на геопросторові дані, придатні для побудови цифрової моделі місцевості, цифрової моделі рельєфу, ортофотопланів та інших картографічних продуктів. Сучасні технології цифрової фотограмметрії дозволяють автоматизувати значну частину цього процесу, забезпечуючи високу точність і швидкість отримання результатів [26].

Для оброблення матеріалів аерофотознімання, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, сьогодні використовуються різноманітні програмні комплекси цифрової фотограмметрії. Найбільш поширеними серед них є Pix4Dmatic, Pix4Dsurvey, DJI Terra, RealityCapture, Bentley ContextCapture, ArcGIS Drone2Map, OpenDroneMap, Trimble Inpho та інші спеціалізовані програмні продукти [27]. Вони реалізують сучасні алгоритми фотограмметричного опрацювання, побудови тривимірних моделей та автоматичного створення геопросторових даних.

Основою більшості сучасних програмних комплексів є методика Structure from Motion (SfM), яка дозволяє відновлювати просторову структуру місцевості на основі набору взаємно перекривних цифрових знімків. Алгоритми SfM автоматично знаходять однакові об'єкти на сусідніх фотографіях, визначають їх взаємне положення та формують просторову модель території [28].

Загальний технологічний процес фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання наведено на рисунку 2.1.

Першим етапом обробки є імпорт аерофотознімків та навігаційних даних. До програмного середовища завантажуються цифрові фотографії, координати центрів фотографування, журнали польотів та результати геодезичних вимірювань опорних точок. На основі цих даних формується фотограмметричний проєкт, який використовується для подальших розрахунків.

Після створення проєкту виконується автоматичний пошук зв'язкових точок між суміжними аерофотознімками. Програмне забезпечення аналізує характерні елементи зображень та визначає їх просторові відповідності. На

основі знайдених зв'язкових точок здійснюється взаємне орієнтування аерофотознімків та побудова фотограмметричної мережі.

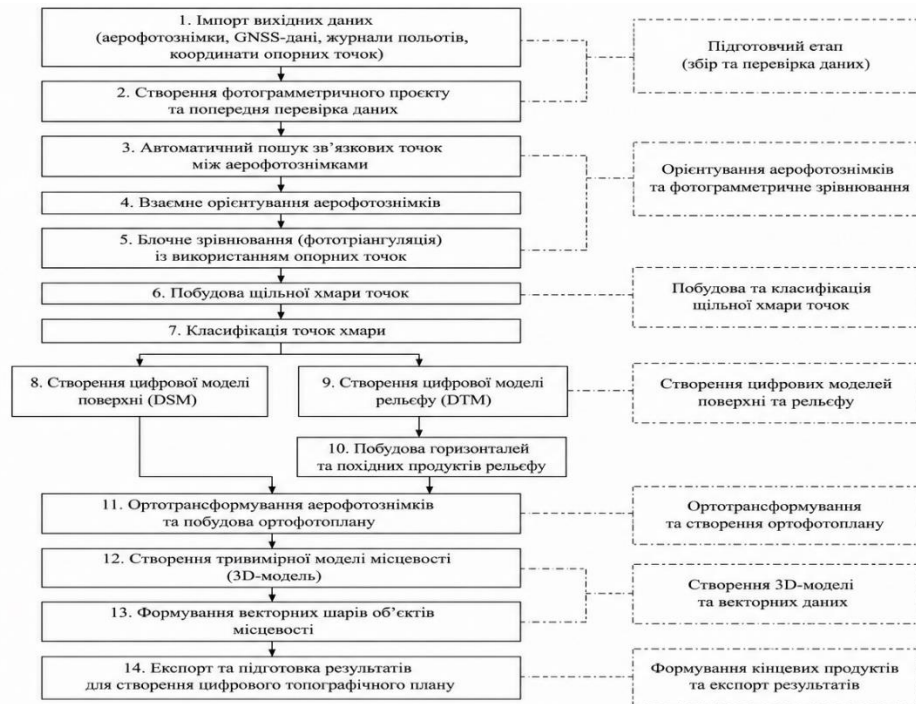


Рисунок 2.1 – Технологічна схема фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання

Наступним етапом є блочне зрівнювання аерофотознімків із використанням координат наземних опорних точок. У результаті цього процесу уточнюються параметри зовнішнього орієнтування кожного знімка та визначається точність фотограмметричної мережі. Для оцінки якості зрівнювання використовуються значення середньоквадратичних похибок та залишкових нев'язок контрольних точок.

Результатом фототріангуляції є орієнтований блок аерофотознімків, на основі якого виконується побудова щільної хмари точок. Щільна хмара точок являє собою набір просторових координат, що описують поверхню місцевості з високою деталізацією. Кожна точка містить координати X , Y та Z , а також інформацію про колір відповідного елемента поверхні.

Приклад структури щільної хмари точок наведено на рисунку 2.2.

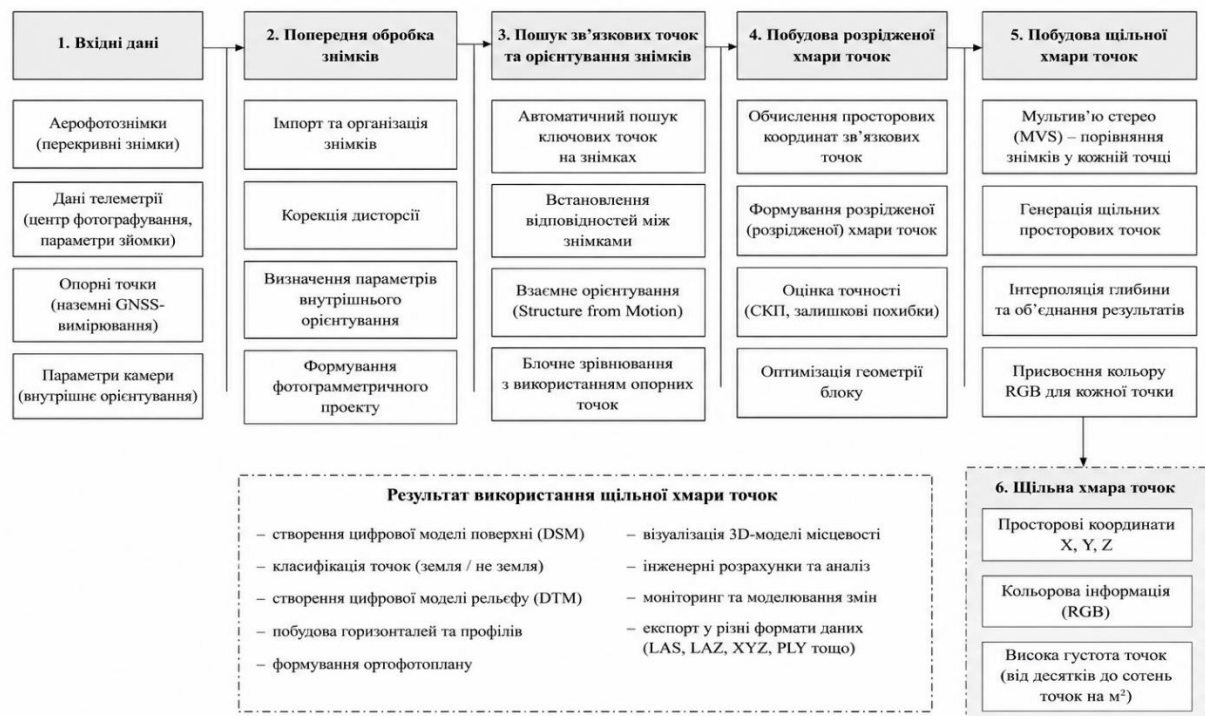


Рисунок 2.2 – Формування щільної хмари точок за результатами фотограмметричного опрацювання

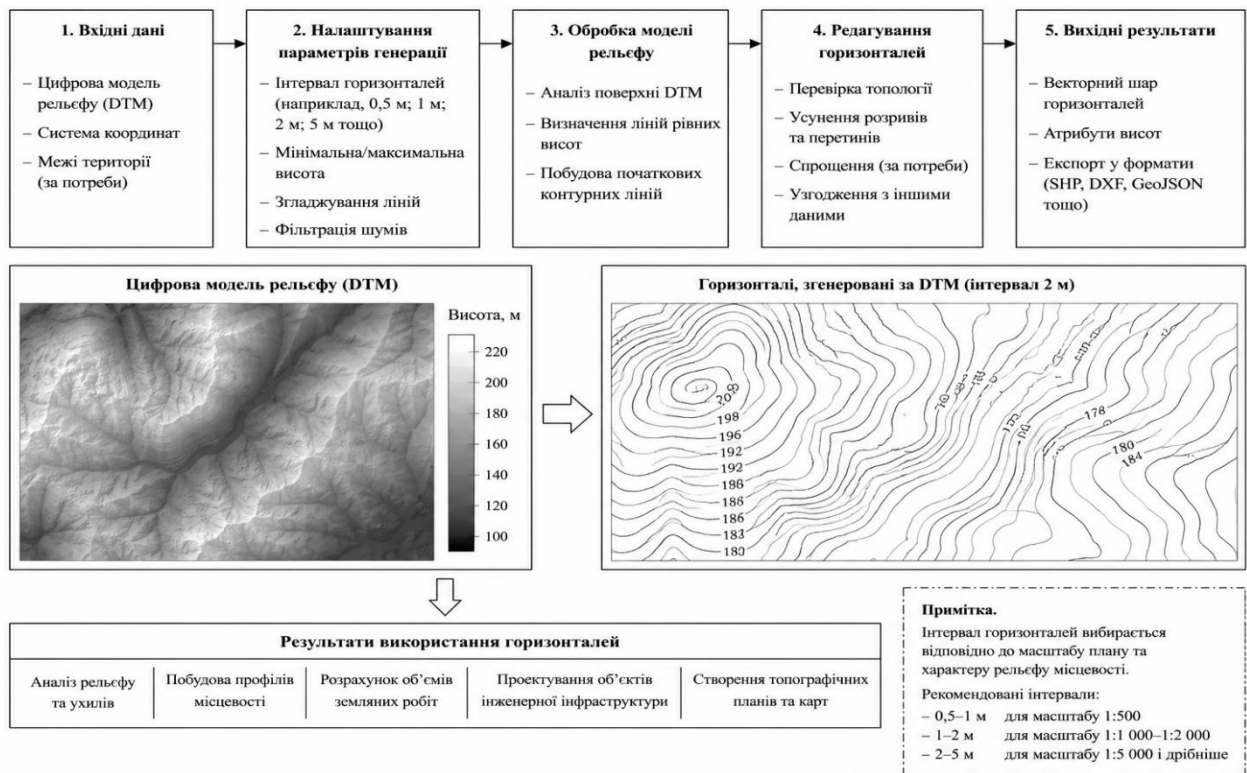
Одним із найважливіших етапів подальшої обробки є класифікація точок. На цьому етапі всі точки поділяються на окремі категорії залежно від типу об'єкта, якому вони належать. Найчастіше виділяються такі класи:

- земна поверхня;
- будівлі та споруди;
- рослинність;
- транспортна інфраструктура;
- інженерні об'єкти;
- інші елементи місцевості.

Особливе значення має виділення точок класу «земля», оскільки саме вони використовуються для побудови цифрової моделі рельєфу. Автоматичні алгоритми класифікації враховують висотні характеристики, локальні ухили поверхні та просторові взаємозв'язки між сусідніми точками.

Після завершення класифікації формується цифрова модель поверхні (DSM), яка містить інформацію про всі об'єкти, розташовані на території дослідження. На відміну від неї цифрова модель рельєфу (DTM) формується лише за точками класу «земля» і відображає природну форму земної поверхні без забудови та рослинності.

На основі цифрової моделі рельєфу можуть автоматично створюватися горизонталі, профілі місцевості та інші похідні картографічні матеріали. Приклад побудови горизонталей рельєфу наведено на рисунку 2.3.



Рисунк 2.3 – Формування горизонталей за цифровою моделлю рельєфу

Наступним етапом є ортотрансформування аерофотознімків. У процесі ортотрансформування усуваються перспективні та рельєфні спотворення зображень, після чого виконується автоматичне зшивання окремих кадрів у єдиний ортофотоплан. Отримане зображення має єдину систему координат та може використовуватися як картографічна основа для подальшого створення цифрового топографічного плану.

Окрім двовимірних картографічних продуктів сучасні програмні комплекси дозволяють створювати тривимірні моделі місцевості. Такі моделі формуються у вигляді текстурованих полігональних поверхонь та використовуються для візуалізації території, аналізу забудови, оцінки рельєфу та виконання інженерних розрахунків.

Важливою тенденцією сучасної фотограмметрії є автоматизація виробничих процесів. Більшість операцій можуть виконуватися у напівавтоматичному або повністю автоматизованому режимі, що суттєво скорочує тривалість обробки великих масивів аерофотознімків. Використання сценаріїв автоматичної обробки дозволяє стандартизувати процес створення геопросторових даних та зменшити вплив людського фактору на кінцевий результат.

Приклад автоматизованого робочого процесу фотограмметричного опрацювання наведено на рисунку 2.4.

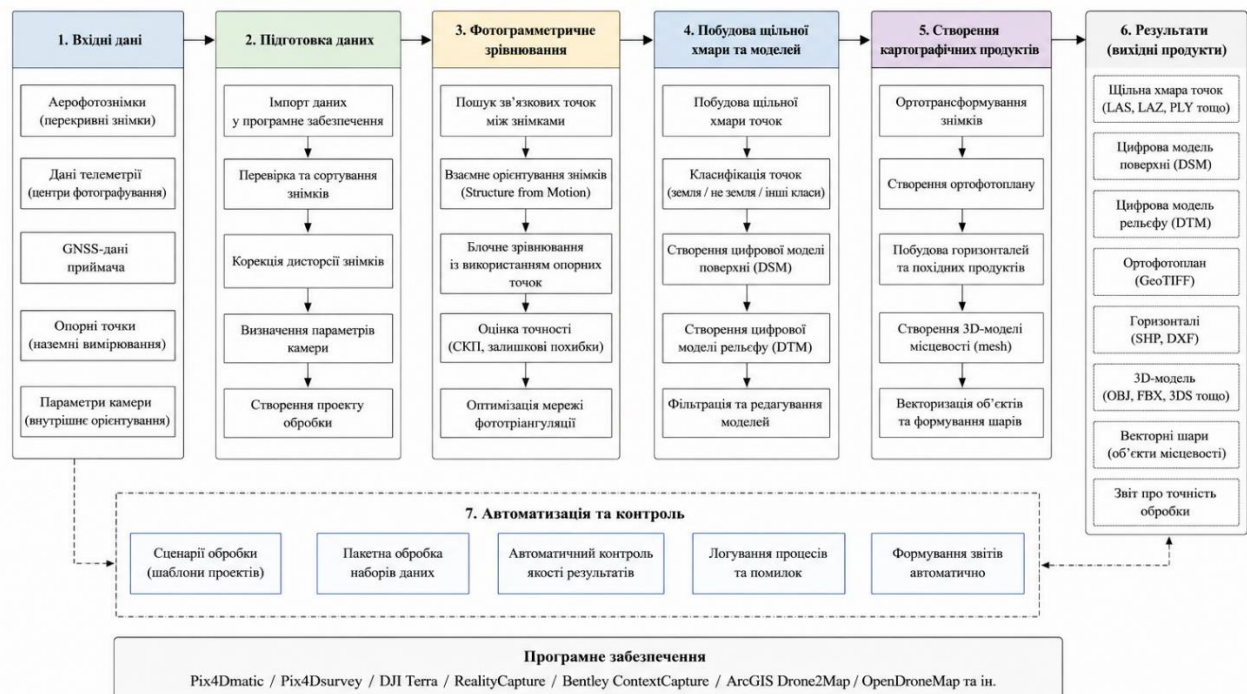


Рисунок 2.4 – Автоматизований робочий процес фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання

Таким чином, фотограмметричне опрацювання матеріалів аерофотознімання є комплексним технологічним процесом, результатом якого стає створення цифрової моделі місцевості, цифрової моделі рельєфу, ортофотопланів та інших геопросторових даних. Використання сучасних програмних комплексів цифрової фотограмметрії забезпечує високу точність просторової інформації та створює надійну основу для розроблення цифрового топографічного плану міста Південне Харківської області.

2.3 Створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 на основі ортофотоплану

Завершальним етапом створення цифрової картографічної основи є формування цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 на базі результатів фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання. Вихідними даними для виконання цього етапу виступають ортофотоплан, цифрова модель рельєфу, цифрова модель місцевості, щільна хмара точок та похідні геопросторові продукти, створені в процесі фотограмметричної обробки.

Цифровий топографічний план являє собою структурований набір просторових даних, що містить інформацію про рельєф, забудову, транспортну інфраструктуру, гідрографію, інженерні мережі, земельні угіддя, рослинність та інші об'єкти місцевості. На відміну від традиційних паперових планів цифровий формат дозволяє не лише візуалізувати просторову інформацію, але й виконувати подальший аналіз, редагування та інтеграцію даних у геоінформаційні системи.

Створення цифрового топографічного плану виконується у спеціалізованому програмному забезпеченні для обробки геопросторових даних. Основним джерелом інформації є ортофотоплан, на якому здійснюється дешифрування та векторизація елементів місцевості. Додатково використовуються цифрова модель рельєфу, хмара точок та тривимірні моделі

території, що дозволяє підвищити достовірність і повноту картографічних матеріалів.

Загальну послідовність створення цифрового топографічного плану наведено на рисунку 2.5.

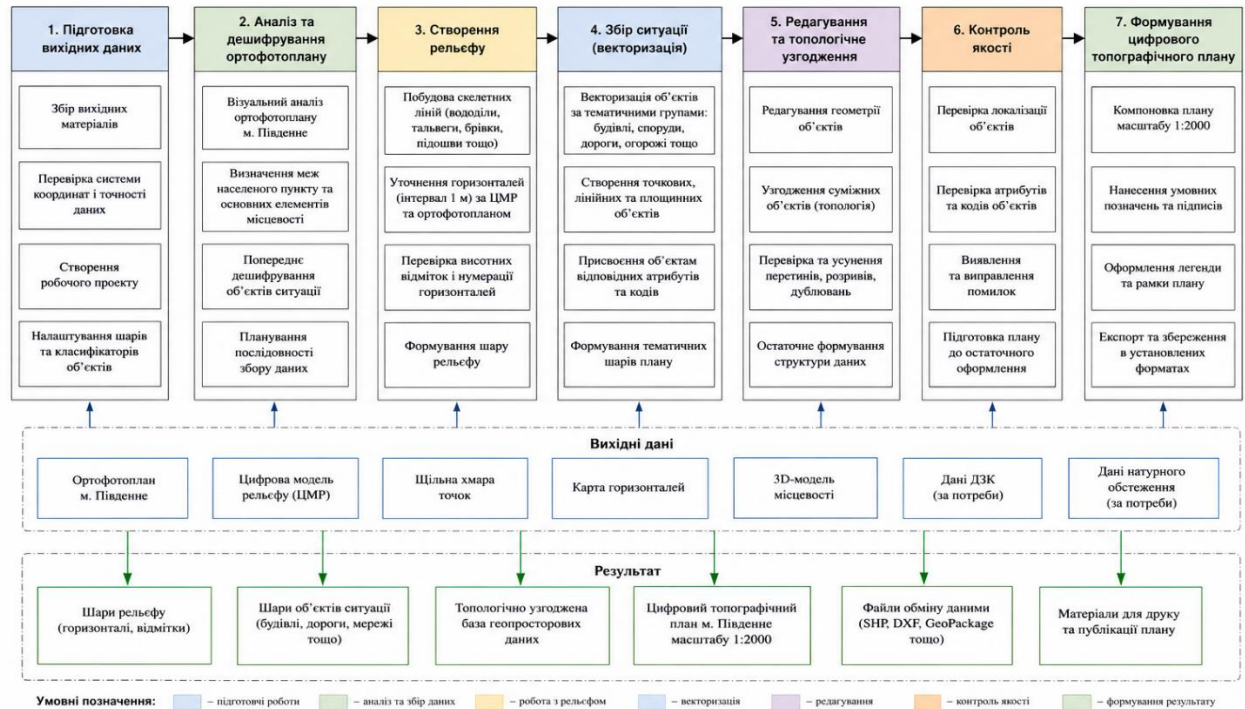


Рисунок 2.5 – Технологічна схема створення цифрового топографічного плану на основі ортофотоплану

Процес дешифрування виконується шляхом візуального аналізу ортофотозображення та ідентифікації об'єктів місцевості. Для забезпечення повноти збору інформації доцільно дотримуватись певної послідовності опрацювання тематичних елементів топографічного плану. Насамперед аналізуються елементи рельєфу, далі об'єкти гідрографії, рослинний покрив, транспортна інфраструктура, забудова, інженерні мережі та інші об'єкти ситуації [24].

Особливе значення при створенні топографічного плану має правильне відображення рельєфу місцевості. Для підвищення точності моделювання рельєфу використовуються структурні або скелетні лінії, які проводяться

вздовж характерних форм рельєфу. До таких ліній належать вододіли, тальвеги, брівки ярів, підосви схилів, краї насипів та виїмок, а також інші лінійні елементи, що визначають морфологію поверхні.

Схему формування структурних ліній рельєфу наведено на рисунку 2.6.

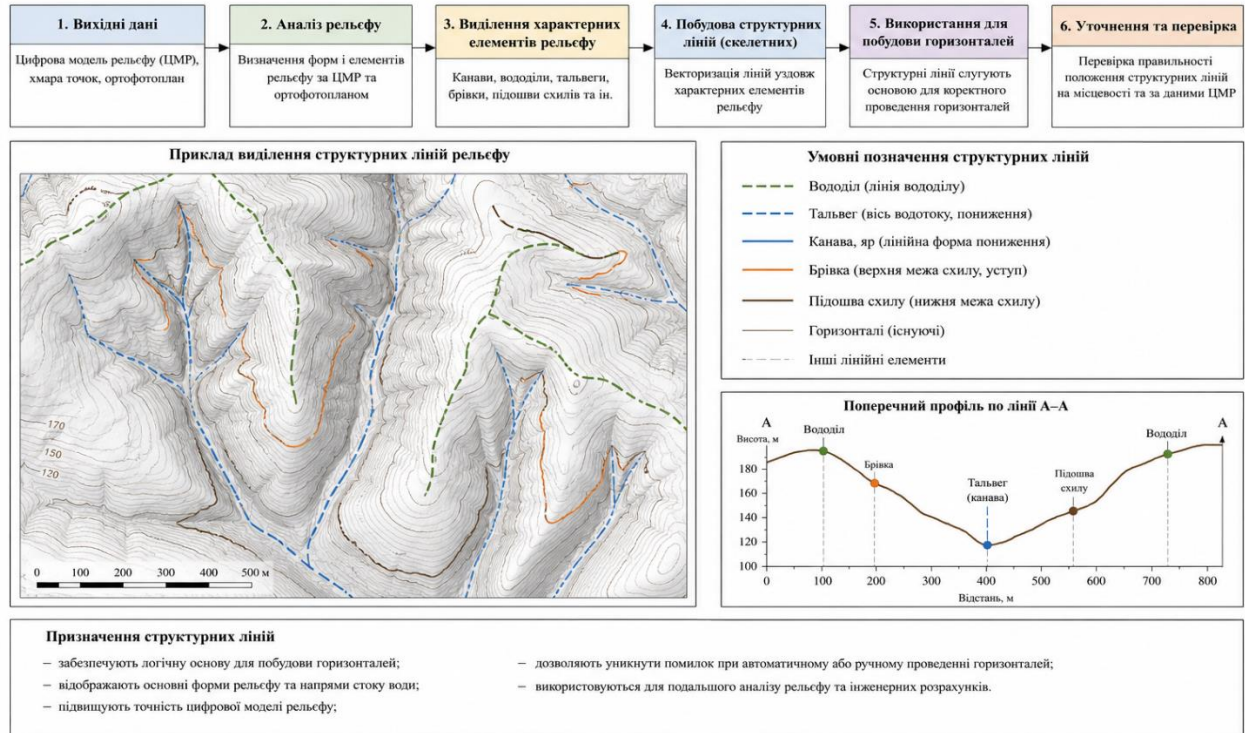


Рисунок 2.6 – Формування структурних ліній рельєфу під час створення цифрового топографічного плану

Після побудови структурних ліній виконується уточнення цифрової моделі рельєфу та перевірка правильності проходження горизонталей. Для території дослідження горизонталі формуються з висотою перерізу рельєфу 1 м, що відповідає вимогам до створення топографічних планів масштабу 1:2000 [25].

Наступним етапом є збір ситуації. На основі ортофотоплану та додаткових матеріалів виконують векторизацію всіх об'єктів, які повинні бути відображені на топографічному плані. До таких об'єктів належать:

- житлова та громадська забудова;
- промислові об'єкти;

- огорожі та межі земельних ділянок;
- дорожня мережа;
- залізнична інфраструктура;
- лінії електропередач;
- інженерні комунікації;
- водні об'єкти;
- лісові масиви та окремі насадження;
- земельні угіддя та інші елементи місцевості [26].

У процесі векторизації кожному об'єкту присвоюються відповідні атрибутивні характеристики, які описують його функціональне призначення, геометричні параметри та інші властивості. Формування атрибутивної інформації забезпечує можливість подальшого використання цифрового плану у складі геоінформаційних систем та кадастрових баз даних.

Після завершення збору просторової інформації виконується етап редагування та топологічного узгодження об'єктів. Основною метою редагування є усунення геометричних помилок, виправлення неточностей векторизації та забезпечення коректних просторових взаємозв'язків між об'єктами.

Основні операції редагування цифрового топографічного плану наведено на рисунку 2.7.

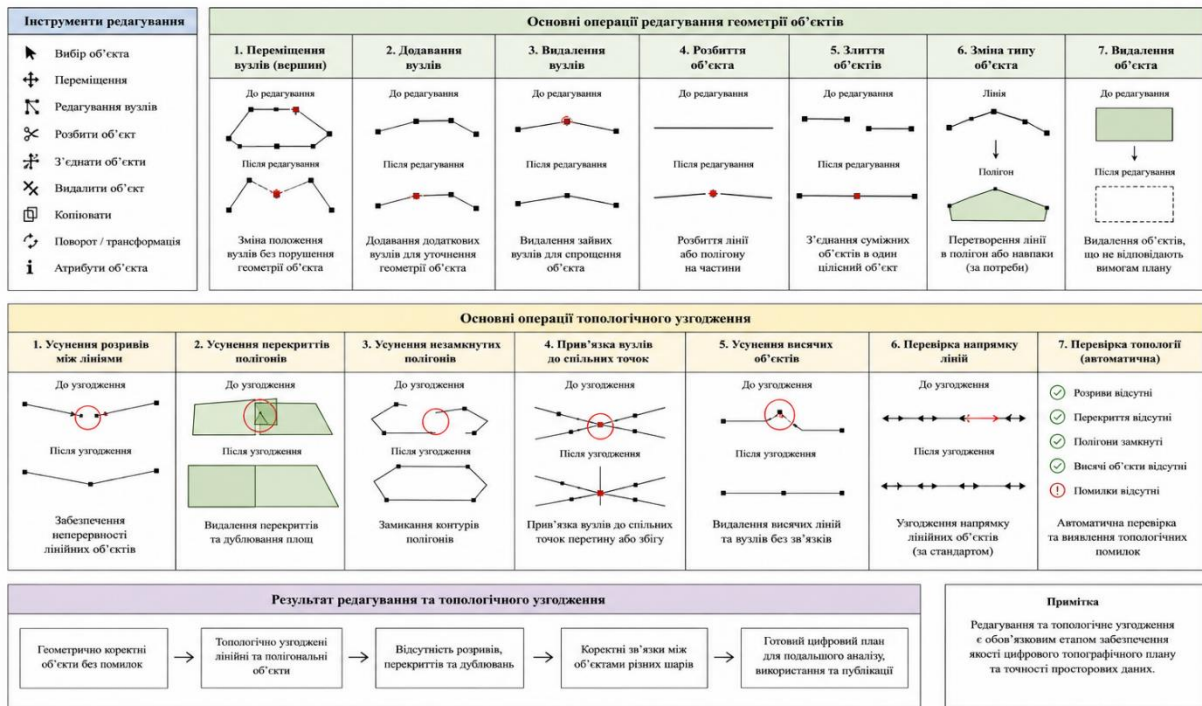


Рисунок 2.7 – Основні операції редагування та топологічного узгодження об'єктів цифрового плану

Контроль якості створеного топографічного плану виконується на всіх етапах камеральних робіт. Особлива увага приділяється перевірці локалізації об'єктів, правильності їх класифікації, наявності необхідних атрибутів та дотриманню вимог топологічної цілісності даних. Для цього використовуються автоматизовані засоби контролю якості, що дозволяють виявляти помилки просторового положення, дублювання об'єктів, розриви лінійних елементів та відсутність обов'язкових атрибутів.

Схему контролю якості цифрового топографічного плану наведено на рисунку 2.8.

Після усунення всіх виявлених помилок виконується фінальне оформлення цифрового топографічного плану відповідно до чинних нормативних вимог. Готовий план містить повний набір елементів ситуації та рельєфу, необхідних для подальшого використання у містобудуванні, землеустрої, кадастрових роботах та геоінформаційних системах.

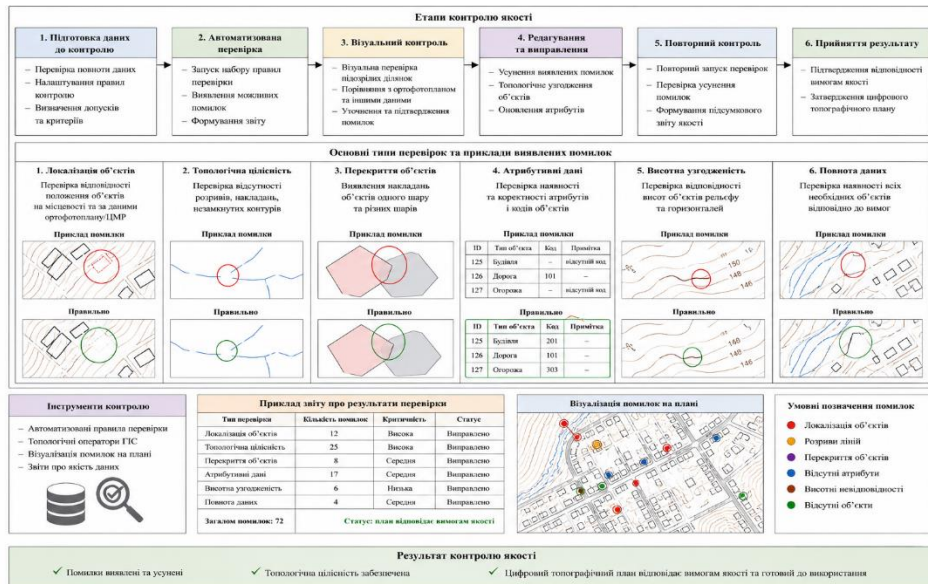


Рисунок 2.8 – Контроль якості та виявлення помилок цифрового топографічного плану

Фрагмент готового цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 наведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Фрагмент цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території дослідження

Таким чином, створення цифрового топографічного плану на основі ортофотоплану є завершальним етапом фотограмметричного виробництва, який забезпечує перетворення результатів аерофотознімання у повноцінний геопросторовий продукт. Використання сучасних методів дешифрування, векторизації, контролю якості та геоінформаційного моделювання дозволяє отримати актуальну цифрову картографічну основу для території міста Південне Харківської області.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ЦИФРОВОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСТА ПІВДЕННЕ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Характеристика вихідних геопросторових даних для створення цифрового топографічного плану

Створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне Харківської області базується на використанні комплексу геопросторових даних, отриманих у результаті аерофотознімання, фотограмметричного опрацювання та аналізу існуючих цифрових картографічних матеріалів. Вихідні дані формують основу для створення цифрової моделі місцевості, побудови рельєфу, дешифрування ситуації та подальшого формування цифрового топографічного плану.

Місто Південне розташоване у південно-західній частині Харківського району Харківської області та входить до складу Південної міської територіальної громади. Територія характеризується вигідним транспортно-географічним положенням, оскільки знаходиться у зоні впливу Харківської міської агломерації та має розвинуті транспортні зв'язки з містом Харків і прилеглими населеними пунктами.

Для виконання робіт зі створення цифрового топографічного плану використовувався набір геопросторових даних, який включав результати аерофотознімання, цифрові моделі рельєфу, векторні шари землекористування, транспортної інфраструктури та природних об'єктів. Основним джерелом інформації виступав ортофотоплан території, отриманий за результатами фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання.

Розташування міста Південне в системі адміністративно-територіального устрою Харківської області наведено на рисунку 3.1.

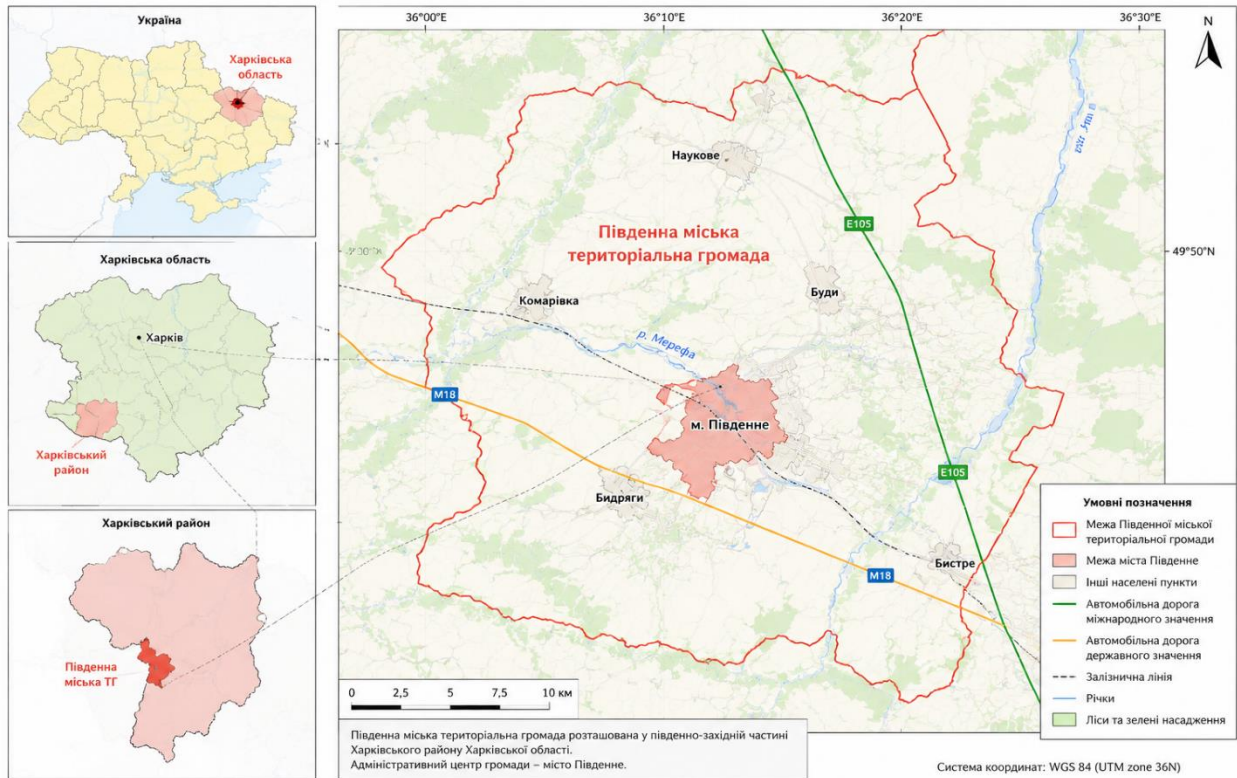


Рисунок 3.1 – Схема розташування міста Південне Харківської області

Важливою складовою вихідних геопросторових даних є транспортна мережа території. Через територію громади проходять автомобільна магістраль міжнародного значення E105 та автомобільна дорога державного значення M18, які забезпечують транспортні зв'язки між населеними пунктами регіону та формують основний каркас транспортної інфраструктури території. Крім того, у межах досліджуваної території наявна розгалужена мережа місцевих автомобільних доріг та польових проїздів.

Схему транспортної інфраструктури території наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Транспортна інфраструктура території міста Південне та прилеглих земель

Аналіз наявних векторних шарів свідчить про переважання земель сільськогосподарського призначення на прилеглих до міста територіях. Значні площі займають фермерські господарства, сільськогосподарські угіддя та садівничі масиви. Окремі ділянки представлені землями промислового використання, які сформувалися внаслідок розвитку виробничих об'єктів та транспортної інфраструктури.

Структуру землекористування території дослідження наведено на рисунку 3.3.

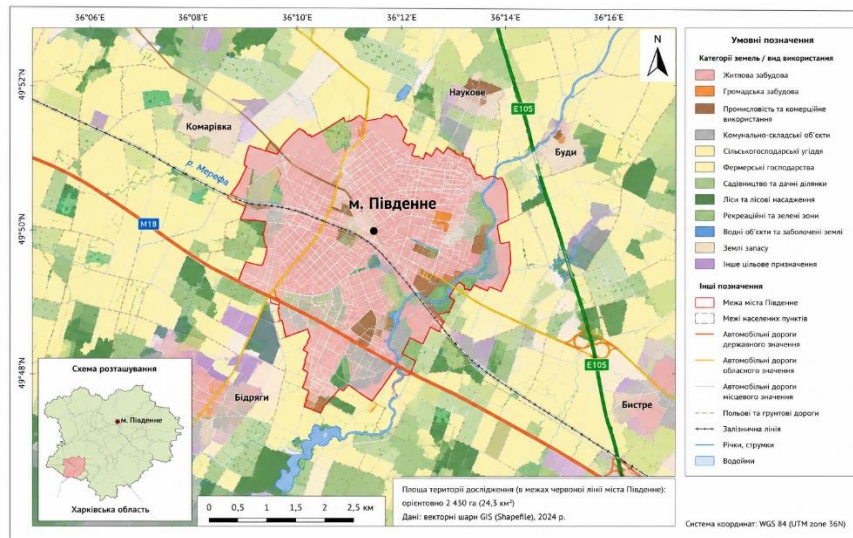


Рисунок 3.3 – Структура використання земель у межах території дослідження

Суттєву роль у формуванні природного середовища міста Південне відіграють лісові масиви та рекреаційні території, які створюють сприятливі умови для екологічної стабільності території. Дані об'єкти були використані як додаткові джерела під час дешифрування ортофотознімків та формування тематичних шарів цифрового топографічного плану.

Просторове розташування природних та рекреаційних територій наведено на рисунку 3.4.

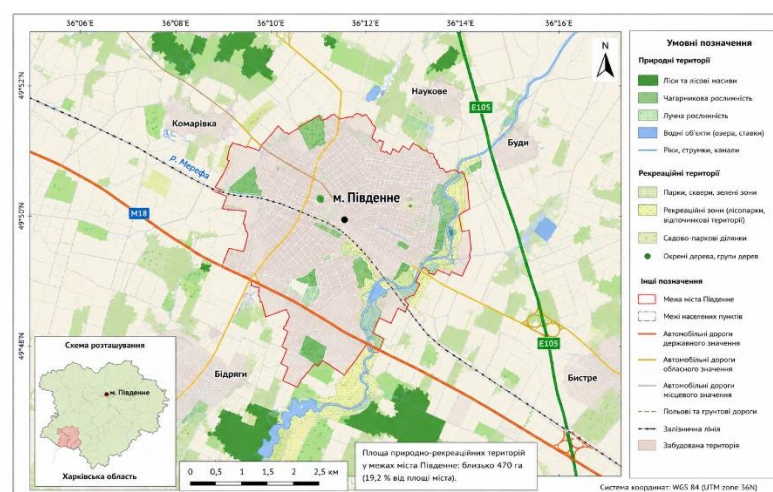


Рисунок 3.4 – Природні та рекреаційні території в межах району дослідження

Важливим елементом вихідних даних стала цифрова модель рельєфу, сформована за результатами фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання. Побудована модель дозволила визначити особливості рельєфу території, виконати побудову горизонталей, сформуванати структурні лінії рельєфу та забезпечити коректне відображення висотної складової цифрового топографічного плану.

Фрагмент цифрової моделі рельєфу наведено на рисунку 3.5.

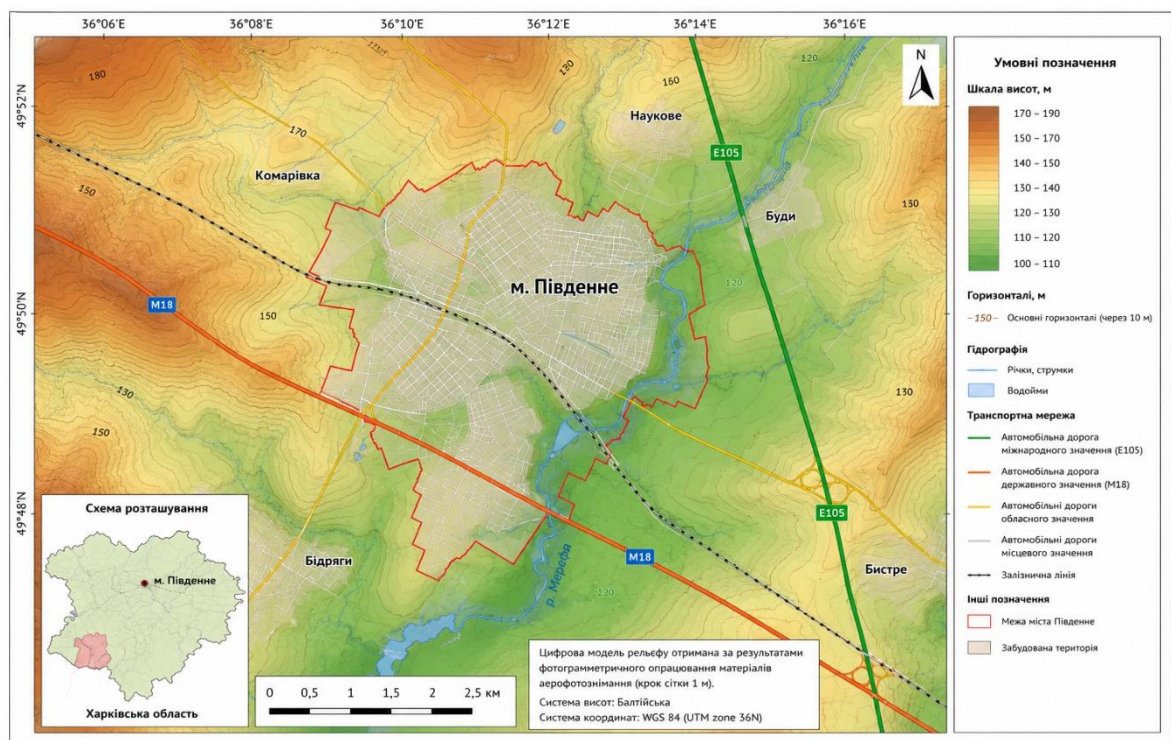


Рисунок 3.5 – Цифрова модель рельєфу території дослідження

У результаті аналізу вихідних геопросторових даних було сформовано єдине інформаційне середовище, що поєднує растрові та векторні набори даних, необхідні для створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000. Отримані матеріали забезпечують достатню точність визначення просторового положення об'єктів місцевості та відповідають вимогам сучасного топографічного картографування.

3.2 Створення цифрового топографічного плану території міста Південне

Створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне Харківської області виконувалося на основі матеріалів аерофотознімання та результатів фотограмметричного опрацювання, отриманих на попередніх етапах дослідження. Основною метою робіт було формування актуальної цифрової картографічної основи, яка забезпечує відображення сучасного стану території та може використовуватись для містобудівної діяльності, землеустрою, управління інженерною інфраструктурою та ведення геоінформаційних систем.

Вихідними матеріалами для створення цифрового топографічного плану стали ортофотоплан території міста Південне, цифрова модель рельєфу, щільна хмара точок, результати класифікації поверхні, а також векторні шари транспортної інфраструктури, землекористування та природних об'єктів. Усі дані були приведені до єдиної системи координат та підготовлені для подальшого використання у середовищі цифрового картографування.

Загальну технологічну схему створення цифрового топографічного плану наведено на рисунку 3.6.

Першим етапом робіт стало створення нового проєкту цифрового картографування та налаштування його параметрів. На цьому етапі визначалися система координат, одиниці вимірювання, структура шарів та класифікатор об'єктів топографічного плану. Крім того, виконувалося підключення вихідних геопросторових даних, які використовувалися як картографічна основа для подальшої векторизації.

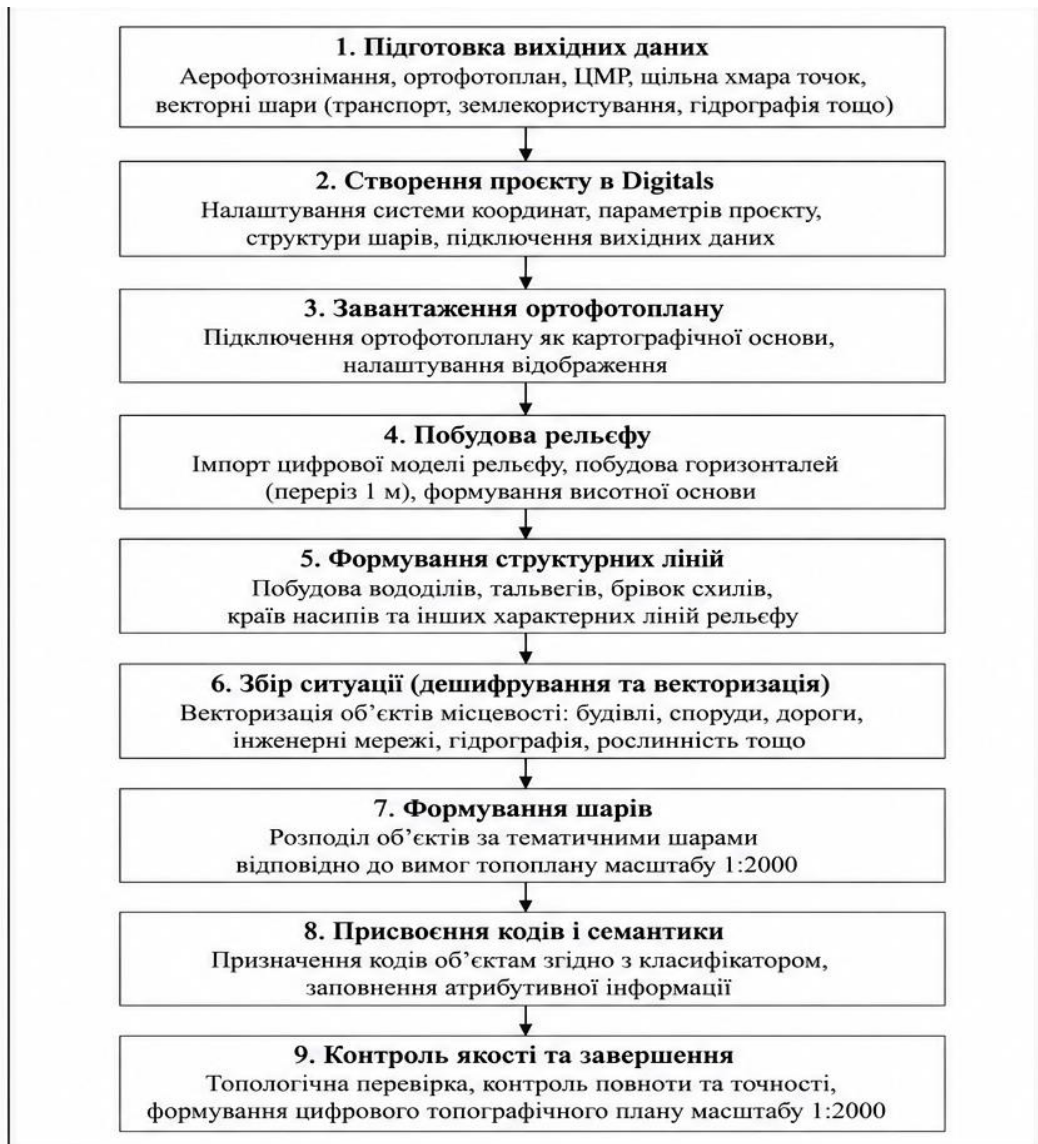


Рисунок 3.6 – Технологічна схема створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000

Після формування проєкту було виконано завантаження ортофотоплану території міста Південне. Ортофотоплан використовувався як основне джерело просторової інформації при дешифруванні об'єктів місцевості. Завдяки високій просторовій роздільній здатності отриманих аерофотознімків стало можливим впевнено ідентифікувати будівлі, споруди, дорожню мережу, елементи благоустрою, рослинність та інші об'єкти ситуації.

Фрагмент ортофотоплану, використаного під час створення цифрового топографічного плану, наведено на рисунку 3.7.

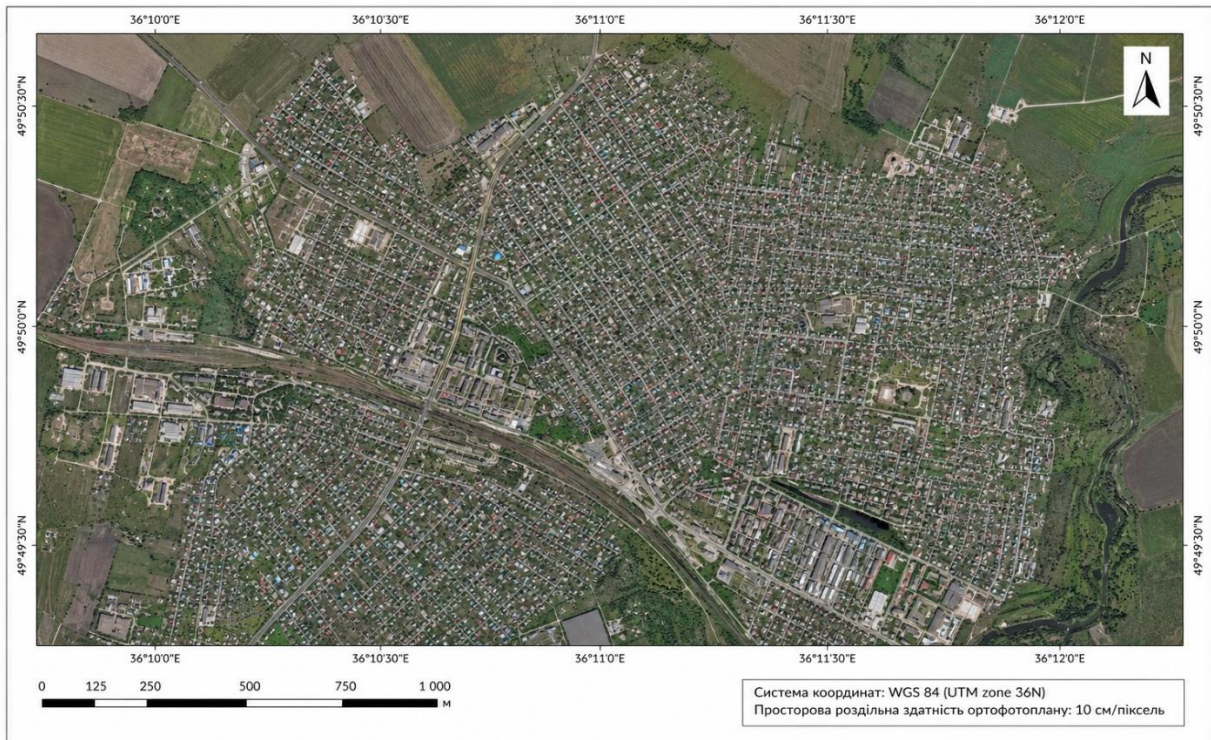


Рисунок 3.7 – Ортофотоплан території міста Південне, використаний для створення цифрового топографічного плану

Побудова рельєфу виконувалася на основі цифрової моделі рельєфу, отриманої в результаті фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання. Для забезпечення коректного відображення форм земної поверхні було здійснено перевірку горизонталей, структурних ліній та висотних відміток. Рельєф місцевості відображався горизонталями з висотою перерізу 1 м, що відповідає вимогам до створення топографічних планів масштабу 1:2000.

Наступним етапом стало формування структурних ліній рельєфу. До таких ліній віднесено вододіли, тальвеги, брівки схилів, краї насипів, підшви виїмок та інші характерні елементи рельєфу. Використання структурних ліній дозволило забезпечити правильне проходження горизонталей та підвищити точність моделювання рельєфу.

Приклад формування рельєфу на основі цифрової моделі місцевості наведено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Формування рельєфу території під час створення цифрового топографічного плану

Після завершення побудови рельєфу було виконано збір ситуації. Цей процес передбачав дешифрування та векторизацію всіх об'єктів місцевості, які підлягають відображенню на топографічному плані. До складу зібраної ситуації увійшли житлові та громадські будівлі, промислові споруди, автомобільні дороги, залізнична інфраструктура, лінії електропередач, огорожі, водні об'єкти, рослинність та інші елементи місцевості.

Особливу увагу було приділено транспортній інфраструктурі території. На цифровому топографічному плані були відображені міжнародна автомобільна магістраль E105, автомобільна дорога державного значення M18, місцеві дороги, вулиці міста Південне та залізнична лінія, що проходить через територію дослідження. Наявність цих об'єктів забезпечує можливість подальшого використання плану для транспортного та містобудівного аналізу.

Результати векторизації основних об'єктів ситуації наведено на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Векторизація об'єктів ситуації за матеріалами ортофотоплану

Для забезпечення структурованого зберігання просторової інформації всі об'єкти були розподілені за тематичними шарами. Формування шарів здійснювалося відповідно до чинних вимог топографічного картографування та принципів організації геоінформаційних баз даних.

Основні тематичні шари цифрового топографічного плану включали:

- будівлі та споруди;
- дорожню мережу;
- залізничну інфраструктуру;
- гідрографію;
- рельєф;
- рослинність;
- межі територій;
- інженерні мережі;
- об'єкти благоустрою.

Структуру тематичних шарів цифрового топографічного плану наведено на рисунку 3.10.

Група шарів	Тематичний шар	Тип геометрії	Зміст шару	Масштаб відображення
Цифровий топографічний план м-бу 1:2000	Рельєф	Горизонталі (основні) Горизонталі (проміжні) Висотні відмітки Структурні лінії рельєфу	Основні горизонталі (переріз 5 м) Проміжні горизонталі (переріз 1 м) Абсолютні висоти точок Брівки, тальвеги, вододіли, підйоми схилів тощо	1:2000
	Будівлі та споруди	Житлові будівлі Нежитлові будівлі Промислові та складські споруди Інші споруди	Житлові будівлики Громадські та адміністративні будівлі Промислові будівлі, склади, ангари Гаражі, навіси, інші споруди	1:2000
	Транспортна мережа	Автомобільні дороги міжнародного значення Автомобільні дороги державного значення Місцеві дороги та вулиці Пройди та ґрунтові дороги Залізничні лінії	Міжнародна автомобільна магістраль (E105) Автомобільні дороги державного значення (M18) Вулиці та проїзди з твердим покриттям Ґрунтові дороги, польові та лісові дороги Залізничні колії та сусупутні об'єкти	1:2000
	Гідрографія	Річки, струмки Водойми (озера, ставки) Канали Болота	Постійні та тимчасові водотоки Озера, ставки, водосховища Зрошувальні та осушувальні канали Заболочені території	1:2000
	Рослинність	Ліси та лісові насадження Чагарники Окремі дерева Газони, трав'яний покрив	Хвойні, листяні, мішані ліси Чагарникова рослинність Поодинокі дерева та групи дерев Газони, трав'яністі ділянки	1:2000
	Інженерні мережі	Лінії електропередач (ЛП) Газопроводи Водопроводи Каналізаційні мережі	Повітряні лінії електропередач Підземні та наземні газопроводи Водопровідні мережі та споруди Каналізаційні мережі та споруди	1:2000
	Об'єкти благоустрою	Огорожі Малі архітектурні форми Опори освітлення Межі земельних ділянок	Паркани, огорожі, стіни Лавки, урни, альтанки тощо Опори вуличного освітлення Кадастрові та функціональні межі	1:2000
	Адміністративні межі	Межа населеного пункту Межі функціональних зон	Межа міста Південне Межі зон та територій	1:2000

Рисунок 3.10 – Структура тематичних шарів цифрового топографічного плану

Після завершення формування шарів усім об'єктам були присвоєні відповідні коди та семантичні характеристики. Атрибутивна інформація містила відомості про тип об'єкта, його функціональне призначення, технічні характеристики та інші параметри, необхідні для подальшого використання плану в геоінформаційних системах. Наявність семантичної складової значно розширює можливості аналізу та обробки просторових даних порівняно зі звичайним графічним відображенням території.

На завершальному етапі було виконано перевірку топологічної коректності даних, контроль повноти заповнення атрибутивної інформації та усунення виявлених помилок. Після завершення контролю якості сформовано цифровий топографічний план масштабу 1:2000 території міста Південне Харківської області.

Фрагмент завершеного цифрового топографічного плану наведено на рисунку 3.11.

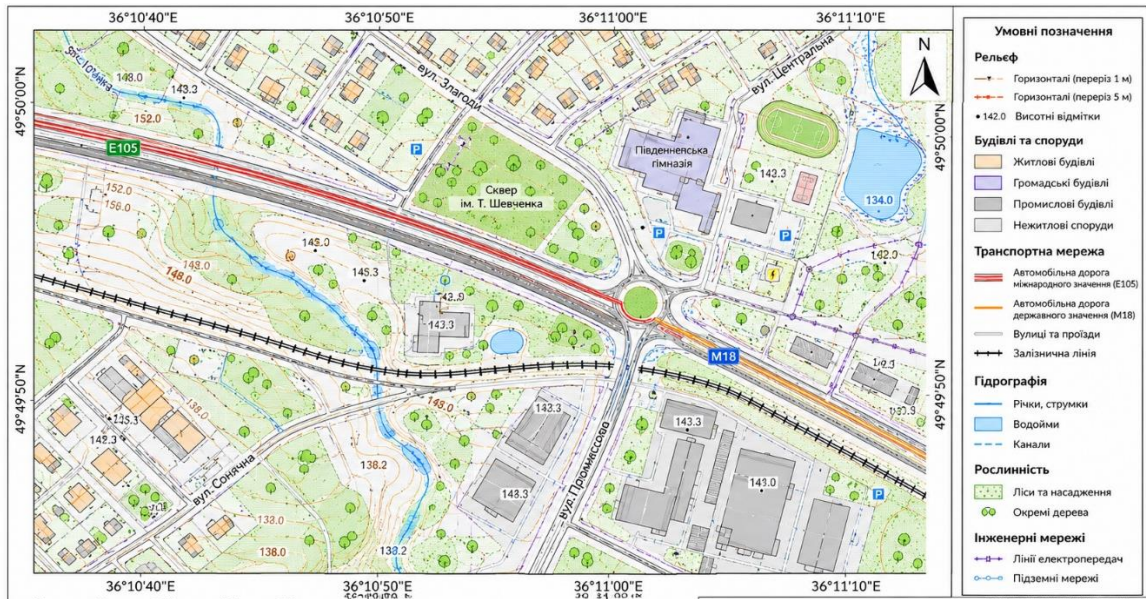


Рисунок 3.11 – Фрагмент цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне

Таким чином, у результаті виконаних робіт було створено цифровий топографічний план масштабу 1:2000, який відображає сучасний стан території міста Південне та забезпечує формування актуальної цифрової картографічної основи для вирішення завдань містобудування, землеустрою та управління територіальним розвитком.

3.3 Аналіз змісту та точності цифрового топографічного плану

Після завершення процесу створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне було виконано аналіз його змісту, повноти відображення об'єктів місцевості, топологічної коректності та відповідності вимогам великомасштабного топографічного картографування. Контроль якості є обов'язковим етапом камеральних робіт, оскільки саме він забезпечує придатність цифрового плану для подальшого використання у містобудуванні, землеустрої, кадастровій діяльності та геоінформаційних системах.

Цифровий топографічний план містить основні групи об'єктів, які

характеризують сучасний стан території міста Південне. До складу плану включено рельєф, будівлі та споруди, вулично-дорожню мережу, залізничну інфраструктуру, гідрографію, зелені насадження, інженерні мережі, межі земельних ділянок та інші елементи ситуації. Такий склад даних забезпечує комплексне відображення території та дозволяє використовувати створений план як основу для просторового аналізу.

У процесі аналізу змісту було встановлено, що на цифровому топографічному плані відображено такі основні групи об'єктів:

- житлові будівлі;
- громадські та адміністративні будівлі;
- промислові та складські об'єкти;
- автомобільні дороги державного, місцевого та вуличного значення;
- залізничні колії та супутні об'єкти залізничної інфраструктури;
- річки, струмки, канали та водойми;
- лінії електропередач та інші інженерні мережі;
- огорожі, межі земельних ділянок та елементи благоустрою;
- лісові насадження, чагарники, газони, окремі дерева;
- горизонталі, висотні відмітки та структурні лінії рельєфу.

Повнота відображення об'єктів оцінювалася шляхом порівняння створених векторних шарів з ортофотопланом території міста Південне, цифровою моделлю рельєфу та наявними векторними наборами геопросторових даних. Особливу увагу було приділено правильності дешифрування забудови, дорожньої мережі, водних об'єктів і зелених насаджень. У межах щільної міської забудови додатково перевірялася відповідність контурів будівель фактичному положенню на ортофотоплані.

Аналіз повноти показав, що цифровий топографічний план відображає основні елементи території, необхідні для масштабу 1:2000. Найбільш детально представлені об'єкти забудови, транспортної інфраструктури та рельєфу, оскільки саме вони мають ключове значення для подальших інженерних і містобудівних рішень. Водночас об'єкти, які складно однозначно дешифрувати

за ортофотопланом, потребують уточнення за результатами польового обстеження.

Окремим етапом було виконано перевірку топологічної коректності цифрового плану. Топологічний контроль передбачав виявлення розривів лінійних об'єктів, перетинів без вузлів, дублювання геометрії, накладання полігонів, незамкнених контурів та невідповідності між суміжними шарами. Особливо важливою така перевірка є для дорожньої мережі, меж земельних ділянок, гідрографії та інженерних мереж.

Під час перевірки топології контролювалися такі параметри:

- відсутність розривів у лінійних об'єктах;
- коректність замикання полігонів;
- відсутність дублювання об'єктів;
- узгодженість меж суміжних територій;
- правильність перетину лінійних об'єктів;
- відповідність геометрії об'єктів їхньому типу;
- наявність атрибутивної інформації для кожного об'єкта.

Результати топологічного контролю дозволили виявити та усунути типові помилки векторизації: незначні зміщення вузлів, розриви ліній доріг, незамкнені контури окремих полігонів, дублювання частини лінійних елементів та відсутність окремих семантичних характеристик. Після редагування дані були повторно перевірені, що забезпечило цілісність структури цифрового топографічного плану.

Аналіз точності цифрового топографічного плану проводився з урахуванням вимог до створення топографічних планів масштабу 1:2000. Основними критеріями точності були планове положення контурів об'єктів, висотне положення точок рельєфу, коректність побудови горизонталей та узгодженість отриманих даних із вихідним ортофотопланом і цифровою моделлю рельєфу.

Планова точність створеного цифрового плану забезпечувалася використанням ортофотоплану високої просторової роздільної здатності,

створеного за матеріалами аерофотознімання. Висотна точність забезпечувалася цифровою моделлю рельєфу, сформованою за результатами фотограмметричного опрацювання матеріалів знімання. Для контролю рельєфу перевірялося проходження горизонталей, відповідність висотних відміток характерним точкам місцевості та правильність відображення структурних ліній.

Важливим показником якості є відповідність змісту плану його масштабу. Для масштабу 1:2000 необхідно забезпечити детальне відображення будівель, споруд, вулиць, проїздів, інженерних комунікацій, елементів рельєфу, рослинності та гідрографії. Створений цифровий топографічний план відповідає цим вимогам, оскільки містить усі основні об'єкти ситуації та рельєфу, необхідні для використання у проєктних, кадастрових і містобудівних роботах.

Для узагальнення результатів контролю якості було сформовано таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати аналізу змісту та якості цифрового топографічного плану масштабу 1:2000

Напрямок контролю	Зміст перевірки	Результат
Повнота відображення об'єктів	Перевірка наявності основних елементів ситуації та рельєфу	Основні об'єкти території відображено
Планова точність	Зіставлення контурів об'єктів з ортофотопланом	Відхилення не перевищують допустимих значень для масштабу 1:2000
Висотна точність	Перевірка горизонталей, висотних відміток і структурних ліній	Рельєф відображено коректно
Топологічна цілісність	Виявлення розривів, накладань, дублювань та незамкнених контурів	Помилки усунено після редагування
Атрибутивне наповнення	Перевірка наявності кодів і семантичних характеристик	Основні об'єкти мають необхідні атрибути
Відповідність масштабу 1:2000	Перевірка деталізації та складу об'єктів	План відповідає вимогам великомасштабного картографування

Таким чином, результати аналізу свідчать, що створений цифровий топографічний план масштабу 1:2000 території міста Південне має достатню повноту, топологічну цілісність і точність для використання як цифрова картографічна основа. Отримані матеріали можуть застосовуватися для розроблення містобудівної документації, ведення земельного кадастру, аналізу територіального розвитку та підтримки прийняття управлінських рішень.

3.4 Практичне використання цифрового топографічного плану для задач містобудування та управління територією

Створений цифровий топографічний план масштабу 1:2000 території міста Південне є сучасною цифровою картографічною основою, яка може використовуватися для вирішення широкого спектра завдань територіального розвитку, містобудування, управління земельними ресурсами та підтримки функціонування геоінформаційних систем. На відміну від традиційних паперових топографічних матеріалів, цифровий план забезпечує можливість інтеграції просторових даних у сучасні інформаційні системи, виконання просторового аналізу та оперативного оновлення інформації про стан території.

Одним із найважливіших напрямів використання цифрового топографічного плану є містобудівна діяльність. Актуальна топографічна основа є обов'язковим елементом розроблення генеральних планів населених пунктів, детальних планів територій, комплексних планів просторового розвитку територіальних громад та іншої містобудівної документації. Використання цифрового топографічного плану дозволяє враховувати фактичний стан забудови, особливості рельєфу, розташування інженерних мереж та транспортної інфраструктури під час прийняття проєктних рішень.

Важливим напрямом застосування створеного плану є управління інженерною інфраструктурою міста. Цифрова картографічна основа забезпечує можливість створення та ведення геоінформаційних баз даних інженерних мереж, що включають системи електропостачання, водопостачання,

водовідведення, газопостачання та зв'язку. Просторове відображення мереж значно підвищує ефективність їх експлуатації, реконструкції та модернізації.

Не менш важливою сферою використання цифрового топографічного плану є земельно-кадастрова діяльність. Цифровий план може застосовуватися для уточнення меж земельних ділянок, формування кадастрових карт, проведення інвентаризації земель, оцінки земельних ресурсів та контролю використання територій. Завдяки високій деталізації масштабу 1:2000 створений план дозволяє забезпечити необхідну точність виконання землевпорядних робіт у межах міської території.

Особливого значення цифровий топографічний план набуває для моніторингу забудови та територіального розвитку. Порівняння актуального стану території з матеріалами попередніх знімань дозволяє оперативно виявляти нові об'єкти будівництва, зміни функціонального використання земель, реконструкцію інженерних споруд та розвиток транспортної інфраструктури. Такі можливості особливо актуальні для територій, що активно розвиваються та входять до складу приміської зони міста Харкова.

Перспективним напрямом є використання цифрового топографічного плану як базового набору геопросторових даних для формування муніципальної геоінформаційної системи міста Південне. У такій системі цифровий топографічний план виступає основою для інтеграції інформації про земельні ресурси, нерухомість, інженерні мережі, транспорт, екологічний стан території та інші об'єкти міського господарства. Створення єдиного геоінформаційного середовища сприятиме підвищенню ефективності управління територією та підтримці процесів прийняття управлінських рішень.

Важливою перевагою цифрової картографічної основи є можливість її подальшого оновлення. Розвиток технологій безпілотного аерофотознімання дозволяє регулярно отримувати нові геопросторові дані та підтримувати цифровий топографічний план в актуальному стані. Це особливо актуально в умовах швидких змін міського середовища, реконструкції інфраструктури та розвитку забудови. Використання сучасних геоінформаційних технологій

забезпечує автоматизацію процесів оновлення та значно зменшує витрати часу порівняно з традиційними методами картографування.

Узагальнення основних напрямів практичного використання створеного цифрового топографічного плану наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні напрями практичного використання цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне

Напрямок використання	Практичне застосування	Очікуваний результат
Містобудівна діяльність	Розроблення генерального плану, детальних планів території, комплексного плану просторового розвитку	Підвищення якості містобудівних рішень
Управління інженерними мережами	Облік, інвентаризація та модернізація мереж	Підвищення ефективності експлуатації інфраструктури
Земельний кадастр	Формування кадастрових карт, інвентаризація земель, уточнення меж	Підвищення точності земельно-кадастрових робіт
Моніторинг забудови	Контроль розвитку території та виявлення змін землекористування	Оперативне виявлення змін території
Геоінформаційні системи громади	Формування базового набору геопросторових даних муніципальної ГІС	Створення єдиного інформаційного середовища
Інвестиційне планування	Підготовка проєктів забудови та розвитку інфраструктури	Підвищення інвестиційної привабливості території
Управління земельними ресурсами	Аналіз структури землекористування та планування розвитку території	Раціональне використання земель
Оновлення картографічної основи	Періодичне оновлення за результатами БПЛА-знімання	Підтримання актуальності геопросторових даних

Таким чином, створений цифровий топографічний план масштабу 1:2000 території міста Південне є універсальним геопросторовим ресурсом, який може

використовуватися для вирішення широкого кола завдань містобудування, землеустрою, управління інженерною інфраструктурою та розвитку муніципальних геоінформаційних систем. Його впровадження сприятиме підвищенню ефективності управління територіальним розвитком міста та забезпечить формування сучасної цифрової картографічної основи для подальшого використання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація безпечних умов праці під час виконання аерофотознімальних та камеральних робіт

Під час виконання робіт зі створення цифрового топографічного плану міста Південне Харківської області особлива увага приділяється забезпеченню безпечних умов праці на всіх етапах виробничого процесу. Технологія виконання робіт включає польові аерофотознімальні роботи із застосуванням безпілотних літальних апаратів, фотограмметричне опрацювання отриманих матеріалів та створення цифрового топографічного плану у спеціалізованому програмному забезпеченні. Кожен із зазначених етапів характеризується наявністю певних виробничих ризиків, які потребують дотримання вимог охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Правові та організаційні засади охорони праці в Україні визначаються Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів про працю України, Законом України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування», а також низкою нормативно-правових актів у сфері безпеки праці. Відповідно до чинного законодавства роботодавець зобов'язаний створити безпечні та нешкідливі умови праці, забезпечити працівників необхідними засобами індивідуального захисту та організувати проведення інструктажів з питань охорони праці.

Під час виконання аерофотознімальних робіт із застосуванням безпілотних літальних апаратів основними небезпечними факторами є можливість травмування працівників рухомими частинами літального апарата, вплив несприятливих погодних умов, перебування поблизу автомобільних доріг та інженерних комунікацій, а також ризики втрати керування БПЛА. Перед початком польотів виконується оцінка місцевості, визначаються безпечні зони старту та посадки літального апарата, проводиться перевірка справності обладнання та систем навігації.

До початку аерофотознімання оператор безпілотного літального апарата повинен перевірити технічний стан повітряного судна, заряд акумуляторних батарей, працездатність систем супутникового позиціонування, каналів зв'язку та систем автоматичного повернення. Особлива увага приділяється перевірці пропелерів, електродвигунів і кріпильних елементів конструкції, оскільки їх несправність може призвести до аварійної ситуації під час польоту.

Польоти безпілотних літальних апаратів необхідно виконувати лише за сприятливих метеорологічних умов. Забороняється проведення аерофотознімання під час сильного вітру, грози, інтенсивних атмосферних опадів, густого туману або недостатньої видимості. Такі фактори можуть негативно впливати як на безпеку польоту, так і на якість отриманих матеріалів аерофотознімання.

Під час виконання польових робіт особлива увага приділяється електробезпеці. При проведенні аерофотознімання поблизу повітряних ліній електропередач необхідно дотримуватися встановлених охоронних зон та мінімально допустимих відстаней до струмопровідних частин. Оператор БПЛА повинен враховувати можливий вплив електромагнітних полів на роботу навігаційного обладнання та систем зв'язку.

Значна частина робіт зі створення цифрового топографічного плану виконується в камеральних умовах із використанням комп'ютерної техніки. Основними шкідливими виробничими факторами при роботі з персональними комп'ютерами є тривале статичне навантаження, напруження зорового аналізатора, психоемоційне навантаження та недостатня рухова активність. Для зменшення негативного впливу зазначених факторів робоче місце повинно відповідати сучасним ергономічним вимогам.

Організація робочого місця оператора геоінформаційних систем передбачає правильне розташування монітора, клавіатури та допоміжного обладнання. Відстань від очей працівника до екрана монітора повинна становити 50–70 см. Верхня межа екрана має розташовуватися на рівні очей або дещо нижче. Робоче крісло повинно забезпечувати регулювання висоти сидіння

та нахилу спинки, що дозволяє підтримувати правильне положення тіла під час роботи.

Для забезпечення нормальних умов праці важливе значення мають параметри мікроклімату виробничого приміщення. Температура повітря в приміщенні повинна підтримуватися в межах 20–24 °С, відносна вологість – 40–60 %, а швидкість руху повітря не перевищувати 0,1–0,2 м/с. Освітлення робочого місця має бути достатнім для виконання графічних робіт і роботи з електронними картографічними матеріалами. Рекомендована освітленість поверхні робочого столу становить не менше 300–500 лк.

Під час виконання фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання та створення цифрових моделей місцевості працівники часто працюють із великими обсягами графічної інформації. Для профілактики перевтоми та зниження навантаження на органи зору необхідно дотримуватися регламентованих перерв. Рекомендується після кожних 50–60 хвилин роботи за комп'ютером робити перерву тривалістю 10–15 хвилин для виконання вправ для очей та зміни положення тіла.

Особливе місце в системі охорони праці займає пожежна безпека. Приміщення, де здійснюється обробка геопросторових даних, повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння, системами оповіщення про пожежу та евакуаційними виходами. Електричне обладнання має проходити регулярні перевірки технічного стану, а працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення пожежі.

Таким чином, забезпечення безпечних умов праці під час виконання аерофотознімальних та камеральних робіт є важливою складовою процесу створення цифрового топографічного плану. Дотримання вимог охорони праці дозволяє мінімізувати ризики виникнення виробничого травматизму, забезпечити збереження здоров'я працівників та підвищити ефективність виконання робіт зі створення сучасної цифрової картографічної продукції.

4.2 Аналіз виробничих небезпек і заходи щодо їх попередження під час створення цифрового топографічного плану

Створення цифрового топографічного плану міста Південне Харківської області є комплексним технологічним процесом, що поєднує польові аерофотознімальні роботи, фотограмметричне опрацювання матеріалів та камеральне створення цифрової картографічної продукції. На кожному етапі виконання робіт працівники можуть зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які здатні негативно впливати на стан здоров'я, працездатність та безпеку виробничого процесу. Тому важливим завданням є своєчасне виявлення потенційних небезпек та впровадження ефективних профілактичних заходів.

Під час виконання польових робіт основними джерелами небезпеки є використання безпілотних літальних апаратів, пересування по території дослідження, робота поблизу автомобільних доріг, інженерних мереж та об'єктів транспортної інфраструктури. Значна частина території міста Південне характеризується наявністю житлової забудови, автомобільних доріг, залізничних колій та об'єктів інженерної інфраструктури, що потребує додаткових заходів безпеки під час виконання аерофотознімання.

Одним із найбільш небезпечних факторів є можливість механічного травмування працівників рухомими частинами безпілотного літального апарата. Найбільшу небезпеку становлять пропелери літального апарата, які під час роботи обертаються з високою швидкістю. Для попередження травматизму запуск та посадка БПЛА повинні виконуватися лише на спеціально підготовлених майданчиках із забезпеченням безпечної відстані до сторонніх осіб. Під час запуску забороняється перебування людей у зоні обертання пропелерів та безпосередньо перед літальним апаратом.

До небезпечних факторів також належать несприятливі метеорологічні умови. Сильний вітер, атмосферні опади, ожеледиця, туман або недостатня видимість можуть призвести до втрати керування літальним апаратом або

виникнення аварійних ситуацій. З метою мінімізації ризиків польоти виконуються лише після оцінювання погодних умов та перевірки відповідності метеорологічних параметрів вимогам виробника БПЛА.

Особливу небезпеку під час польових робіт становлять об'єкти електроенергетики. На території дослідження розташовані повітряні лінії електропередач різних класів напруги. Наближення літального апарата до проводів може призвести до його пошкодження, виникнення короткого замикання або аварійної ситуації. Для запобігання таким випадкам під час планування польотів визначаються охоронні зони інженерних комунікацій, а маршрути аерофотознімання прокладаються з урахуванням безпечних відстаней.

При виконанні камеральних робіт основними шкідливими факторами є тривала робота за комп'ютером, статичне навантаження на опорно-руховий апарат, підвищене навантаження на органи зору та психоемоційне напруження. Процес фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання, побудови цифрових моделей місцевості та створення цифрового топографічного плану передбачає багато годин безперервної роботи з графічною інформацією, що може призводити до професійної втоми.

Найбільш поширеним наслідком тривалої роботи за комп'ютером є розвиток зорової втоми. Основними симптомами є почервоніння очей, зниження гостроти зору, головний біль та швидка втомлюваність. Для профілактики таких явищ рекомендується дотримуватися режиму праці та відпочинку, використовувати монітори з високою роздільною здатністю та забезпечувати оптимальне освітлення робочого місця.

Іншим важливим фактором є статичне навантаження на хребет і м'язову систему. Тривале перебування у сидячому положенні може викликати порушення постави, болі у спині та шийі, а також зниження працездатності. Для запобігання таким наслідкам необхідно використовувати ергономічні меблі, регулювати висоту робочого місця та виконувати виробничу гімнастику під час перерв.

Серед виробничих ризиків особливе місце займає електробезпека. У процесі виконання камеральних робіт використовується значна кількість електронного обладнання: комп'ютери, монітори, сервери зберігання даних, джерела безперебійного живлення та мережеве обладнання. Пошкодження ізоляції електричних кабелів або несправність обладнання можуть призвести до ураження електричним струмом. З метою забезпечення безпеки всі електроустановки повинні відповідати вимогам нормативних документів, мати справне заземлення та проходити регулярний технічний контроль.

Окрему увагу необхідно приділяти пожежній безпеці. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання електромереж, перевантаження обладнання, використання несправних електроприладів або порушення правил експлуатації комп'ютерної техніки. Для запобігання пожежам необхідно здійснювати регулярний контроль технічного стану електромереж, не допускати використання пошкодженого обладнання та забезпечувати приміщення первинними засобами пожежогасіння.

4.3 Заходи цивільного захисту та дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру

В умовах воєнного стану питання цивільного захисту населення та забезпечення безпеки працівників набувають особливої актуальності. Територія Харківської області протягом останніх років залишається регіоном із підвищеним рівнем безпекових ризиків, пов'язаних із веденням бойових дій, ракетними ударами, застосуванням безпілотних літальних апаратів та іншими загрозами воєнного характеру. У зв'язку з цим під час виконання робіт зі створення цифрового топографічного плану міста Південне необхідно враховувати вимоги цивільного захисту та забезпечувати готовність персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях.

Правові основи цивільного захисту населення в Україні визначаються Кодексом цивільного захисту України, законами України та нормативними

актами Кабінету Міністрів України. Основною метою цивільного захисту є захист життя і здоров'я людей, матеріальних цінностей та навколишнього природного середовища від наслідків надзвичайних ситуацій природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

Особливістю виконання топографо-геодезичних робіт у сучасних умовах є поєднання польових та камеральних етапів, кожен із яких має власні ризики. Польові роботи пов'язані з перебуванням персоналу на відкритій місцевості, що підвищує вразливість до наслідків ракетних ударів, артилерійських обстрілів або атак безпілотних літальних апаратів. Камеральні роботи виконуються переважно в адміністративних та виробничих приміщеннях, де головними ризиками є руйнування будівель, перебої електропостачання та пошкодження інформаційної інфраструктури.

Під час планування польових робіт необхідно здійснювати попередню оцінку безпекової ситуації на території виконання робіт. Перед виїздом польових бригад перевіряється актуальна інформація щодо можливих загроз, стану транспортних маршрутів та наявності обмежень на перебування населення у відповідних районах. У разі отримання офіційної інформації про підвищення рівня небезпеки виконання польових робіт переноситься до стабілізації ситуації.

Одним із найпоширеніших сигналів оповіщення населення є сигнал «Повітряна тривога». Після його оголошення працівники повинні негайно припинити виконання робіт, вимкнути обладнання за можливості та переміститися до найближчого захисного укриття. Для польових бригад до початку виконання робіт визначаються маршрути евакуації та найближчі захисні споруди, які можуть бути використані у разі виникнення загрози.

Під час камеральних робіт у приміщеннях необхідно забезпечити наявність планів евакуації, справних засобів зв'язку та аварійного освітлення. Працівники повинні бути ознайомлені з порядком дій у разі оголошення сигналу цивільного захисту, виникнення пожежі або руйнування будівлі внаслідок надзвичайної ситуації.

Особливу увагу необхідно приділяти збереженню результатів виконаних робіт. Геопросторові дані, цифрові моделі місцевості, ортофотоплани та цифрові топографічні плани є важливими інформаційними ресурсами, втрата яких може призвести до значних матеріальних збитків. Для забезпечення збереження інформації необхідно використовувати резервне копіювання даних, розподілені системи зберігання та хмарні сервіси. Рекомендується створювати не менше трьох копій найбільш важливих матеріалів на незалежних носіях інформації.

Важливим елементом цивільного захисту є забезпечення безперервності функціонування робочих місць під час аварійних відключень електроенергії. Для цього використовуються джерела безперебійного живлення, резервні генератори та автономні системи енергозабезпечення. Наявність резервного живлення дозволяє уникнути втрати результатів обробки геопросторових даних та забезпечує безпечне завершення роботи програмних комплексів.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває кібербезпека геопросторових даних. Інформаційні ресурси, що містять результати топографічного картографування, можуть становити інтерес для сторонніх осіб. З метою захисту інформації необхідно використовувати ліцензійне програмне забезпечення, антивірусні системи, багаторівневий контроль доступу до даних та регулярне резервне копіювання інформації.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі виконано створення цифрового топографічного плану масштабу 1:2000 території міста Південне Харківської області на основі сучасних технологій безпілотного аерофотознімання, фотограмметричного опрацювання та цифрового картографування. Реалізований комплекс робіт дозволив сформувати актуальну цифрову картографічну основу, придатну для вирішення широкого кола завдань у сфері містобудування, землеустрою, кадастру та управління територіальним розвитком.

У результаті виконаного дослідження встановлено, що застосування безпілотних літальних апаратів є одним із найбільш ефективних способів отримання геопросторових даних для створення великомасштабних топографічних планів. Використання матеріалів аерофотознімання забезпечує високу деталізацію місцевості, оперативність збору інформації та можливість отримання просторових даних із необхідною точністю для топографічного картографування масштабу 1:2000.

Проаналізовано сучасні підходи до збору топографічної інформації за допомогою безпілотних літальних апаратів, розглянуто особливості підготовки аерофотознімальних робіт та визначено основні технічні параметри аерофотознімання. Досліджено вимоги до перекриття знімків, параметрів польоту та характеристик цифрових камер, що використовуються для створення високоточних ортофотопланів і цифрових моделей місцевості.

Виконано аналіз технології фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання. Розглянуто основні етапи створення цифрової моделі рельєфу та цифрової моделі місцевості, включаючи формування щільної хмари точок, побудову цифрової моделі рельєфу, генерацію горизонталей та створення ортофотоплану. Визначено послідовність виконання камеральних робіт і формування вихідних геопросторових даних, необхідних для створення цифрового топографічного плану.

Виконано безпосереднє створення цифрового топографічного плану території міста Південне. Проведено аналіз вихідних геопросторових даних, сформовано цифрову модель рельєфу, виконано векторизацію об'єктів місцевості та створено тематичні шари цифрового плану. На плані відображено житлову та громадську забудову, транспортну інфраструктуру, гідрографічні об'єкти, зелені насадження, елементи інженерних мереж і рельєф місцевості. Особливу увагу приділено формуванню атрибутивної інформації та структуризації геопросторових даних для подальшого використання у геоінформаційних системах.

За результатами аналізу якості створеного цифрового топографічного плану встановлено, що він відповідає вимогам великомасштабного топографічного картографування масштабу 1:2000. Виконана перевірка топологічної коректності даних підтвердила відсутність критичних помилок геометрії та забезпечила цілісність сформованої цифрової моделі території. Проведений контроль точності показав відповідність створених матеріалів вимогам нормативно-технічної документації щодо точності планового та висотного положення об'єктів.

Визначено, що створений цифровий топографічний план може використовуватися як базова картографічна основа для розроблення містобудівної документації, ведення земельного кадастру, управління інженерною інфраструктурою, моніторингу забудови та функціонування муніципальних геоінформаційних систем. Важливою перевагою створеної цифрової основи є можливість її подальшого оновлення за результатами нових аерофотозніманих із використанням безпілотних літальних апаратів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні актуальної цифрової картографічної основи території міста Південне, яка може бути використана органами місцевого самоврядування, проєктними організаціями, землевпорядними підприємствами та іншими установами для забезпечення ефективного управління територіальним розвитком. Отримані результати підтверджують доцільність використання сучасних технологій

безпілотного аерофотознімання та цифрового картографування для створення топографічних планів великого масштабу та формування сучасних геоінформаційних ресурсів територіальних громад.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність : Закон України від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14>
2. Про землеустрій : Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15>
3. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17 лютого 2011 р. № 3038-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>
4. Порядок загальнодержавного топографічного і тематичного картографування : Постанова Кабінету Міністрів України від 04 вересня 2013 р. № 661. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013>
5. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). Київ : ГУГКК, 1999. 156 с.
6. Порядок ведення Державного земельного кадастру : Постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 1051. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012>
7. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Геопросторові дані: моделі та інфраструктури. Київ : НДІГК, 2006. 380 с.
8. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. Київ : НДІГК, 2006. 108 с.
9. Лященко А. А., Карпінський Ю. О. Основи геоінформаційних систем. Київ : НДІГК, 2015. 256 с.
10. Тревого І. С., Глотов В. М., Літинський В. О. Фотограмметрія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. 512 с.
11. Глотов В. М. Фотограмметрія та дистанційне зондування. Львів : Львівська політехніка, 2014. 436 с.
12. Шульц Р. В., Анопрієнко Т. Ю. Основи цифрової фотограмметрії. Київ : КНУБА, 2013. 280 с.

13. Перій С. С. Безпілотні літальні апарати у топографо-геодезичному виробництві. Львів : Львівська політехніка, 2018. 215 с.
14. Третьяк К. Р. Сучасні геодезичні технології та їх застосування. Львів : Львівська політехніка, 2015. 368 с.
15. Войтенко С. П. Інженерна геодезія. Київ : Знання, 2012. 574 с.
16. Кондратенко К. В. Застосування безпілотних літальних апаратів для топографічного картографування територій. Містобудування та територіальне планування. 2021. № 77. С. 182–191.
17. Лазоренко-Гевель Н. М. Використання безпілотних літальних апаратів для створення великомасштабних топографічних планів. Інженерна геодезія. 2020. № 67. С. 74–83.
18. Церклевич А. Л. Сучасні методи фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2022. № 96. С. 31–40.
19. Global Mapper Pro User Manual. Blue Marble Geographics. URL: <https://www.bluemarblegeo.com>
20. Global Mapper Pro Tutorials and Documentation. URL: <https://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase>
21. Digitals. Програмний комплекс цифрового картографування. Керівництво користувача. Вінниця : Аналітика, 2023. 342 с.
22. Pix4Dmapper. Getting Started Manual. URL: <https://support.pix4d.com>
23. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: a review. Applied Geomatics. 2014. Vol. 6. No. 1. P. 1–15.
24. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2014. Vol. 92. P. 79–97.
25. Eisenbeiss H. UAV Photogrammetry. Zürich : ETH Zurich, 2009. 235 p.
26. Tomljenovic I., Medak D., Pribicevic B. UAV Photogrammetry in Engineering Surveys. Geodetski List. 2015. Vol. 69. No. 4. P. 317–332.

27. National Infrastructure for Geospatial Information. United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management. URL: <https://ggim.un.org>

28. INSPIRE Data Specification on Elevation. European Commission. URL: <https://inspire.ec.europa.eu>