

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

к.е.н., доцент

_____ Оксана МАЛАЩУК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Геодезія та землеустрій»
за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»**

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИКОНАННЯ
ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ВЕЛИКОМАСШТАБНОМУ
ТОПОГРАФІЧНОМУ ЗНІМАННІ**

Науковий керівник:

_____ к.е.н. доц. В'ячеслав ФОМЕНКО

Рецензент:

_____ Олег ШУРИПА

Виконав здобувач денної форми навчання

_____ Жан КРАКОВЕЦЬКИЙ
*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

_____ Жан КРАКОВЕЦЬКИЙ

ОДЕСА – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. завідувача кафедри

доц. В'ячеслав ФОМЕНКО

«_____» _____ 202_р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Краковецький Жан Петрович

1. Тема проєкту: «Дослідження методів і засобів виконання геодезичних робіт при великомасштабному топографічному зніманні».

Керівник проєкту: к.е.н. доц. В'ячеслав ФОМЕНКО, затверджені наказом закладу вищої освіти від _____ 202__ р. № _____.

2. Строк подання здобувачем роботи _____ 2025р

3. Вихідні дані проєкту: матеріали топографо-геодезичних робіт.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. Висновки. Аналіз і дослідження сучасних засобів збору топографо-геодезичної інформації. Створення геодезичної основи при проведенні великомасштабного топографічного знімання. Технології створення топографічного плану. Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема трансформаційного поля
2. Ортофотоплан
3. Топографічний план

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	примітка
1	Вступ		
2	Аналіз і дослідження сучасних засобів збору топографо-геодезичної інформації		
3	Створення геодезичної основи при проведенні великомасштабного топографічного знімання		
4	Технологія створення топографічного плану		
7	Висновки		
8	Список використаної літератури		

Здобувач

Жан Краковецький

Керівник роботи

В'ячеслав ФОМЕНКО

Гарант ОПП

Оксана МАЛАЩУК

РЕФЕРАТ

Дослідження методів і засобів виконання геодезичних робіт при великомасштабному топографічному зніманні – Кваліфікаційна робота. ОДАУ, кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2025. – 73 сторінки текстової частини, 29 літературних джерел, 3 аркушів графічної частини.

Текстова частина складається з: вступу; аналізу і дослідження сучасних засобів збору топографо-геодезичної інформації; створення геодезичної основи при проведенні великомасштабного топографічного знімання; технології створення топографічного плану; висновків; списку використаної літератури.

Графічна частина містить: схема трансформаційного поля, ортофотоплан, топографічний план М 1:500.

Об'єктом розробки кваліфікаційної роботи являється підстанція 330кВ «Трихати» Миколаївської області.

Ключові слова: ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ, ВЕЛИКОМАСШТАБНЕ ЗНІМАННЯ, БПЛА, ГЕОДЕЗИЧНА ОСНОВА, РТК.

Кваліфікаційна робота об'єднує аспекти дослідження та практичні рішення щодо сучасних методів і засобів виконання геодезичних робіт при великомасштабній зйомці території об'єктів енергетичного комплексу.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Аналіз і дослідження сучасних засобів збору топографо-геодезичної інформації	8
1.1 Загальна характеристика великомасштабних планів	8
1.2 Застосування технологій GPS та GNSS RTK (Real-Time Kinematic) у великомасштабному зніманні	20
1.3. Сучасні геодезичні прилади для зйомки та програмні засоби для обробки великомасштабних геодезичних даних	34
2. Створення геодезичної основи при проведенні великомасштабного топографічного знімання	40
2.1 Планове і висотне обґрунтування для топографічних зйомок великих масштабів	40
2.2 Рекогноситування геодезичних мереж та закладання центрівпунктів	50
2.3. Прилади для проведення геодезичних робіт	52
3. Технологія створення топографічного плану	58
3.1 Процес створення цифрової моделі місцевості та рельєфу	58
3.2 Фотограмметричне опрацювання матеріалів аерознімання, зібраних БПЛА, за допомогою Global Mapper Pro v24	60
3.3 Створення цифрового топографічного плану масштабу 1:500 на основі ортофотоплану	63
3.4 Вимоги до створюваного топографічного плану	66
Висновки	69
Список використаної літератури	70

Графічні додатки:

1. Схема трансформаційного поля
2. Ортофотоплан
3. Топографічний план М 1:500

ВСТУП

Актуальність використання широкомасштабних планів включає різноманітність їх застосування, таких як розробка генеральних планів для міст та сіл, розробка проєктів будівництва та реконструкції, проєкти землеустрою. Оновлення та створення топографічних планів для цих потреб вважаються важливим завданням і вимагають дотримання сучасних стандартів у виконанні робіт. Результати топографічних зйомок, які можуть бути у вигляді графічних планів або цифрових моделей, створюються за допомогою персональних комп'ютерів. Для вирішення конкретних завдань створюють спеціалізовані топографічні плани відповідно до відомчих інструкцій.

Проведення геодезичних робіт у великому масштабі грає ключову роль у точності та ефективності картографування та аналізу територій. Сучасні методи забезпечують не лише точність збору геопросторових даних, але й їхню швидкість та якість, що важливо для великомасштабних проєктів. Нові можливості, такі як використання аерокосмічних датчиків та систем штучного інтелекту, підвищують ефективність збору та обробки даних, зменшуючи витрати часу та ресурсів.

Глибокий аналіз та дослідження сучасних методів геодезичних робіт у великому зніманні територій є ключем до розвитку новітніх технологій у цій сфері. Розуміння принципів роботи сучасних інструментів дозволяє вдосконалювати методи збору та обробки даних для якіснішого картографування та вивчення великих територій.

Метою цього дослідження є аналіз сучасних методів та засобів виконання геодезичних робіт у великому масштабі з метою поліпшення якості та ефективності цього процесу.

Щодо стану вивчення проблеми, багато українських вчених, таких як Юрій Карпінський, Ігор Тревого, Аполлінарій Островський, Анатолій Лященко та інші, займались питаннями великомасштабного знімання

територій. Створення великомасштабних планів має важливе значення для картографування України, оскільки існуючі топографічні плани вимагають оновлення, адже перестають б відповідати сучасному стану місцевості. Тому необхідно постійно вдосконалювати це питання та впроваджувати нові методи та прилади.

Основною метою роботи є продемонструвати актуальність використання сучасних засобів геодезії для виконання великомасштабних знімань великих масштабів. Об'єктом дослідження є засоби та технології використання сучасних приладів та розробка комплексу робіт при складанні топографічного плану ділянки, а предметом є конкретна ділянка місцевості.

Методи дослідження включають порівняльний аналіз, теорію похибок вимірювань, результати спостережень, статистичні методи тощо. Практичне значення результатів полягає в закріпленні, розширенні та систематизації на практиці теоретичних знань, отриманих під час навчання, випробуванні можливостей самостійної роботи в умовах виробництва та вивченні сучасних програмних комплексів.

1 АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ЗБОРУ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Загальна характеристика великомасштабних планів

Топографічні плани з різними масштабами, такими як 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, поділяються на основні, призначені для загальних топографічних завдань у містах та промислових районах, та спеціалізовані (вишукувальні, виконавчі, інвентаризаційні, кадастрові тощо). Основні великомасштабні плани створюються відповідно до вимог Укргеодезкартографії та Інструкції з топографічного знімання у вказаних масштабах [18] і відображають всі об'єкти, контури та деталі рельєфу у встановлених умовних знаках.

При розробці спеціалізованих планів дотримуються вимог державного картографування, ДБН та спеціальних умов у технічному завданні. Використання відомчих умовних знаків для зображення об'єктів та контурів місцевості допускається, особливо, при вивченні підземних інженерних мереж, залізничних вузлів та інших. Серед спеціалізованих планів значне місце займають інженерно-топографічні плани, які використовуються для проєктування, будівництва, реконструкції та експлуатації інженерних споруд. Вони поділяються на вишукувальні, виконавчі, інвентаризаційні та кадастрові плани. Перші використовуються під час пошуків для вибору місця побудови об'єкта, другі - для контролю відповідності споруди проєкту під час будівництва, треті - для експлуатації споруд та їх обліку, технічного обслуговування, ремонту підземних комунікацій тощо.

Кадастрові плани - це детальне відображення державних та приватних володінь, споруд, земельних ділянок, лісових та водних угідь, як на основних топографічних планах, так і з додатковою оцінкою вартості та якості.

Точність, деталізація та повнота топографічних планів визначаються за величинами сумарних СКП у плановому та висотному положенні точок

ситуації та рельєфу. Якщо врахувати, що кожна точка плану має свої координати на місцевості, то СКП планового положення точок визначається як m_m згідно зформулою.

$$m_m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \approx m_k \sqrt{2} \quad (1.1)$$

$$m_x = m_y = m_k \quad (1.2)$$

Похибки вимірювання координат точки походять від неточностей у побудові знімальної основи, помилок при зніманні, а також від неправильностей у графічних конструкціях під час створення графічних або фотографіметричних планів, які пізніше можуть деформуватися.

Згідно з Інструкцією [18] щодо точності визначення положення точок відносно найближчих пунктів знімальної основи, точність на плані будь-якого масштабу має бути не більше 0,5 мм для чітких контурів на забудованих територіях та 0,9 мм для лісових насаджень і гірських районів. Але ці вимоги можуть змінюватися в залежності від проектних завдань, скорочуючись до 0,2 мм для об'єктів серед капітальних будівель та збільшуючись до 0,5 мм на незабудованих територіях.

Експериментальні дані, відповідно до вимог Інструкції [18], показують, що m_k має бути в межах 0,18-0,30 мм, а m_m - в межах 0,3-0,4 мм. Припускається, що точність копій планів, ураховуючи похибки копіювання та деформацію носія, складає 0,5 мм.

Деталізація плану залежить від рівня допустимого узагальнення контурів об'єктів і рельєфу під час складання планів і змінюється в залежності від їх масштабу. Згідно з вимогами Інструкції, похибки узагальнення чітких контурів на плані не повинні перевищувати 0,5 мм, а щодо архітектурних деталей - 0,3 мм у масштабі плану [18]. У рамках цих вимог можна вносити коригування до контурів і меж. Ступінь наповнення контурами об'єктів і деталями рельєфу визначає повноту плану, яка виражається мінімальними розмірами об'єктів і відстанями між ними.

Картографічні роботи з відображення капітальної забудови та підземних комунікацій вимагають найбільшої повноти плану, особливо під час їх реконструкції. У таких випадках, вимоги до повноти плану є важливими при виборі масштабу, який обчислюється за наступною формулою:

$$M = lm, \quad (1.3)$$

де lm - необхідний просвіт між знаками в міліметрах

Ортофотоплани, сформовані на основі аерофотознімання, забезпечують найбільш деталізовану інформацію про конфігурацію об'єктів та рельєф місцевості. Згідно з дослідженнями професора Ю.К. Неумивакіна, інформаційні характеристики (IX), що відображають повноту та рівень деталізації плану, можуть бути представлені як середня кількість інформації на 1 гектар площі. Максимальні значення IX для різних масштабів подано в табл.1.1.

Таблиця 1.1 Максимальні значення IX в залежності від масштабу

M	5000	2000	1000	500
IX _{max}	26	112	321	496

У великих містах з забудовою до 25%, максимальний рівень інтенсивності забудови $IX_{max} = 480$. Для детального проєктування необхідно мати 300-400 IX інформації щодо забудованих територій. Отже, згідно з вимогами ДБН, масштаб зйомки для таких територій повинен становити 1:500.

Точність виконання картометричних робіт, включаючи визначення відстаней, напрямів, довжини лінії-S та її дирекційного кута (азимута), виміряних на плані або розрахованих за координатами кінцевих точок (також визначених графічно з плану), можна обчислити за відповідними формулами з урахуванням потрібної точності.

$$m_s = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = m_m \sqrt{2}; \quad m_\alpha = \frac{m_s}{s} \rho \approx \frac{m_m \sqrt{2}}{s} \rho \quad (1.4)$$

де m_1, m_2 — СКП положення точок на плані.

Отже, при відхиленні чіткої точки на плані на 0,4 мм похибка у відстані складе 0,56 мм в масштабі плану і 20' для дирекційного кута лінії довжиною 100мм на плані.

Вимірювання площі може проводитися різними методами, такими як використання планіметра (механічного чи електронного) або аналітичний розрахунок на основі координат контурів ділянки. Механічні планіметри, наприклад, *Pianix* серії S10 "marble", відрізняються роликовою базою, обвідним важелем зі шпилем та лупою. Цифровий блок у таких планіметрах дозволяє зберігати вимірювальні результати та обчислювати площу з урахуванням масштабу плану, а також вимірювати довжини прямих і кривих ліній, радіуси кривих, координати точок і топографічну деформацію. Усі ці дані можна обробити за допомогою електронних планіметрів, таких як дигітайзери для ручного цифрування або планшетні сканери, які сумісні з комп'ютером.

Відносна похибка вимірювань різними типами планіметрів становить 1:300-1:1000 площі. Щодо визначення похибки обчислення площі за координатами контурів, це можна здійснити за допомогою формули, розробленої проф. Масловим О. В.:

$$m_F = \frac{m_m}{2\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (1.5)$$

де S_i - віддалі між точками полігона ($i = 1, 2, 3, \dots, n$); n - кількість точок.

Похибка визначення за координатами площі витягнутого прямокутника, яка при відношенні сторін $\lambda = a/b$ має вигляд:

$$m_F = \frac{am_m}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 + 1} \approx am_m \quad (1.6)$$

Формула, що використовується для прямокутника з довжиною a та шириною b , показує значний ріст похибки при малих значеннях b порівняно з a .

$$m_F = m_m \sqrt{F} \sqrt{\frac{1+\lambda^2}{2\lambda}} \quad (1.7)$$

Максимальна точність досягається при $\lambda=1$ і рівна

$$\frac{m_F}{F} = \frac{m_m}{\sqrt{F}} \quad (1.8)$$

тобто, при $m_m=0,3\text{мм}$, $F = 25\,000\text{мм}^2$, $\frac{m_f}{F}=0,6\%$

При вимірюванні або розрахунку великих площ слід враховувати вплив кривизни Землі, оскільки площі ділянок на еліпсоїді менші, ніж площі на карті в проекції Гаусса-Крюгера. Згідно з [8], ця різниця збільшується зі зростанням площі і складає 8, 31, 128, 512 і 2 049 м² на площах відповідно 64, 128, 256, 512 і 1 024 км² (максимальна відносна похибка не перевищує 1:500 000).

Щодо точності зображення рельєфу, згідно з дослідженнями професора М.Г. Відуєва, похибка висоти точки, визначеної за горизонталями топографічного плану, виражається формулою.

$$m_H = 0,19 h_0 + 0,0001 M u_{\text{ср}} \quad (1.9)$$

де - M , h_0 - знаменник масштабу плану і висота перерізу рельєфу; $u_{\text{ср}}$ - середній ухил місцевості.

Проф. В.Д. Большаков пропонує цю похибку враховувати за формулою:

$$m_H = \sqrt{\omega^3 \left(l + \frac{h_0}{u_{\text{ср}}} \right) + m_{\text{НПК}}^2 + (m_m M)^2 u_{\text{ср}}^2} \quad (1.10)$$

де ω - коефіцієнт випадкового впливу помилок за узагальнення рельєфу (топографічної шорсткості поверхні), приведений до довжини 1 м, міняється від 0,012 для рівнини до 0,020 в гірських районах;

l - віддаль між пікетами в метрах; $m_{\text{НПК}}$ - СКП визначення планового положення точок, приймається 5см;

Для планів масштабу 1:500-1:1000, що використовуються для вертикального планування територій Бараном П.І. [7] виведена залежність:

$$m_H = \sqrt{h \left(\frac{h_0}{2t} \right)^2 + \frac{2}{3} (M m_n u)^2} \quad (1.11)$$

де m_n — похибка вимірювання віддалей на плані; u — ухил місцевості;
 t — коефіцієнт, що враховує похибку нанесення горизонталі на план (згідно з Інструкцією з топографічного знімання його приймають рівним 3 для горбистої та 4 для рівнинної місцевостей).

Різні дослідження вказують на точність відображення рельєфу на великомасштабних планах [11], де позначки можуть мати похибки: 0,08-0,12 м при перерізі рельєфу 0,5 м на планах масштабу 1:500 та 1:1 000; 0,18-0,22 м на планах масштабу 1:2 000 з перерізом рельєфу 1 м і 0,30-0,40 м на планах масштабу 1:5 000 з перерізом рельєфу 1 м.

У табл. 1.2 у графі 4 представлені розрахунки значень m_H за формулою Большакова для рівнинних районів ($\omega=0,012$, $u_{cp}=0,05$), у графі 5 — за формулою Відуєва, у графі 6 — за формулою Барана, і у графі 7 — відповідно до вимог

Інструкції [18]. Аналіз даних таблиці підтверджує, що вимоги Інструкції [18] теоретично і експериментально обґрунтовані, а при належній роботі досягається нормативна точність.

Таблиця 1.2 Точність зображення рельєфу

M	$h_0, \text{м}$	$l, \text{м}$	$m_H, \text{см}$	$m_H, \text{см}$	$m_H, \text{см}$	$m_H, \text{см}$
1	2	3	4	5	6	7
500	0,5	20	8,6	10	6	12÷17
1000	0,5	30	10,3	10	6	12÷17
2000	0,5	50	12,7	10	6	17
2000	1,0	70	14,3	20	12	25
5000	1,0	100	18,0	21	12	25

Інструкція [18] встановлює, що для ефективного зображення рельєфу в рівнинних місцевостях з найвищою точністю ($m_H = 0,2h_0$), мінімально допустиме січення рельєфу (h_{min}) повинне становити 0,5м при $m_{Hmin} = 0,1$ м. На планах для спланованих територій доцільно застосовувати значення менше за це. Враховуючи також зручність використання плану, бажано, щоб значення заложення-З знаходилося в межах від 5мм до 20мм.

$$h_0 = 3Mu , \quad (1.12)$$

При умовах $u_{max}=0,5$ при $M=500$ та $З_{min}=5$ мм, визначено h_0 як 0,5м. Для $u_{min}=0,05$ при $M=500$ та $З_{max}=20$ мм також отримано $h_0=0,5$ м. Отже, для масштабу 1:500 висота січення 0,5м є найбільш обґрунтованою.

Похибки перевищення та ухилу визначаються за позначками точок плану з використанням відповідних формул.

$$m_h = m_H \sqrt{2}; m_u = \frac{m_h}{S}, \quad (1.13)$$

де S - відстань між точками проектної лінії.

Масштаби топографічного картографування, такі як 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000 (1:250000), та 1:1000000, використовуються для створення національних, державних і економіко-господарських карт, надаючи їм відповідні статуси залежно від масштабу: 1:200000(1:250000) - національна, 1:50000 - державна, 1:10000 - економіко-господарська.

Інженерні дослідження базуються на різноманітних масштабах топографічних карт і планів: менші масштаби 1:100000, 1:50000, 1:25000 і 1:10000 оновлюються кожні 15 років, тоді як великі масштаби 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 оновлюються згідно з розвитком забудови.

При зміні даних на карті на 35%, актуальність перевіряється, і приймається рішення про оновлення або новий знімок. Великомасштабні знімки чи оновлення проводяться різними методами: аерофотозніманням,

космічними знімками або наземними методами, такими як тахеометричне, мензульне, фототеодолітне знімання з лазерним скануванням.

Технічні вимоги для складання та оновлення велико-масштабних топографічних планів визначені в Інструкції [18]. Плани можуть бути створені шляхом натурного знімання або картоукладання у графічній або цифровій формах, крім масштабу 1:500. Нормативний документ [23] перелічує об'єкти місцевості, що повинні бути відображені на планах різних масштабів та встановлює висоту перерізу рельєфу горизонталями. Встановлення останніх залежить від нахилу місцевості і може бути: 0,5, 1, 2 і 5 м на планах масштабу 1:5000; 0,5, 1 і 2 м - масштабу 1:2000; 0,5 і 1 м - масштабу 1:1000.

Положення на планах капітальних споруд не повинні перевищувати 0,4 мм відносно точок знімальної мережі, контурів з чіткими обрисами - 0,5 мм, а у гірських та лісових районах - 0,7 мм. У деяких випадках, при обґрунтуванні, можна зменшити графічну точність плану, наприклад, скласти план масштабу 1:500 з точністю 1:1000.

Геодезичною основою великомасштабних знімань є пункти ДГМ різних класів, геодезичні мережі згущення, знімальна геодезична мережа, а також марки і реperi Державної нівелірної мережі. Координати пунктів і висоти реперів визначаються у державних системах координат (УСК-2000) і висот (Балтійська 1977 р.). Щільність пунктів ДГМ для створення знімальної геодезичної основи встановлюється: по 1-му пункту і реперу відповідно на площу 20-30 км² і 10-15 км² для планів масштабу 1:5000 та на площу 5-15 км²; 5-7 км² - для планів 1:2000. Загальна щільність пунктів ДГМ та мереж згущення має бути не меншою за 4 та 1 пункт/км² відповідно для забудованих та незабудованих територій.

Останнім часом топографічні карти створюються на основі геопросторових даних, що включають інформацію про геодезичну основу, рельєф, гідрографію, транспорт, адміністративно-територіальний устрій,

населені пункти, будівлі, рослинність, гранти, географічні назви, аеро- та космічні зображення, ортофотоплани та фотокарти. Ці картографічні матеріали базуються на даних від дистанційного зондування Землі та глобальних навігаційних супутникових систем і оновлюються через топографічний моніторинг, що включає виконавчі знімання не рідше одного разу на рік.

Топографічні карти можна поділити на аналогові, цифрові та електронні в залежності від методу їх створення та відображення інформації про природні та штучні об'єкти місцевості, явища та їх взаємозв'язки. Аналогові карти містять графічне зображення на фізичних носіях, таких як папір або пластик, у певних символах, що відповідають класифікації топографічних об'єктів. Ці картографічні матеріали розробляються з використанням технологій відредакційної підготовки до поліграфічного відтворення, дотримуючись встановлених керівних документів, масштабу карти та можливостей сприйняття. Цифрові топографічні карти (ЦТК) — це цифрові моделі, які містять інформацію про територію, зберігаються у банках цифрових картографічних даних (БЦКД). Їх створюють програмно-технічними засобами на основі класифікації об'єктів, кодування атрибутів та метаданих у відповідних системах координат, висот, масштабів і проекцій. ЦТК є основою для ГІС і створення електронних карт. Незалежно від методу створення, ЦТК мають забезпечувати автоматизоване визначення даних про розташування об'єктів, включати цифрові значення характеристик об'єктів у системі класифікації та дозволяти внесення змін до змісту карти.

Усі топографічні карти мають використовувати рівнокутну поперечно-циліндричну проекцію Гаусса з параметрами еліпсоїда Ф.М. Красовського у шестиградусних зонах Державної геодезичної системи координат УСК-2000, з переходом на поперечно-циліндричну проекцію Меркатора. Ортофотокарти та фотокарти створюються для оперативного забезпечення

карто-графічними матеріалами окремих територій з мінімальним використанням штрихових елементів.

Для великомасштабного картографування використовують метод фототопографічного знімання за матеріалами аеро- та космічних знімків. Космічні знімки Quick Bird із роздільною здатністю 0,61 м використовуються для оновлення основних топографічних карт і планів масштабів до 1:5 000 у рівнинних районах та 1:10 000 у гористих місцевостях. Кольорові супутникові знімки GEOEye-1 з роздільною здатністю 0,5 м та монохромні супутникові стереопари Cartosat із здатністю 2,5 м, за умови виконання планово-висотної прив'язки, дозволяють створювати 3D цифрові моделі в середовищі OrenSceneGraph/Avango.

Більшість картографічних матеріалів покриваються зображеннями з роздільною здатністю від 0,15 м/піксель до 0,6 м/піксель. Останні роки показують тенденцію використання растрових зображень з Google Earth для створення вишукувальних планів масштабу 1:2000 за допомогою графічних редакторів, таких як AutoCad, з подальшою планово-висотною прив'язкою, дозйомкою та дешифруванням.

Для візуалізації використовується тривимірна модель земної кулі в абсолютних висотах. Створення планів масштабів 1:1000 – 1:500 виконують за допомогою аерофотознімання та лазерного сканування відповідно до вимог [18]. Протягом багатьох років в Україні проводилося аерофотознімання за допомогою аналогових фотокамер типу UMK Zeiss із фокусною відстанню об'єктива 152 мм та різними зальотами. Технологія обробки цих знімків включала проявлення, сканування негативів, прив'язування контрольних точок, мережу фототріангуляції, створення ортофотопланів та інших планів.

Процес сканування негативів включав кілька етапів: попереднє сканування, корекцію яскравості та контрастності за допомогою обробки гістограми, і остаточне сканування з вказаною роздільною здатністю, зазвичай 16-24 мкм. Для цього використовувався фотограмметричний сканер

RM-4 та програмне забезпечення WinScan, розроблені ДНВП "Геосистема" у м. Вінниця. Далі, ДНВП "Геосистема" створила цифрову аерофотокамеру DAS-1, яка замінила процес сканування, дозволяючи передавати цифрові аерофотознімки безпосередньо в комп'ютер для фотограмметричного опрацювання. Ця камера складається з трьох окремих камер - надирної, передньої та задньої, з різними кутами відхилення осей та фокусною відстанню.

Технологія аерофотознімання спрощує навігацію літака та підвищує точність побудови фотограмметричних мереж за допомогою вимірювання кутів відхилення осі камери від вертикалі та GPS-прив'язки центрів фотографування.

Створення фотограмметричних мереж використовує метод блочної фототріангуляції, а вимірювання координат точок проводиться автоматично або напівавтоматично. Для побудови цифрової моделі рельєфу переважно використовують стереомоделі, визначаючи вузли регулярної сітки та роблячи структурні лінії в місцях різкого зміни рельєфу.

Ортофотоплани створюються на основі аерофотознімків та фототріангуляції з використанням програмного забезпечення "Дельта-32" згідно з Умовними знаками для різних масштабів. Запис ортофотопланів виконується на CD у форматах *.DMF або *.TIF, а також друкується на кольорових плотерах. Графічні топографічні плани створюються за матеріалами аерофотознімання, використовуючи фототріангуляцію та матеріали польового дешифрування, відповідно до вимогі інструкцій та умовних знаків для відповідних масштабів. На невеликих територіях економічно доцільніше використовувати дані наземного знімання.

Необхідно виконувати аерофототопографічне знімання контурної частини забудованих територій на фотопланах. Якщо аерофотоматеріалів немає або їх створення не економічно доцільне, можна використовувати наземне знімання. Топографічне знімання міських та промислових територій

здійснюється аналітичним методом у масштабі 1:500 (1:1 000) з використанням електронного тахеометра і обов'язковим визначенням координат.

Горизонтальне знімання забудованих територій включає зйомку фасадів, проїздів та внутрішньо-квартальної ситуації. Теодолітний хід прокладають з одного боку вулиці, а в разі необхідності забезпечення видимості на всі точки ситуації обирають сторони ходу, які дозволяють вести знімання складних фасадних контурів будинків способом прямокутних координат.

Контрольні вимірювання виконують на перетині вулиць між протилежними закоординованими рогами будинків. У випадку довгих кварталів проводять виміри на поперечниках між точками протилежних фасадів.

Зйомка проїздів включає зйомку фасадної лінії, обміри контурів будівель, визначення координат кутів кварталів і рогів капітальних споруд, а також контрольні проміри відстаней між протилежними сторонами фасадів.

Вертикальне знімання включає нівелювання проїздів і територій кварталів по поперечниках або квадратах. Визначають позначки відмосток будинків, границь тротуарів, бордюрного каменю, кюветів, лотків, з допустимою похибкою нівелювання точок до 20 мм.

Під час використання електронного тахеометра координати точок ситуації визначають у полярних координатах з пунктів теодолітних ходів, прив'язаних до пунктів полігонометрії. Квартальну забудову знімають за допомогою прокладання основних (вуличних) теодолітних ходів або із створних ліній, які базуються на пунктах цих ходів. У густонаселених районах використовують як створні точки основних ходів, так і точки ходів 2-го порядку з короткими сторонами (20-30 м) для розміщення тахеометра. Похибка вимірювання прямокутних координат для масштабу 1:500 становить 30 мм. Знімання рельєфу проводять паралельно з вимірюванням ситуації за

допомогою тахеометра. Згідно з інструкцією [18], теодолітні ходи з використанням електронних засобів вимірювання відстаней прокладають з граничними відносними похибками 1:2000. Використання GPS-методу у складних висотних умовах ускладняється можливими похибками через спотворення радіосигналу. Незалежно від методу зйомки виконують:

- вимір будівель;
- аналітичне визначення координат рогів капітальних споруд;
- визначення висот головок рейок, бровок дорожнього полотна, відмосток будівель, лотків і т.д.
- на заокругленнях визначають головні точки та основні елементи кривих.

Зйомку незабудованих територій на відкритих місцевостях рекомендується проводити за допомогою GPS у режимі RTK або електронної тахеометрії. Інструкція [18] містить вимоги до знімання та згущення геодезичних мереж для різних типів територій. Щільність точок знімальної основи може варіюватися від 10 до 50 в залежності від масштабу. Для точного відображення рельєфу на площинах, що вимагають високої точності (наприклад, аеропорти), використовується метод нівелювання поверхні за квадратами розміром від 20х20 до 40х40 м в масштабах від 1:500 до 1:2000. Геодезичну основу для цього методу створюють методом полігонометрії, тріангуляції, GPS або теодолітного ходу залежно від масштабу і точності, зменшуючи пізніше кількість точок для формування нівелірної сітки. Нівелювання поверхні проводиться з кількох стоянок приладу в кожному квадраті, після чого складається план з горизонталями через 0,25 м для детального планування рельєфу та будівництва споруд.

1.2. Застосування технологій GPS та GNSS RTK (Real-Time Kinematic) у великомасштабному зніманні

Визначення координат у режимі RTK є найбільш продуктивним,

оскільки диференційні GNSS поправки передаються в реальному часі з базової станції на роверний GNSS приймач. Це унеможливорює грубі помилки вихідних пунктів та забезпечує операторам отримання координат у режимі реального часу.

Основні переваги цього режиму включають:

- Визначення координат по всій зоні покриття мобільної мережі з GSM/GPRS сигналом і в місцях доступу до мережі Інтернет через інші канали зв'язку.
- Можливість працювати в будь-якій системі координат.
- Контроль точності під час вимірювань безпосередньо під час їх проведення.
- Зменшення витрат на устаткування та ресурси, оскільки для роботи потрібен лише один комплект роверного приймача.
- Збільшення продуктивності роботи завдяки швидкому визначенню координат (деяка операція займає кілька секунд).
- RTK режим не вимагає постобробки базових ліній та підтримує можливість використання додаткових сервісів, таких як постобробка сирих даних RINEX та використання віртуальної базової станції VRS під час постобробки кінематичних вимірів. Ця технологія доступна 24/7 та може використовуватися для комплексного застосування GNSS мережі.
- GPS та GNSS використовуються для точного визначення місцеположення на землі. Ці технології широко використовуються в геодезії, картографії, сільському господарстві, екології, транспорті та інших галузях для збору точних геопросторових даних. Вони є ключовими для планування та розвитку проєктів у різних сферах.

Метод засічок положення приймача від відомих положень космічних апаратів реалізується за допомогою диференціального і відносного методів спостереження. У цих методах використовуються не менше двох приймачів, один з яких розташовується на опорному пункті з 38 відомими

координатами, а другий - з об'єктом. Вони дозволяють отримати високу точність у визначенні положення: приблизно 1-15 м для абсолютного методу та значно вище для диференціального і відносного, навіть досягаючи сантиметрового рівня.

У режимах статички та кінематики приймачі можуть бути стаціонарними або один з них - рухомий. Під час статичних спостережень обидва приймачі залишаються стаціонарними, що дозволяє накопичувати дані для підвищення точності. У кінематичному позиціонуванні один приймач рухається, що робить втрату захоплення сигналу супутника більш проблематичною порівняно зі статичним позиціонуванням. Для статичного і кінематичного позиціонування можна використовувати одночастотну та двочастотну супутникову апаратуру. Однак двочастотні спостереження дозволяють уникнути більшої частини помилок, що дозволяє проводити спостереження на великих відстанях до декількох тисяч кілометрів.

Відносне позиціонування по фазовим вимірам є найбільш точним методом визначення положень, і його часто використовують геодезисти. Щодо режимів спостережень, можна виділити статистику, швидку статистику та реокупацію. Режим "Статика" є найбільш точним, але тривалим (понад 1 годину), дозволяє досягати великих відстаней між приймачами (до 5000-7000 км за двочастотних вимірів). Режим "Швидка статика" швидший в 2-4 рази, але обмежений відстанню до 20 км. Обидва режими використовують GNSS приймачі для збору даних з супутникових систем, що подальші оброблюються на комп'ютері.

Збір даних із супутників на кожній точці, як правило, триває до 20 хвилин і дозволяє базову лінію до 10 кілометрів. Отримання координат відбувається при подальшій обробці даних від геодезичних GPS систем. Режим "Реокупація" використовується при слабкому геометричному факторі або недостатній кількості супутників, забезпечуючи короткі сеанси спостережень на точках і подальше повторне відвідування цих точок. Для

спостережень рухливою станцією використовують два прийоми тривалістю не менше 10 хвилин кожен з інтервалом від 1 до 4 годин. "Кінематика" та "Безперервна кінематика" використовуються для зйомки двома або більше GNSS приймачами, де один встановлюється на точці з відомими координатами, а інший переміщується для зйомки. "RTK" дозволяє отримувати координати 40 точок у реальному часі і потребує двох двочастотних приймачів ГЛОНАСС GPS. "Стій-іди" є варіантом кінематичного режиму, де станцію переміщують з точки на точку, зупиняючись на кожній для отримання декількох епох вимірювань. Фазові вимірювання використовуються для досягнення високої точності. Технології GPS включають кінематику реального часу, безперервне стеження, *stop-and-go*, швидку статику та статику для різних видів геодезичних робіт. Супутникові спостереження - ефективний спосіб визначення координат геопросторових даних.

Технологічні процеси у геодезії формуються з використанням різних методів, таких як тріангуляція, трилатерація, полігонометрія, нівелювання тощо. Геодезичні вимірювання мають широкий діапазон точності, який коливається від $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-7}$. Точність вимірювань у 25 технологічних процесах визначається класом виконання робіт, наприклад, різними класами нівелювання та полігонометрії. ГНСС-метод у статичному режимі за інструкцією [18] визначає координати будівельних об'єктів, проте є новіші та більш сучасні методи у ГНСС, що відкривають перспективи для їх дослідження та використання у інженерно-геодезичних роботах.

Таблиця 1.3 містить основні вимоги до визначення координат ГНСС-методом у статичному режимі.

Таблиця 1.3 Основні вимоги до супутникових спостережень

№	Найменування вимог	Клас мережі		
		2 клас	3 клас	4 клас
1	2	3	4	5
1	Тривалість сеансів безперервних вимірювань (не менше), год.	4-6	2-4	1-2
2	Типи супутникових приймачів	2 частотні	2 частотні	1 частотні
3	Найменша кількість супутників, які спостерігається одночасно	4	4	4
4	Максимально допустиме значення GDOP	5	5	5
5	Точність визначення координат, не більше, мм	40	40	50
6	Відносна похибка визначення вектора-бази, не більше	1:300 000	1:150 000	1:25 000
7	Кількість повторних вимірювань висоти антени протягом сеансу спостережень (не менше)	2	2	2
8	Кількість незалежних центрувань антени на пункті (не менше)	1	1	1

Статичний ГНСС-метод має високу точність, проте його недоліком є тривалість спостережень та опрацювання для визначення координат [3, 4, 5, 6, 8, 9, 26, 28]. Розвиток активних ГНСС-мереж в Україні є результатом спільних зусиль держави та приватного сектору. На 2022 рік було встановлено 407 ГНСС- станцій, які організовані у шість різних мереж, власність та підпорядкування яких представлені на рисунку 1.1.

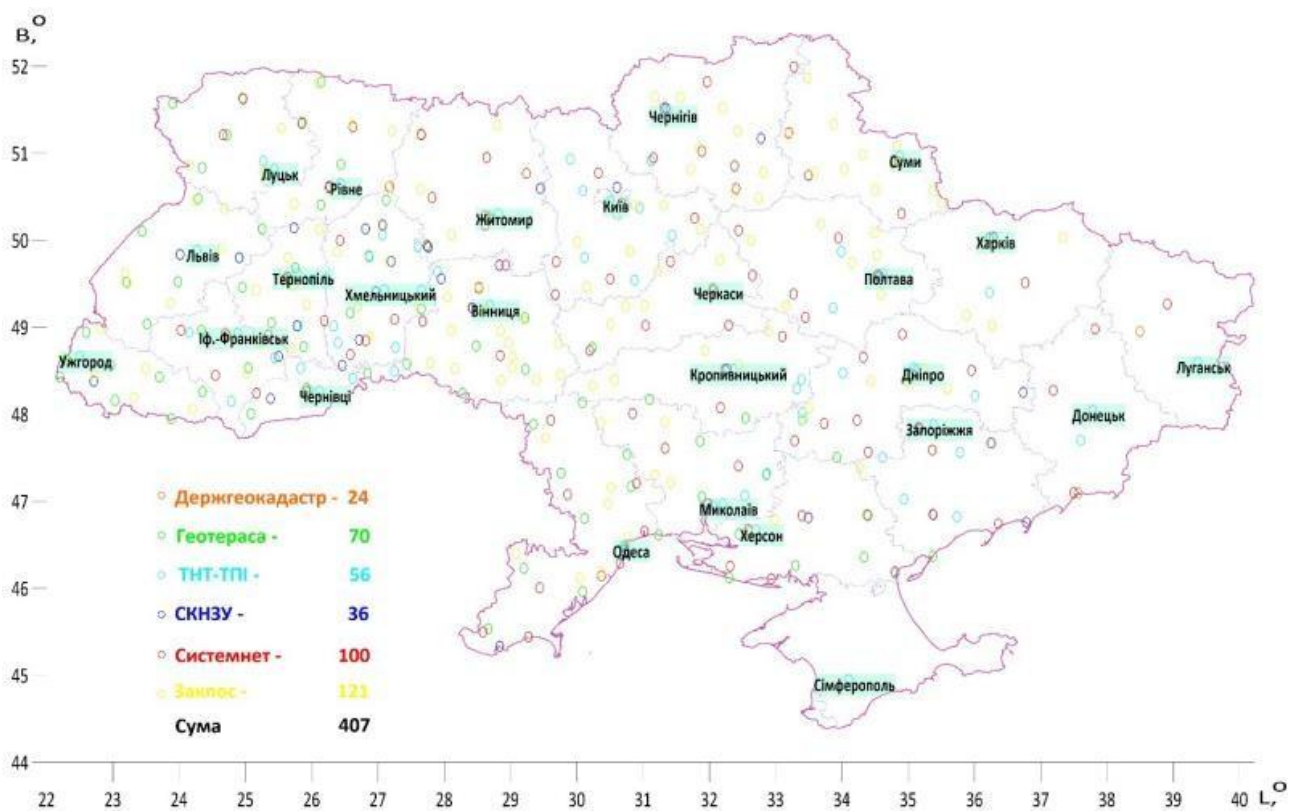


Рис. 1.1. Українські перманентні ГНСС-станції станом на 2022 рік

За рекомендаціями міжнародної геодезичної служби, ця кількість станцій є достатньою для покриття території площею 603000 км², охоплюючи її рівносторонніми трикутниками з довжиною сторони 70 км. Один такий трикутник або станція забезпечуватиме площу у 2000 км. Згідно з [22], просторове розташування ГНСС-станцій визначається за допомогою супутникових геодезичних спостережень у загальноземній системі координат з відносною похибкою $\Delta\rho/\rho = 1/108$ (де $\Delta\rho$ - середня квадратична похибка визначення вектора ρ) на середніх відстанях між пунктами у 100-300 кілометрів. У різних країнах активно використовують ГНСС для вирішення інженерних завдань і розробляють відповідні нормативні документи [2, 14]. Це включає глобальну прив'язку ДГМ для об'єктів різних розмірів, геодинамічний моніторинг для великих об'єктів та визначення координат пунктів опорної геодезичної мережі за допомогою ГНСС-технологій [5].

Розвиток нових режимів вимагає подальших досліджень для створення відповідних інструкцій, таких як кінематика у реальному часі (RTK), кінематика з постопрацюванням (PPK) і точне визначення положення (PPP) ГНСС [23].

Класичний метод визначення координат за допомогою ГНСС у режимі RTK використовує диференціальні вимірювання між базовим і рухомим приймачами для уточнення положення [16]. Нові виробники ГНСС-обладнання, такі як South, CHC, Comnav з КНР, Stonex з Італії, Satlab з Швеції та інші, активно працюють над розвитком технології RTK [16]. Точність і якість визначень в RTK-режимі контролюються стандартом [16], який був детально проаналізований у роботі [22].

Дослідження точності методу RTK проводилися в різних країнах з використанням технологій віртуальної референцної станції (VRS) та одиначної базової станції [1, 2]. Українські дослідження [9, 16, 22, 28] фокусувалися на роботі рухомих приймачів від мережі базових станцій Системнет. Крім того, проводилися дослідження нових ГНСС-технологій на геодезичних полігонах у різні роки [3, 5, 6, 22]. RTK-режим забезпечив точність на рівні полігонометрії 4 класу для планового положення та на рівні нівелювання III класу для висоти.

Щоб використовувати режим RTK, необхідна мережа наземних базових станцій з певною щільністю розміщення [28]. Однак застосування RTK в інженерній геодезії має деякі проблеми, які варто враховувати. Більшість згаданих досліджень були виконані з двосистемними приймачами в різні періоди часу.

На цьому етапі розвитку доступні чотири системи приймачів. Метод PPK є одним з різницевих методів ГНСС, що використовується для точного визначення координат за допомогою приймача з подальшим введенням поправок з базової станції після збору даних. Його застосовують у місцях з поганим зв'язком для визначення положення рухомих об'єктів. Цей метод,

так само як і всі різницеві методи ГНСС, вимагає видимості однакових супутників на приймачі та базовій станції. Метод PPP - це ГНСС-метод, що забезпечує просторові координати з сантиметровою точністю шляхом отримання поправок до ефемерид орбіт і бортових годинників усіх видимих супутників. Цей метод, розроблений компанією NovAtel (Канада) у 2005 році, є одним з методів DGPS і не потребує наявності базової станції та сигналу від супутників системи диференційної корекції. У дослідженні [8] показано можливість визначення координат з похибкою 5 мм у режимі PPP при фіксованому вирішенні неоднозначності. Цей метод є найсучаснішим і перспективним, і він активно розвивається зараз.

Європейське космічне агентство у своєму щорічному звіті [8] наводить рівняння регресії для сучасного чотирисистемного приймача, що використовується для визначення приростів координат у RTK-режимі.

$$M_{(D_X, D_Y, D_Z)_{RTK}} = 15 \text{ мм} + 0,5 \text{ ppm}. \quad (1.14)$$

Перший член рівняння відповідає за систематичні похибки інструментів, другий – за похибки зовнішнього середовища, що лінійно залежать від відстані до базової станції. Для компенсації впливу другого члена, потрібно зменшувати відстань до базової станції. Розглянемо можливість компенсації першого члена рівняння (1.14) у дослідженні точності ГНСС-методу в RTK-режимі.

Дослідження точності RTK-режиму в спеціально створених мережах БС залежно від відстані до базової станції. Реалізація та аналіз точності RTK-режиму від автономної БС за допомогою внутрішнього програмного забезпечення приймача. Дослідження типу зв'язку для передачі поправок на точність RTK-режиму. Дослідження методики визначення синхронних векторів в RTK-режимі для створення високоточних геодезичних мереж.

Для дослідження ми використали шість мобільних базових станцій із приймачем Trimble R9s. Ці станції були оснащені спеціальним обладнанням, включаючи автономне джерело живлення, GPRS модем для передачі даних у

реальному часі на сервер мережі, підставку із становим гвинтом для точного центрування над пунктом, рулетку для вимірювання висоти антени, мобільний телефон для з'єднання з приймачем та передачі даних на кластер. Детальний опис устаткування станцій подано на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Скомплектована мобільна базова станція

Кожен раз ці мобільні базові станції встановлювалися на пункти обов'язкового центрування для проведення сесій. Ці дані були інтегровані в програмне забезпечення Trimble Pivot Platform, що сприяло швидкому підключенню БС до загального розв'язку з постійним моніторингом мережі. Використовуючи ці координати, програма чотири рази визначала положення РП (референційних точок) на різній відстані. Цей процес базувався на програмі, що використовує типові опції для вимірювань, контрольної ініціалізації та супутникових сузір'їв (табл. 1.4). Вона також враховує рішення, отримане через технологію VRS та від одиначної базової станції.

Таблиця 1.4 Програма визначення координат в RTK-режимі

Спостереження	№1	№2	№3	№4
Частота запису, Гц	1	1	1	1
Тривалість спостережень, с	30	30	30	30
Кількість ініціалізацій	1	2	2	2
Розв'язок RTK	VRS	VRS	Одиначна	Одиначна
Сузір'я супутників	GPS, GLO	GPS, GLO	GPS, GLO	GPS, GLO, GAL, BDU

Досліджено точність RTK-режиму в залежності від відстані до базових

станцій у спеціально створених мережах. Це дослідження проведено на двох місцях з довжиною базових векторів від 0,2 до 51 км. Локація 1 дозволила визначити один і той же пункт у різних довжинах базових векторів шість разів.

Координати пунктів примусового центрування визначалися програмою №4 від мобільної базової станції на локації 1 та програмою №3 від постійної мережі базових станцій Геотераса на локації 2. Приклад файлу, що записано у пам'ять приймача для кожного пункту, наведено у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 Приклад файлу з визначеними координатами в RTK-режимі пункту bn

№ виміру	№1	№2	№3	№4	№5
X, м	55846,2088	55846,2092	55846,2109	55846,2095	55846,2080
Y, м	53274,4054	53274,4059	53274,4065	53274,4037	53274,4057
	54793,4205	54793,4213	54793,4224	54793,4220	54793,4250
СКП, мм	0,006	0,004	0,006	0,004	0,006
Рішення	FIXED	FIXED	FIXED	FIXED	FIXED
Супутники	17	17	17	17	17
Час	11:41:56	11:41:57	11:41:58	11:41:59	11:42:00
PDOP	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Програмне забезпечення РП визначало просторові координати XYZ та враховувало всі необхідні поправки для інструментів та атмосфери. Воно також записувало статус та параметри ГНСС-рішення у файл. Всі наступні дослідження використовували фіксовані рішення для визначення координат у необхідній проекції. Ці координати використовують щоб відобразити точність у плані та висоті без спотворень, що можуть виникнути внаслідок проекції та похибок квазігеоїда. Для цього перетворюють просторові координати (X, Y, Z) на геодезичні еліпсоїдні (B, L, H) за допомогою формул [14].

$$\begin{aligned}
B &= \arctg \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - e^2 \frac{N}{N + H} \right), \\
L &= \arctg \frac{Y}{X}, \\
H &= \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N,
\end{aligned} \tag{1.15}$$

B, L, H, N , і e позначають геодезичні координати, радіус кривизни першого вертикалу та перший ексцентриситет еліпсоїда. Координати точок у статичному ГНСС-режимі вважаються еталонними, тому за формулами (1.15) ми можемо обчислити абсолютні похибки визначення координат у RTK-режимі.

$$\begin{aligned}
\delta_{B''} &= (B_{RTK} - B_{Cmam}) \cdot 3600, \\
\delta_{L''} &= (L_{RTK} - L_{Cmam}) \cdot 3600, \\
\delta_{H^{MM}} &= (H_{RTK} - H_{Cmam}) \cdot 1000.
\end{aligned} \tag{1.16}$$

Перерахуємо абсолютні похибки вимірювань площинного кута в градусах у секундах дуги до метрів, використовуючи відповідні формули.

$$\begin{aligned}
\delta_{B'''} &= \delta_{B''} \cdot 31_{.m}, \\
\delta_{L'''} &= \delta_{B''} \cdot 31_{.m} \cdot \cos B.
\end{aligned} \tag{1.17}$$

Для обчислення абсолютної похибки планового положення використовується формула.

$$\delta_{Pl.} = \sqrt{\delta_{B'''}^2 + \delta_{L'''}^2}. \tag{1.18}$$

У таблиці 1.6 представлені похибки планового та вертикального положень точок, визначених методом ГНСС у RTK-режимі.

Таблиця 1.6 Абсолютна похибка положення пунктів визначених в RTK-режимі

Дата	Час	Віддаль, км	$\delta_{\text{пл}}$, мм	$\delta_{\text{н}}$, мм
28.10.23	10:40	0,5	2,1	11,7
28.10.23	11:12	3,5	5,4	-11,1
28.10.23	11:54	3,3	4,2	1,4
28.10.23	11:56	0,5	1,5	19,6
31.10.23	10:58	1,4	1,3	-0,7
31.10.23	11:02	1,0	14,1	14,6
31.10.23	11:26	1,1	9,8	19,0
31.10.23	11:31	1,2	10,1	22,4
31.10.23	12:04	0,5	1,5	19,6
31.10.23	12:05	1,9	5,6	-9,0
31.10.23	12:09	3,3	3,5	-4,2
03.11.23	11:01	1,9	5,6	-9,0
03.11.23	11:30	1,0	10,1	22,4
03.11.23	14:27	4,0	3,8	26,2
03.11.23	14:30	45,0	46,7	-29,8
03.11.23	11:02	3,3	4,2	1,4
29.11.23	17:10	0,2	5,6	3,2
29.11.23	17:35	35,0	12,3	-34,2
29.11.23	17:55	51,0	20,9	-23,6

На рис. 1.3 а показано похибки положень для вибірки з 12 точок, виміряних на різних довжинах базових векторів та часі. Рис. 1.3 б демонструє похибки планового та вертикального положень однієї точки, виміряних сім разів на різних довжинах базових векторів і в різний час (див. таблицю 1.6). У цих графіках представлена апроксимація вимірювань лінійною та експоненціальною функціями за допомогою суцільної лінії.

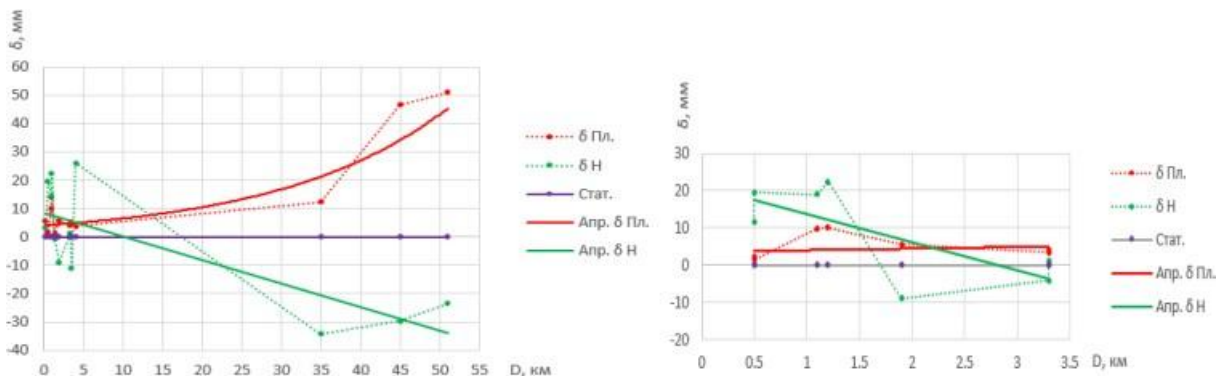


Рис. 1.3. Абсолютна похибка планового та висотного положення визначеного в RTK-режимі

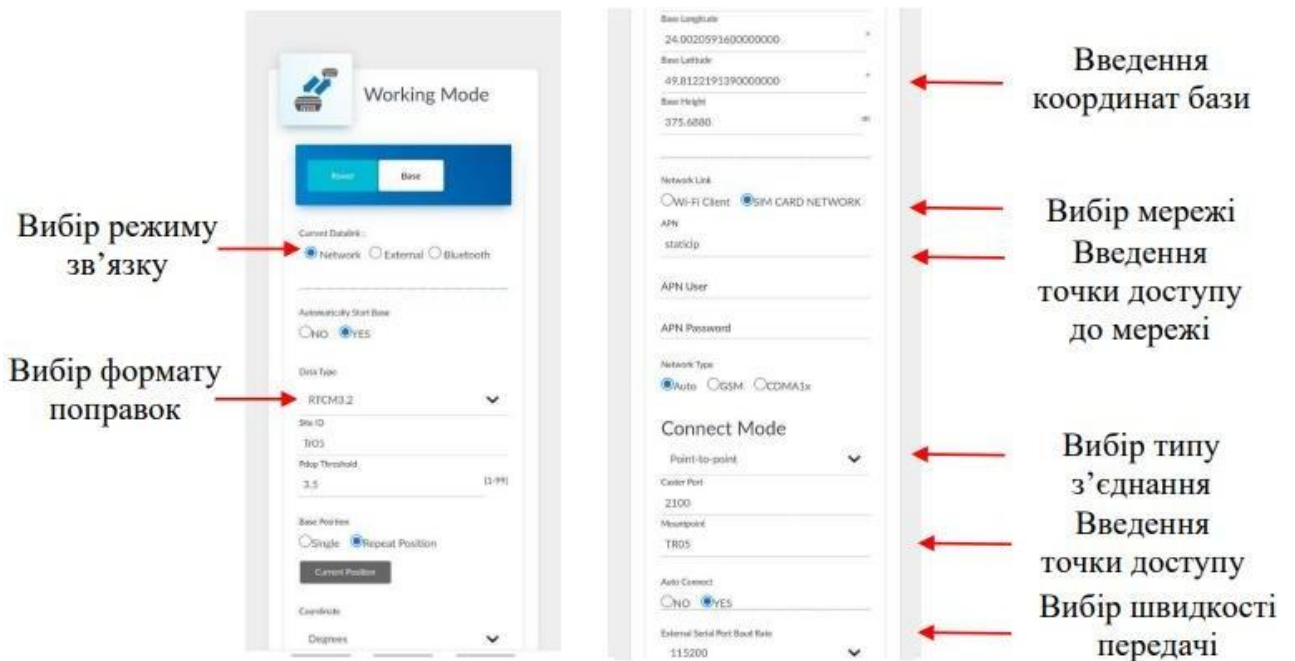


Рис. 1.4. Інтерфейс налаштування автономної БС

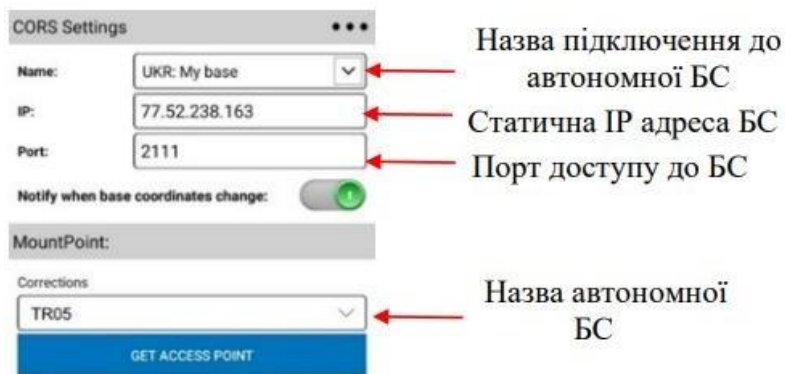


Рис. 1.5. Інтерфейс налаштування роботи РП від автономної БС

На рис. 1.6 подано абсолютні похибки планового та висотного положення визначення координат пункту.

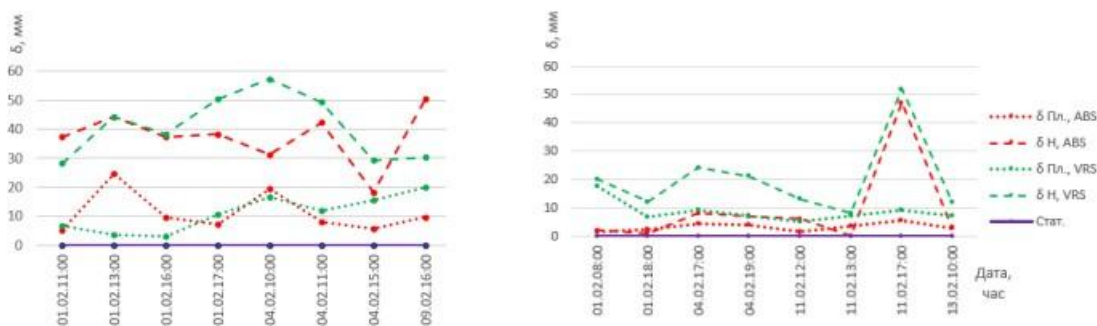


Рис. 1.6. Абсолютні похибки вимірювань координат пункту в плані і по висоті на 10 км – (а) та 30 м – (б) базовому векторі

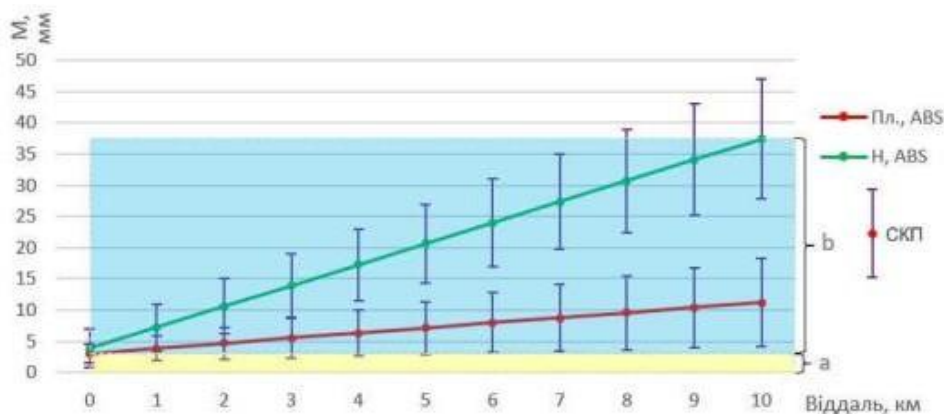


Рис. 1.7. Графік рівнянь регресії комплекту Leica GS 14

За дослідженнями даного розділу ми визначили такі рівняння регресії для комплекту GNSS Leica GS 14 у роботі від автономної БС:

$$\begin{aligned} M_{(Планове)_{RTK}} &= 3 \text{ мм} + 1 \text{ ppm} \\ M_{(Висоти)_{RTK}} &= 4 \text{ мм} + 3 \text{ ppm} \end{aligned} \quad (1.19)$$

Основна ціль RTK-режиму ГНСС-спостережень – визначення реального часу координат. Поправки з базової станції передаються через різні канали зв'язку, в основному - за допомогою інтернету та радіозв'язку. Більшість сучасних ГНСС-приймачів мають інтернет-інтерфейс з 3 каналів і 1 радіоканал.

1.3. Сучасні геодезичні прилади для зйомки та програмні засоби для обробки великомасштабних геодезичних даних

На світовому ринку геодезичного обладнання переважно представлені електронні тахеометри. Hexagon, яка фінансує Leica-Geosystems, є ключовим гравцем протягом останніх 10 років. Topcon Positioning Systems з Японії визнана за впровадження новітніх технологій, тоді як Trimble Navigation (США) лідирує в цій галузі. Європейські бренди, такі як Carl Zeiss, Geodimeter, Spectra Precision, представлені під брендом Trimble. Виробники пропонують електронні тахеометри для геодезичної підтримки інженерних споруд та монтажу технологічного обладнання, вимірюючи кути та відстані для обчислення координат. Сучасні електронні тахеометри використовують три системи відліку: кодову, імпульсну та динамічну.

Таблиця 2.1 Основні технічні характеристики електронних тахеометрів

Модель (рік випуску)	TS-30 (2018)	TCRP1201 R300 (2008)	S-3(2010)	IS-300 (2010)	R1 (2018)
Виробник	Leica Geosystems	Leica Geosystems	Trimble Navigation	Topcon Positioning	Stonex
Похибка компенсатора, с	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
Діапазон роботи	4	4	5	6	3
Метод відлічування	4-осьовий	2-осьовий	2-осьовий	2-осьовий	2-осьовий
СКП виміру кута, с	0.5	1	2	1	2
СКП виміру віддалі, мм	0.6мм+1мм *S _{км}	1мм+1мм *S _{км}	1.5мм+2мм *S _{км}	2мм+2мм *S _{км}	2мм+2мм *S _{км}

Наразі, електронний тахеометр TS-30 використовує комбіноване кодово-імпульсне відлічування, розроблене Leica-Geosystems у 2018 р. Система включає скляний кодовий круг та чотири енкодери з вимірювальною швидкістю до 5000 вимірювань/с. Чотири зчитувачі у TS-30 допомагають усунути систематичні похибки та підвищити точність вимірювань для точного визначення положення аліади, підвищуючи надійність вимірювань кута та виключаючи π -періодичні похибки ексцентриситету круга. Дослідження підтверджує, що використання чотирьох зчитувачів підвищує точність вимірювань кута на 30% порівняно з використанням двох. Інженери Leica-Geosystems підтверджують це підвищення точності на автоколімаційній установці. Таблиця 2.2 містить технічні характеристики геодезичного обладнання, використовуваного у всьому світі.

Таблиця 2.2 Основні технічні характеристики сучасного геодезичного обладнання

Характеристика приладу	Діапазон віддалі	Діапазон простору	Точність	Швидкість	Метод вимірювання
ГНСС 	Необмежено	В-360°/Г-360°	8 мм	1/60 с	Фазовий
TPS 	0 - 1000 м	В-270°/Г-360°	1 мм /1"	1/5 с	Фазовий
Нівелір 	0 - 100 м	В-0°/ Г-360°	0,3 мм	1 / 2с	Фазовий
Сканер 	0,6 - 130 м	В-270°/Г-360°	2 мм	1000000/1с	Фазовий
Трекер 	0 – 80 м	В-130°/Г-360°	16 мкм	16000/1с	Фазовий

Основна ідея наземного лазерного сканування полягає у швидкому вимірі відстаней та кутів, аналогічно електронним тахеометрам. Лазерний трекер вимірює горизонтальні та вертикальні кути, а також просторові відстані, що вважається точнішим пристроєм. Лазерний трекер застосовується в різних галузях, таких як автомобільна промисловість, суднобудування,

авіація та енергетика, як найточніший засіб для визначення просторового положення об'єкту.

Більшість лазерних трекерів вимірюють горизонтальний та вертикальний кути, відносну та абсолютну віддалі, фіксують нахил головної горизонтальної площини за допомогою точних датчиків. Проводяться додаткові вимірювання, такі як тиск та температура, для уточнення результатів. Однак точність визначення кутів знижується на відстані. На віддалі 30 метрів кути вимірюються в 4 рази менш точно, через недосконалість системи вимірювання, коливання вертикальної осі та компенсацію її положення [8]. У 2008 році в національній лабораторії прискорення SLAC [8] було проведено дослідження щодо точності вимірювання горизонтальних кутів за допомогою лазерних трекерів, досягнення якої було б неможливим без спеціальних пристосувань, вбудованих у вимірювальні пристрої, таких як сферичні призми.

На рисунку 1.8 представлено графічну ілюстрацію сучасних геодезичних технологій та їх точність вимірювань.

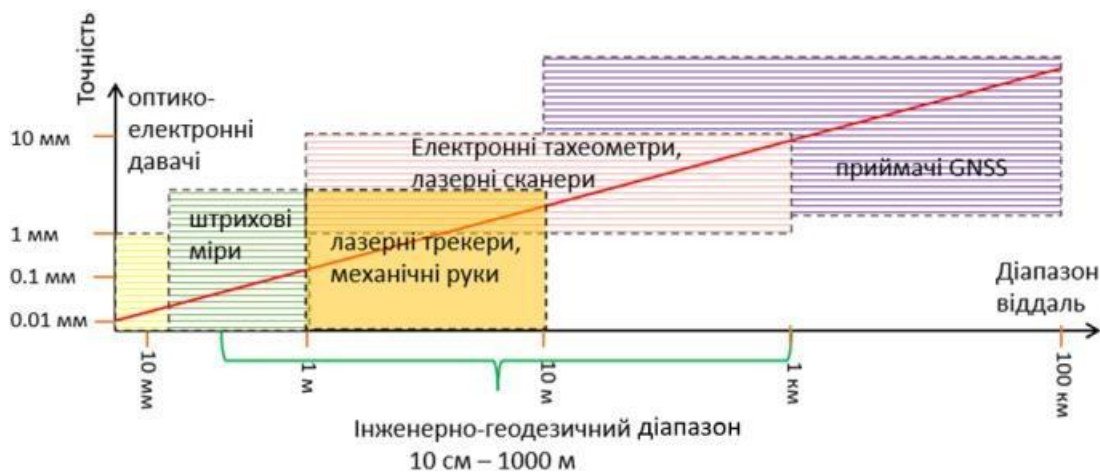


Рис. 1.8. Сучасні геодезичні технології вимірювання

На сьогоднішній день існує багато програм для обробки великомасштабних геодезичних даних у різних сферах, таких як картографія, геодезія, геологія, навігація, міське планування та інші. Ось кілька популярних програм:

- ArcGIS - провідна платформа для аналізу та обробки геопросторових даних з широким спектром можливостей.

- QGIS - безкоштовна програма для геопросторового аналізу та візуалізації з різноманітними плагінами для роботи з великими обсягами геоданих.

- GRASS GIS - безкоштовна програма з великим набором інструментів для аналізу та моделювання геопросторових процесів.

- ENVI - програмне забезпечення для обробки і аналізу геопросторових даних, зокрема для супутникових знімків та гіперспектральних даних.

- GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) - бібліотека програм для обробки геоданих з багатьма інструментами для конвертації та обробки різноманітних форматів геоданих.

- PostGIS - геопросторове розширення для баз даних PostgreSQL, яке дозволяє зберігати та обробляти великі обсяги геодезичних даних в базі даних.

Ці програми обробляють різноманітні формати геоданих для забезпечення аналізу, візуалізації, та моделювання великомасштабних геодезичних даних відповідно до потреб користувача.

Методи інтеграції геодезичних даних для цифрових моделей території включають лазерне сканування (LiDAR), фотограмметрію, ГІС, інтерполяцію, синтез даних від декількох джерел, моделювання та аналіз. Ці методи можуть бути застосовані окремо або комбінуватися для отримання деталізованих цифрових моделей території з високою точністю. Різні методи зйомки території мають власні переваги та обмеження щодо точності в залежності від контексту, типу території та необхідної інформації. Фотограмметрія може бути точною за умови використання якісних аерофотознімків з відомими геодезичними контрольними точками. Лазерне сканування може забезпечити високу точність, але має обмеження на відстань та вплив середовища. Точність

ГІС залежить від якості вхідних даних, а супутникові знімки можуть бути точними за умови корекції сигналу GPS. Методи наземного знімання, такі як дрони, також можуть мати високу точність відповідно до умов зйомки. Кожен метод має свої переваги та обмеження, і точність варіює залежно від умов. Вибір оптимального методу залежить від вимог проєкту та доступних ресурсів для зйомки.

Оцінка надійності геодезичних даних є важливою для точності і достовірності геопросторової інформації. Існують декілька методів оцінки, таких як порівняння з іншими джерелами, використання контрольних точок, аналіз похибок та статистичні підходи. Оцінка умов вимірювань та використання сертифікованого обладнання також є важливими аспектами оцінки надійності даних.

2 СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОСНОВИ ПРИ ВИКОНАНІ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ

2.1. Планове і висотне обґрунтування для топографічних зйомок великих масштабів

Державна геодезична мережа (ДГМ) визначає місцезнаходження точок у єдиній системі координат і висот, що необхідне для картографії, вивчення ресурсів, навігації та дослідження Землі. Ця мережа встановлює референцну систему координат на всій території країни, використовуючи референтну та загальноземну системи координат. Перехід до нової системи координат України відбувається на рішення Кабінету Міністрів.

Пункти ДГМ переоцінюються за допомогою додавання нормальної висоти до висоти квазігеоїда відносно відлікового еліпсоїда. Геодезичні роботи забезпечуються метрологічною базою Держстандарту, що включає мережу базисів, довготні пункти і азимути.

Державна геодезична мережа, зведена у 1954-1961 рр., включає триангуляцію, полігонометрію та різною точністю пункти. Точність визначення взаємного положення пунктів становить 0.196 м. Висотні мережі I і II класів розташовані вздовж транспортних магістралей та інших об'єктів.

Астрономо-геодезична мережа 1 класу (АГМ-1) використовується для супутникової геодезії та пов'язана з GPS-вимірюваннями. Геодезична мережа 2 класу служить основою для мережі 3 класу та геодезичних мереж спеціального призначення. Геодезичні мережі спеціального призначення будуються супутниковою геодезією та традиційними методами.

У сейсмічних і техногенних зонах формують геодезичні мережі для вивчення рухів земної кори з високою точністю. Густі мережі використовуються для топографічних та інженерно-геодезичних робіт. При створенні полігонометрії виконується повний комплекс геодезичних робіт, включаючи вимірювання кутів та ліній, нівелювання. Топографічна зйомка

виконується з точок місцевості, часто з використанням опорних мереж. Залежність щільності знімальних мереж від масштабу та рельєфу території обґрунтовується в рамках дослідження, будівництва та експлуатації.

При розвитку зйомки визначається планове і висотне положення точок геометричним або тригонометричним нівелюванням. Для топографічних планів використовуються різні методи зйомок, такі як аналітичний, мензульний, фототеодолітний, аерофототопографічний, зйомка нівелюванням та супутникові приймачі.

Тахеометрична зйомка використовує тахеометри або теодоліти для створення планів місцевості великих масштабів. Тахеометрія має переваги в умовах погоди та розділенні робіт між полем і камеральними дослідженнями.

При великомасштабному топографічному зніманні нівелірні мережі створюються розвитком ДГМ і можуть відповідати різним класам точності залежно від призначення знімання. Нівелювання III і IV класів використовується для згущення ДВНМ у великомасштабному топографічному зніманні. Густота та точність нівелірних мереж визначаються в технічному проєкті. У містах нівелірні мережі мають свої особливості та відповідають вимогам "Інструкції про топографічні знімання". Технічне нівелювання визначає висоти для знімальної мережі, тріангуляції і полігонометрії, які не визначені нівелюванням III-IV класів.

Для геодезичної основи великомасштабного знімання ходи технічного нівелювання повинні враховувати принцип "від вищого класу точності до нижчого". Довжина ходів технічного нівелювання визначається згідно з Інструкцією. Результати робіт повинні включати схеми геодезичних мереж, відомості про геодезичні пункти, матеріали обчислень і акти контролю. За опорною геодезичною мережею подаються журнали нівелювання та вимірювання напрямків, зариси геодезичних пунктів та інші дані.

Планово-висотна геодезична мережа повинна додатково включати журнали вимірювання кутів і ліній, технічного та тригонометричного

нівелювання, зариси точок та інші відомості. Результати вимірювань можуть бути представлені засобами реєстрації, супутниковою апаратурою та іншими носіями інформації.

Координати характерних точок місцевості визначаються наступними методами:

- 1) геодезичний метод (тріангуляція, полігонометрія, трилатерація, прямі, зворотні або комбіновані засічки, тощо);
- 2) метод супутникових геодезичних вимірів (GPS-вимірювання);
- 3) фотограмметричний метод;
- 4) картометричний метод;
- 5) аналітичний метод.

Суть кожного з вище перерахованих методів наступна:

- 1) Геодезичний метод – визначення координат характерних точок місцевості через побудову спеціальних геодезичних мереж, шляхом вимірювання: кутів – тріангуляція, відстаней – трилатерація, кутів та відстаней – полігонометрія.

Під час побудови вищеназваних мереж на їх вузлові точки передаються координати, після чого за допомогою засічок визначаються координати характерних точок місцевості.

Детальніше види геодезичних мереж описані нижче.

Тріангуляція — побудова на місцевості у вигляді мережі трикутників, у кожному з яких вимірюються три кути (рис. 2.1). Крім того, в деяких трикутниках вимірюються сторони, які називаються базисними. Базисних сторін в мережі має бути не менше двох.

На основі першої з використанням теореми синусів обчислюються довжини усіх інших сторін. Друга та наступна базисні сторони служать для контролю обчислень. На кінцях базисних сторін виконують астрономічні спостереження, з яких знаходять координати вихідних пунктів та азимути (а потім дирекційні кути) базисних сторін. Дирекційні кути інших сторін

знаходять з обчислень. На основі довжин сторін і їх дирекційних кутів знаходять приростки координат по кожній стороні і координати усіх пунктів триангуляції.

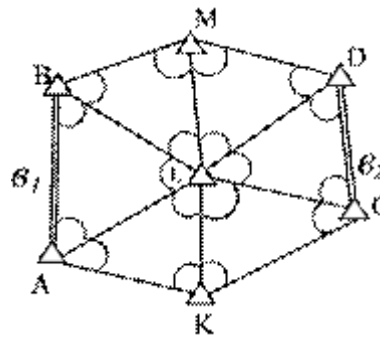


Рис.2.1 Мережа триангуляції

Полігонометрія — побудова на місцевості у вигляді системи ламаних ліній, у яких вимірюються сторони і кути при вершинах рисунок 2.2. Полігонометричні ходи опираються на вихідні сторони АВ і CD. На початку А і в кінці С ходу виконують астрономічні спостереження, з яких визначають координати цих пунктів та азимути, а потім дирекційні кути вихідних сторін АВ і CD.

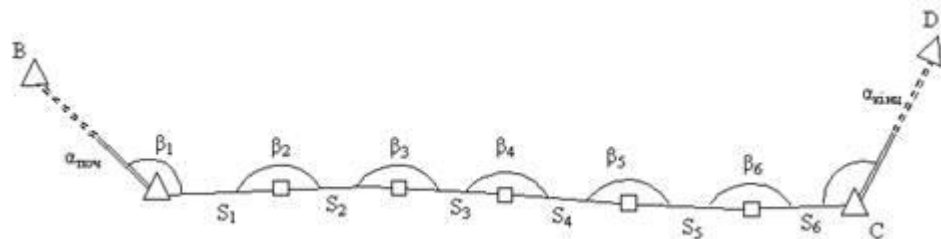


Рис.2.2 Мережа полігонометрії

Трилатерація — побудова на місцевості у вигляді мережі трикутників, у яких вимірюються три сторони рисунок 2.3).

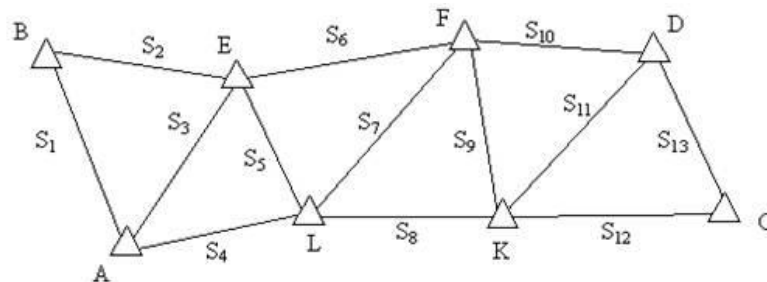


Рис.2.3 Мережа трилатерації

2) Метод супутникових геодезичних вимірів - наш час поширене застосування має система GPS – GlobalPositioningSystem (глобальна пошукова система). Розглянемо принцип визначення положення наземних пунктів системою GPS. GPS-приймач, що встановлюють на пункті, координата якого визначають пункт P на рисунку 4.5, приймає радіосигнали від штучних супутників Землі, що мають відомі миттєві координати; приймач вимірює віддалі $R_1, R_2, \dots, R_i$, до супутників (не менше чотирьох).

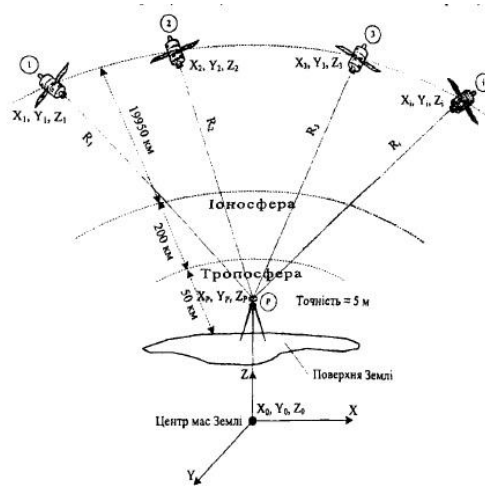


Рис. 2.4 Принцип роботи GPS-систем

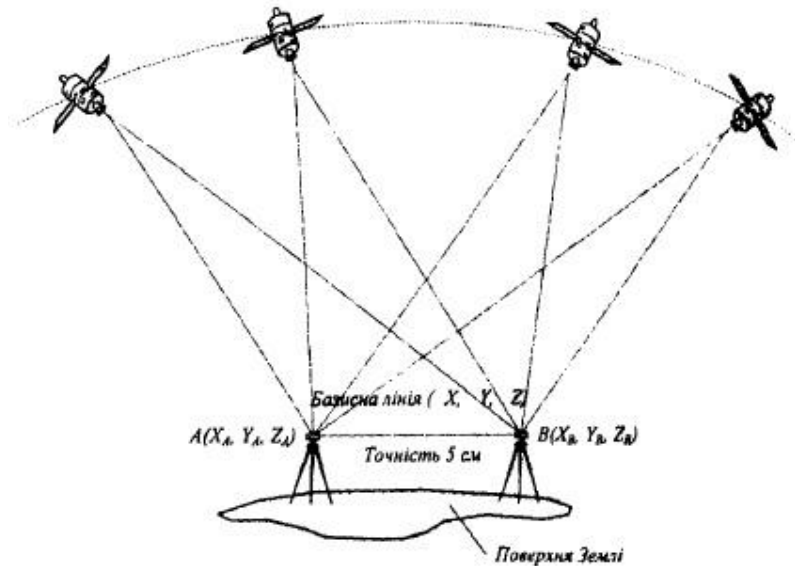


Рис.2.5 Принцип визначення GPS-системою приростів координат

Координати супутників передаються на GPS-приймач. У відповідності з мал.2.5 можна записати чотири таких рівняння:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \sqrt{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2 + (Z_1 - Z_p)^2} \\ R_2 &= \sqrt{(X_2 - X_p)^2 + (Y_2 - Y_p)^2 + (Z_2 - Z_p)^2} \\ R_3 &= \sqrt{(X_3 - X_p)^2 + (Y_3 - Y_p)^2 + (Z_3 - Z_p)^2} \\ R_i &= \sqrt{(X_i - X_p)^2 + (Y_i - Y_p)^2 + (Z_i - Z_p)^2} \end{aligned} \right\} \quad 4.1$$

У системі три невідомі X_p, Y_p, Z_p . Насправді, є чотири невідомі: крім X_p, Y_p, Z_p ще невідома асинхронність δ_t (різниця похибок показників хронометрів супутника та приймача). Саме тому потрібно спостерігати мінімум чотири супутники. Розв'язавши ці рівняння, знайдемо шукані координати точки P . Електронно-обчислювальна система GPS-приймача розв'язує ці рівняння і відображає на дисплеї координати X_p, Y_p, Z_p .

GPS-приймачі пристосовані до визначення прямокутних геодезичних координат X, Y, Z (з початком в центрі мас Землі), топоцентричних прямокутних координат X, Y, H (із початком координат на топографічній поверхні землі) та геодезичних координат B, L, H (широта, довгота та висота). Визначення геоцентричних координат виконують з точністю до 5 м, що не є задовільною точністю для вимог геодезії.

Якщо один GPS-приймач знаходиться на пункті з відомими координатами, а другий - на невідомому, тоді можна отримати прирости координат $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$. Такі відносні, а не абсолютні визначення координат значно (приблизно в 100 разів) точніші. Похибка визначення координат біля 5 см може бути зменшена збільшенням часу спостереження.

3) Фотограмметричний метод – суть полягає у визначенні координат характерних точок місцевості (межових знаків) по фотознімкам, отриманим в результаті фотограмметричних робіт. Створені, трансформовані та прив'язані до системи координат аерофотознімки дешифрують (порівнюють характерні точки на знімку та місцевості та на знімку) та визначають по знімку координати від дешифрованих характерних точок.

4) Картометричний метод – полягає у визначенні координат межових знаків по картографічному матеріалу. Вибір масштабу картографічного матеріалу залежить від необхідної точності. Як правило, великомасштабні карти 1:100 — 1:5000.

Для визначення плоских прямокутних координат точки на карті знаходять квадрат кілометрової сітки в якому вона знаходиться, після чого опускають з точки перпендикуляри до сторонам квадрата кілометрової сітки. За допомогою масштабу картографічного матеріалу визначають довжини перпендикулярів рисунок 4.7. Знаючи значення координат ліній квадрату кілометрової сітки визначають прирости координат ΔX та ΔY та самі шукані координати.

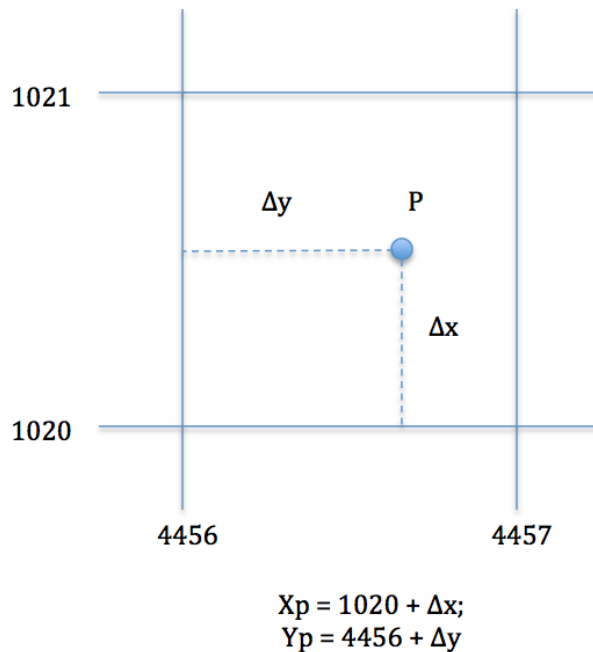


Рис. 2.5 Принцип визначення координат картометричним методом

Так як територія підстанції «Трихати» відкрита, то для більш швидкого виконання робіт буде доцільно використати поєднання супутникового методу та традиційного геодезичного методу топографічного знімання.

Геодезична референсна система (ГРС) — сукупність параметрів, що використовуються для перетворення референц-еліпсоїда у локальні географічні координати.

Розташування будь-якого географічного об'єкту на планеті може бути визначене за допомогою географічних координат. Однак вони мають однозначність лише коли повністю визначена ГРС, до якої ці координати відносять. ГРС складається з двох основних компонентів:

- поверхня відносності (datum);
- система координат (coordinate system).

Існує велика різноманітність ГРС і у кожній з них географічні координати одного об'єкта будуть відрізнятися. Для точного визначення координат потрібно знати до якої саме ГРС вони відносяться і, за необхідності, мати також параметри зв'язку між різними ГРС.

Поверхня відносності включає в себе параметри референц-еліпсоїда, його положення щодо центру маси Землі та його орієнтацію у тілі планети. За звичай для кожної країни існує свій референц-еліпсоїд та окрема картографічна проекція, яку обирають заради зменшення спотворень території.

Визначення вертикальної поверхні відносності залежить від початку відліку висот, для встановлення якого використовують збіг середнього рівня моря із поверхнею геоїда. В основному використовуються 3 типи висот:

- ортометричний;
- нормальний;
- геодезичний.

Іноді горизонтальні та вертикальні компоненти визначення розташування географічного об'єкта відносяться до різних ГРС — так утворюється комбінована ГРС. Вона включає в себе компоненти ГРС та вертикальної референцної системи.

ГРС координат та регіональні гравітаційні моделі широко застосовуються на практиці ведення топографо-геодезичних робіт. Ще у 1950-их роках для створюваних систем просторової інформації, спільних навігаційних систем та реалізації глобальних проєктів необхідним кроком

стало об'єднання класичних ГРС. Першою об'єднаною системою координат у Європі стала квазігеоцентрична система ED50 (European Datum 50). 1987 року було завершено створення нової єдиної геодезичної мережі, параметри якої було визначено на основі класичних наземних та супутникових спостережень. Нову ED87 систему так і не вдалося реалізувати, оскільки того ж року була узгоджена вже зовсім інша концепція об'єднаної системи координат, яка отримала назву EUREF. Було прийнято, що вона має опиратися на вибрані супутникові станції міжнародної земної референцної системи ITRF. Загальноєвропейську систему було названо ETRS, а практичну реалізацію системи, яка отримала пізніше назву ETRF, розпочато 1989 року, через що вона була перейменована у ETRS89.

У наступні роки, особливо після розпаду СРСР та переорієнтації східноєвропейських країн на структури Євросоюзу, на території Європи були організовані чисельні кампанії EUREF зі згущення мережі. Основною їх метою було адаптування національних ГРС у відповідність з вимогами загальноєвропейської ETRS89, що стало фактичною реалізацією цієї системи у національних масштабах. У той же час загальноземна ГРС, яка була реалізована сучасними супутниковими технологіями, не може замінити існуючі ГРС, наприклад, відомої у нас системи координат 1942 року (СК42), оскільки вона є геоцентричною, а, отже, координати цієї системи будуть відрізнятися від координат ГРС до сотні і більше метрів.

1997 року вперше була запропонована концепція Європейської вертикальної системи, а 2000 року затверджено основні її принципи. На сьогоднішній час вона представляє собою добре узгоджену геометрично-фізичну референцну систему висот, зв'язаних з гравітаційним полем Землі. Як наслідок була створена Європейська вертикальна референцна система EVRF2000. Європейська модель гравіметричного квазігеоїда EGG97, яка була розроблена 1997 року, знайшла пряме практичне використання при перетворенні геодезичних висот, отриманих із GPS-спостережень, до висот,

пов'язаних з гравітаційним полем Землі для застосування в задачах геодезії, геофізики тощо.

ГРС, що створювалися класичними геодезичними технологіями, не можуть забезпечити на належному рівні точності переходу до загальноземних референсних систем, чи навпаки, через різні технології їх отримання.

Традиційна задача визначення параметрів трансформування між різними ГРС за заданими в кожній системі положеннями однойменних фізичних точок стосовно території України не може бути безпосередньо розв'язана з належною для геодезії точністю. Проблемами для такого розв'язання є:

- недостатня кількість спільних пунктів, координати яких відомі у двох ГРС;
- точне визначення висотної складової вектора положення для існуючої системи координат.

Проте основна причина безпосередньо пов'язана із невідповідністю систем координат, що використовуються у супутникових визначеннях і тих, що традиційно склалися за попередні десятиліття, та різними параметрами двох технологій визначення розташування пунктів геодезичної мережі.

На основі рекогностування було прийнято проєктне рішення виконати калібровку від пунктів ДГМ Корениха, Степове, Полігон за допомогою GPS приймача Leica GS 14 в RTK режимі з отриманням корегуючих поправок від постійно діючої базової станції. За результатами калібровки обчислені 7 параметрів перетворень з системи координат WGS-84 до системи координат МСК-48. Похибки трансформаційного поля не перевищують 3 см в плані і 4 см по висоті. Контрольні виміри по трансформаційному полю проведені на незалежному пункті ДГМ Лагерний та перебувають в межах допуску. Біля об'єкту робіт GPS приймачем з застосуванням параметрів перетворень визначено опорні базиси з яких виконано топографічне знімання методом вільної станції.

Параметри калібрування в плані:

Перенос в східному напрямку:	- 0.611 m
Перенос в північному напрямку:	0.252 m
Розворот:	0°00'08"
Початок відліку по Y:	1135.568 m
Початок відліку по X:	-3114.231 m
Масштаб:	0.9999799526

Параметри калібрування по висоті:

Здвиг по висоті на початку відліку:	2.948 m
Нахил на схід:	3.588 ppm
Нахил на північ:	-24.967 ppm
Початок відліку по Y:	497.837 m
Початок відліку по X:	-1230.662 m

2.2 Рекогностування геодезичних мереж та закладання центрів пунктів

Рекогностування місцевості проводиться після камеральної підготовки, виявляються зміни в контурах, перевіряється доцільність наміченого проєкту, що уточнюється на місці. Визначається місце встановлення точок знімального обґрунтування, закріплення їх геознаками та шляхи прив'язки до пунктів ДГМ.

Зовнішні геодезичні знаки на пунктах мереж полігонометрії для великомасштабного знімання будуються різними типами, такими як тури, металеві піраміди-штативи, чотиригранні та тригранні піраміди (останні для мереж 1 і 2 розрядів), а також складні сигнали. Г-подібні віхи використовуються тільки як тимчасові геодезичні знаки.

Металеві або залізобетонні постійні зовнішні знаки встановлюються на території міст і промислових майданчиків та покриваються антикорозійним покриттям. Дерев'яні знаки заборонені. На забудованих ділянках можна використовувати металеві піраміди-штативи або тури на дахах будівель. Для

захисту від корозії металеві геодезичні знаки повинні бути покриті антикорозійним покриттям. На забудованих територіях можна використовувати стінні знаки або центри на будівлях.

Центри пунктів встановлених на будівлі закріплюються марками, закладеними в тур або верхнє перекриття. Застосовуються також металеві віхи з візирним циліндром на 3-4 відтяжках. Малофазні цілі геодезичних знаків повинні мати висоту візирного циліндра 0,50 м та діаметр 0,25 м.

Пункти геодезичних мереж 2, 3, 4 класів, 1 і 2 розрядів на території міст, селищ і промислових майданчиків закріплюються центрами відповідно до вимог [18]. У сільській місцевості на пунктах тріангуляції і полігонометрії 4 класу та 1 і 2 розрядів закладають центри типів 5 р. або 6 р. н.

На забудованих територіях пункти знімального обґрунтування закріплюються стінними знаками, зрубамі або курганами в залежності від рельєфу. Знаки довготривалого типу встановлюються так, щоб вони закріплювали лінії ходу через 500-800 м. Металеві охоронні пластини з написом "Геодезичний пункт. Охороняється державою" прикріплюються на піраміді або цементуються в стовп. На забудованій території розпізнавальні стовпи не встановлюються. Пункти знімальних мереж закріплюються на місцевості знаками для довготривалого зберігання пунктів і тимчасових знаків, з розрахунком на збереження точок на час знімальних робіт.

Знаки довготривалого типу розміщуються так, щоб забезпечити їх тривале збереження, безпеку та зручність використання при топографічному зніманні і подальшому використанні. Заборонено встановлювати їх на орних землях, болотах, проїзних частинах доріг, біля розмивних бровок річок і берегів водосховищ.

Тимчасовими знаками можуть бути пні дерев, дерев'яні кілки діаметром 5- 8 см, стовпи або залізні труби, забиті в ґрунт на 0,4-0,6 м, з поруч встановленими сторожками. Ці тимчасові знаки окопують круглою канавою діаметром 0,8 м, а їх центр позначається цвяхом або насічкою на металі. В

залісненій місцевості можна робити позначки на деревах фарбою.

Знаки планового обґрунтування нумеруються так, щоб уникнути дублювання номерів на об'єкті. При включенні раніше проведених знімачів заборонено змінювати їх номери. На довготривалих знаках застосовується олійна фарба, а на тимчасових – пікетажний олівець для написання скороченої назви організації, номеру закріпленої точки та року встановлення. Стовпи і сторожки встановлюються з написом вперед по ходу. Кожний закладений центр пункту має картку за встановленою формою із додатком фотознімку місця. Спорудження постійних геодезичних знаків підтверджується актом, який складається у трьох примірниках: один зберігається у закладі, що прийняв знак на зберігання, інший направляється до територіальної інспекції, а третій повинен бути в організації, що виконала роботи.

На території ПС «Трихати» пункти геодезичної мережі згущення закріплені тимчасовими центрами зберігання.

2.3. Прилади для проведення геодезичних робіт

Для виконання усіх геодезичних робіт було використано комплект GNSS приймач Leica Viva GS14 який представлено на малюнку 2.1.



Рис.2.1 Комплект Leica Viva GS14

Leica Viva GS14 - це компактна та потужна смарт-антена з підтримкою ГНСС із вбудованим модулем мобільного зв'язку та УВЧ-модемом, яка підійде для будь-яких вимірювальних робіт. Зручна конструкція Leica Viva GS14 забезпечує простоту експлуатації.

Ця смарт-антена - ваш універсальний ГНСС-приймач, що забезпечує належний рівень надійності та точності вимірювань. Viva GS14 призначена для роботи в будь-якому місці та в будь-який час.

Переваги Viva GS14:

Просте у використанні програмне забезпечення. Смарт-антена Viva GS14 поставляється з інтуїтивно зрозумілим програмним забезпеченням Leica SmartWorx Viva. Ви зможете економити час та зусилля на будь-яких майданчиках завдяки наочному графічному інтерфейсу, практичній структурі меню, зрозумілій термінології та спрощеному порядку роботи. Навчитися працювати зі SmartWorx Viva та використовувати його наймовірніше просто.

Необмежені можливості. Leica SmartWorx Viva збирає дані під час польових робіт, а Leica Infinity допомагає обробляти їх у офісі. Завдяки надійній передачі даних ви зможете успішно завершувати будь-які проєкти. SmartWorx Viva та Leica Infinity доповнюють один одного, дозволяючи об'єднувати дані раніше виконаних робіт та редагувати проєкти швидше та ефективніше.

Технічна підтримка в один натиск. Усього одне клацання миші, і у вашому розпорядженні опиниться програма активної підтримки клієнтів (Active Customer Care) - міжнародна мережа досвідчених фахівців, які готові надати компетентну допомогу при вирішенні будь-яких проблем.

- Забудьте про прості завдяки першокласному технічному обслуговуванню.
- Виконуйте роботу швидше завдяки порадам професіоналів.
- Виключіть дорогі повторні виїзди на об'єкти завдяки онлайн-сервісу для надсилання та отримання даних безпосередньо з місця роботи.

Контролюйте витрати за допомогою пакетів ССР, з якими ви впевнені, що отримаєте допомогу в будь-якому місці.

Потужні портативні пристрої. Контролер або планшет із сенсорним керуванням дозволяють працювати з даними у будь-якому місці. Контролери Leica CS10 та Leica CS15 забезпечують ефективне управління, максимальні зручність та мобільність.

Характеристики:

Точність:

- Точність 2D (статика) 3 мм + 0.5 ppm
- Точність 3D (статика) 5 мм + 0.5 ppm
- Точність 2D (RTK) 8 мм + 0.5 ppm (мережеве)
- Точність 3D (RTK) 15 мм + 0.5 ppm (мережеве)
- Час ініціалізації 4 с

Супутникові технології:

- Канали (кількість) 120
- Канали (особливості) до 60 супутників одночасно на двох частотах
- Супутникові системи GPS, Glonass
- Сигнали GPS (L1, L2, L2C), Glonass (L1, L2)
- Підтримувані технології RTK, SmartCheck, SmartTrack

Загальні:

- Рівень захисту IP68
- Маса 2.90 кг (комплект)
- Запис даних Знімна картка microSD, 1 Гб. Необроблені дані Leica

GNSS та дані RINEX до 20 Гц

- Робоча температура -40 ° .. +65 ° C
- Температура зберігання -40°..
- Розміри. Діаметр та висота антени: 190 мм та 90 мм.
- Інтерфейс антени Кнопка Увімк/Вимк і функціональна кнопка, 7

світлодіодів стану

- Інтерфейс контролера 640x480 пікселів (VGA) кольоровий TFT, підсвічування та сенсорна панель. CS10: книжковий, 26 клавiш, цифрова. CS15: альбомний, 65 клавiш QWERTY + 12 функціональних клавiш

- Внутрішнє живлення Змінна літій-іонна батарея (2.6 Ач / 7.4 В)

- Номінальна напруга 12 В постійного струму, діапазон 10.5 - 28 В постійного струму

Інтерфейси:

- Порти зв'язку Lemo: USB та серійний RS232. Bluetooth v2.00

- Протоколи обміну даними RTK Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM. NMEA 0183 V 4.00 та запатентований Leica

- Вбудовані модеми 3.75G GSM/UMTS/CDMA

- Можливість підключення зовнішніх модемів

GSM/GPRS/UMTS/CDMA

Геодезичні роботи на об'єкті робіт виконувались даним GPS приймачем, так як його параметри задовольняють необхідним вимогам.

Для виконання роботи був використаний електронний тахеометр Leica TCR1201+R400.

Технічні характеристики електронного тахеометру Leica TCR1201:

- Кутова точність: 1";
- Метод визначення відліку: абсолютний, безперервний, діаметральний;
- Розрядність дисплея: 1";
- Дальність без відбивача: 1000 м;
- Точність, без відбивача: $\pm (2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$
- Дальність на відбивач: 7500 м;
- Точність, на відбивач: $\pm (1 \text{ мм} + 1,5 \text{ ppm})$;
- Час, на відбивач: 2,4 / 0,8 / < 0,15 сек.;
- Час, без відбивача: 3- 6, max 12 сек.;
- Дальність на плівку: 250 м;
- Компенсатор чотирьохосьовий;

- Діапазон роботи $\pm 4''$;
- Точність фіксації 1,0 '';
- Зорова труба: збільшення 30х;
- Кут поля зору $1^\circ 30'$;
- Підсвічування сітки ниток;
- Мінімальна фокусна відстань 1, 7м;
- Батарея 7.4 В Li-Ion акумулятор 3.8 А/ч;
- Час зарядки: 4год;
- Час роботи: 5-8 годин;
- Запис даних: Комунікації Порти RS232, USB, Bluetooth, CompactFlash (256MB);
- Формат даних GSI / DXF / LandXML / задані користувачем ASCII-формати;
- Внутрішня пам'ять: 256MB (optional) 1750 / MB;
- Операційна система: Windows CE 5.0 Core;
- Захист від пилу і вологи: IP54;
- Робоча температура: -20°C до $+50^\circ \text{C}$;
- Габарити приладу: 345x226x203;
- Вага з акумулятором: 5кг ;
- Країна-виробник: Швейцарія;
- Прикладні програми; Установка і Зйомка, Винос в натуру;
- Тип дисплея: чорно- білий сенсорний 1/4 VGA (320 * 240 pixels), LSD з підсвічуванням;
- Тип клавіатури: буквено- цифрова;
- Клавіатура: 62 клавіші (12 функціональних, 40 алфавітно-цифрових) з підсвіткою;
- Тип центрира: лазерний;
- Точність центрування: 1,5 мм на 1, 5 м;



Рис. 2. 2 Электронный тахеометр Leica TCP1203+R400

3 ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ

3.1 Процес створення цифрової моделі місцевості та рельєфу

Обробка фотограмметричної інформації включає кілька етапів: створення блоку даних аерознімання (знімки та телеметрія), внутрішнє та взаємне орієнтування знімків, формування блочних мереж фототріангуляції, інформаційних продуктів - цифрових моделей рельєфу, щільних хмар точок, індексних зображень тощо. Серед цифрових фотограмметричних систем для опрацювання аерознімань з БПЛА найпоширеніші: Agisoft PhotoScan Pro, PHOTOMOD UAS, Pix4D Mapper, INPHO UAS Master, Global Mapper Pro. Вони генерують результати, такі як параметри камери, зображення з корекцією дисторсії, щільні хмари точок, цифрові моделі рельєфу та поверхні, ортофотоплани, карти індексів, 3D-текстуровані поверхні, лінії рівних висот, відео-анімації, 3D оцифровані об'єкти.

Швидкість обробки аерознімків значно впливає на якість та кількість введених даних, включаючи розмір фотографій і обчислювальні можливості комп'ютера. Важливим етапом є вирівнювання знімків за планово-висотним обґрунтуванням, яке включає розпізнавання опорних точок. Фотограмметрист виконує зіставлення цих точок на аерофотознімках з їхнім реальним положенням для отримання точних даних про орієнтацію та розрахунок середньоквадратичного відхилення (СКВ). Метою спеціаліста є отримання найменшого значення параметра "Сигма" (близького до 1), яке вказує на достовірність процесу варіюючи параметри вирівнювання. Швидкість обробки визначається кількістю та якістю фотографій та параметрів. В таблиці 3.1 детально викладено процес створення цифрової моделі місцевості та рельєфу (ЦММ та ЦМР).

Таблиця 3.1.Процес створення цифрової моделі місцевості та рельєфу (ЦММ та ЦМР).

Етап робіт	Вимоги до вхідних даних (формат файлів)	Орієнтовні строки виконання робіт	Вимоги до вихідних даних (формат файлів)	Виконавець
Завантаження та обробка результатів аерофотозйомки з безпілотної	1)Фотографії з камери (файли у форматі *.jpg) 2)Дані бортової телеметрії (файли у форматі *.gps) 3)Дані приймача GNSS (файли у форматі *.gps) 4)Дані зовнішнього орієнтування	2 години на кожен політ	(Файли у форматі *.txt)	Оператор БПЛА
Створення проекту у програмному забезпеченні PhotomodUAS	1) Геоприв'язані фотографії (файли у форматі *.jpg) 2) Дані зовнішнього орієнтування (файли у форматі *.txt) 3) Зрівняння стереопар за даними зовнішнього орієнтування (файли у форматі *.x-meta)	1 година на кожен політ підготовчої роботи, 1 година рендерингу на кожні 500 фото		Інженер-фотограмметрист
Вирівнювання за точками планово-висотного обґрунтування	1)Зрівняння за даними зовнішнього орієнтування (файли у форматі *.x-meta) 2)x-meta)	1 годину на 200 Га		
Створення та редагування пікетів	x-meta)	1 годину на 1-10 Га		
Векторизація стереопар	1)x-meta) 2)mid, *.dxf)	1 годину на 1-10 Га		
Створення щільної матриці висот	(Файли у форматі *.x-meta)	1 година рендерингу на кожні 200 фото	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	
Редагування щільної матриці висот (ЦМР)	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	1 годину на 10-100 Га	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	
Експорт щільної матриці висот (ЦМР) у сторонні формати	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	1 година на 10-100 Га , 1 година рендерингу на кожні 200 фото	Файлів форматів *.CSV, *.DTED, *.ERDAS Image, *.GEO Tiff, *.PCIDSK, *.MTW	
Створення текстурованої 3DTIN	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	1 година рендерингу на кожні 200 фото	3D-TIN (файли у форматі *.json)	
Створення 3Dмоделі цифровоїмоделі місцевості (ЦММ)	3D-TIN (файли у форматі *.json)	1 година рендерингу на кожні 1000 фото	Цифрова модель місцевості (ЦММ)	
Редагування щільної матриці висот	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	1 годину на 10-100 Га	Цифрова модель рельєфу (ЦМР) (файли у форматі *.x-dem)	
Експорт цифрової моделі місцевості ЦММ	Цифрова модель місцевості	1 година рендерингу на кожні 1000 фото	(Файли у форматах *.3DS, *.DAE, *.DXF, *.TX3)	

3.2. Фотограмметричне опрацювання матеріалів аерознімання, зібраних БПЛА, за допомогою Global Mapper Pro v24

Blue Marble Geographics американська компанія, що спеціалізується на розробці геоінформаційного програмного забезпечення (ГІС). Продукт компанії, Global Mapper Pro, має інструмент "Пікселі в точки", який використовується для створення 3D-моделей місцевості на основі зображень, знятих дронами, і опорних точок.

Global Mapper Pro, як ГІС-програмне забезпечення, дозволяє створювати класифіковані 3D-хмари точок, 3D-сітки та безшовні 2D-ортофотозображення. Це інструментальне рішення ідеально підходить для аналізу рельєфу, редагування хмар точок та обробки даних від дронів.



Рис.3.1. Візуалізація тривимірної хмари точок, згенеровану з пікселів у точки з можливістю експортувати в будь-який підтримуваний формат хмари точок

Global Mapper Pro служить потужним інструментом для обробки даних, зокрема для створення 3D-моделей із наборів зображень, отриманих від дронів. Інструмент "Пікселі в точки" дозволяє збирати дані на місці використовуючи легкі безпілотики і 2D-зображення з геотегами.

Pixels to Points від Global Mapper Pro використовується для обробки наборів зображень, зібраних безпілотиками з опорними точками. Процес структурування з руху дозволяє реконструювати сцену в 3D. Завдяки

простим діям користувач може створити 3D-хмару точок, 3D-сітку та 2D-ортофотозображення.

Отримані результати, такі як відеозаписи та карти, можна легко відтворити за допомогою програми 3D Viewer Global Mapper. Дані можна експортувати в різноманітні формати або використовувати для подальшого аналізу в Global Mapper Pro.

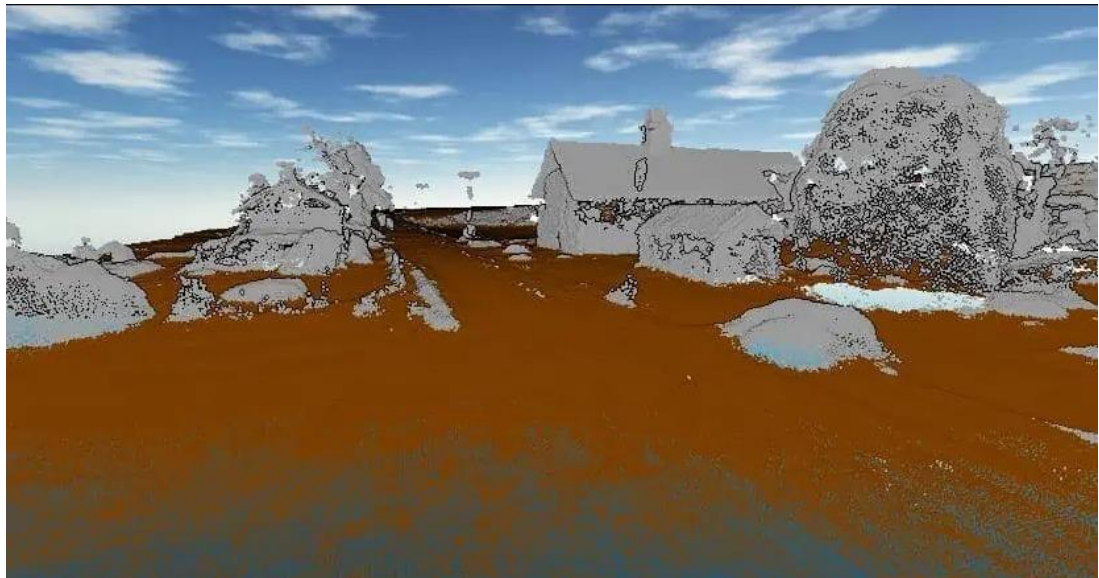


Рис.3.2. Класифікація хмари точок

Отримавши класифіковану хмару точок з поділом на дві категорії - "земля" та "не земля", можна подальше дослідження або експорт у формат, що підтримує технологію lidar. Головним етапом класифікації є виділення точок, що належать поверхні землі. В Global Mapper Pro автоматична класифікація використовує параметри користувача для управління процесом ідентифікації та класифікації точок землі. Параметри, такі як мінімальний поріг висоти, очікувана зміна висоти та максимальний нахил, роблять інструмент легким у використанні. Точки, що не входять до класу "земля", можуть бути більш детально розділені. Точки класу "земля" використовуються для створення цифрової моделі рельєфу. Щодо створення контурних ліній, векторні лінії рівня можна легко генерувати з будь-якої хмари точок у Global Mapper Pro з заданим інтервалом користувача.



Рис.3.3 Global Mapper Pro генерує контурні лінії

Інформацію про хмари точок можна фільтрувати через вікно "Параметри генерації контуру", де ви встановлюєте інтервал проведення контурних ліній та інші налаштування. Після створення контурних ліній рівня векторні об'єкти можна експортувати в будь-який підтримуваний векторний формат для подальшого використання.

Автоматизація обробки даних хмар точок виконується за допомогою сценарію Global Mapper. Після генерації чи імпорту даних хмар точок обробку можна виконати через інтерфейс користувача або сценарій Global Mapper, який використовує текстову мову сценаріїв. У версії 24 доступний інструмент Script Builder, що спрощує створення сценаріїв робочого процесу, перетворюючи дії з інтерфейсу користувача на повністю написані команди сценарію. Після активації Script Builder у Global Mapper для запису та обробки хмар точок, команди сценарію можна редагувати в редакторі сценаріїв програми або іншому текстовому редакторі. Змінні можна використовувати для виконання робочого процесу з різними наборами даних, дозволяючи користувачу налаштовувати файли та введення параметрів. Заміна шляхів до файлів і значень даних змінними дозволяє створити автоматизований робочий процес для використання з будь-яким набором даних або надавати доступ іншим користувачам Global Mapper для обробки хмар точок на їхньому ПК.

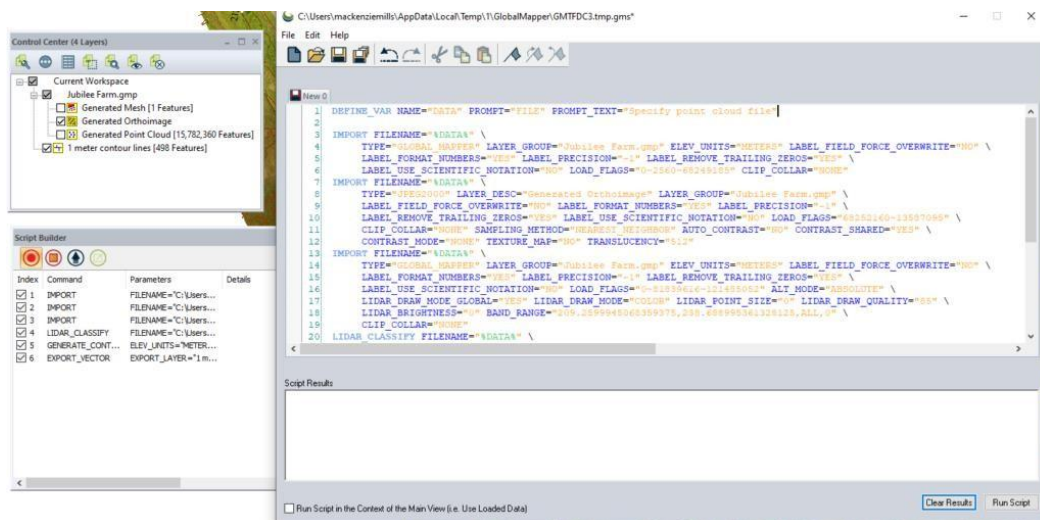


Рис.3.4. Редактор сценаріїв може відображати кілька сценаріїв в інтерфейсіз вкладками та використовується для редагування та запуску сценаріїв у Global Mapper Pro.

Забезпечуючи вдосконалені інструменти для користувачів будь-якого рівня кваліфікації, Global Mapper Pro залишається універсальним ГІС-рішенням.

В кваліфікаційній роботі було виконане аерофотознімання території ПС «Трихати» та за допомогою Global Mapper Pro отримано ортофотоплан, який значно зменшить витрати часу при створенні топографічного плану М 1:500.

3.3 Створення цифрового топографічного плану масштабу 1:500 на основі ортофотоплану

Камеральний етап включає створення топографічного плану масштабу 1:500 за допомогою геоінформаційних моделей, отриманих під час фотограмметричного опрацювання, таких як ортофотоплан, хмара точок, карти горизонталей та 3D моделі. Збір та обробка інформації для плану виконуються за допомогою програми Digitals. Дешифрування елементів місцевості на ортофотоплані відбувається в певній послідовності: рельєф, гідрографія, рослинність, інженерно-геологічні умови, родовища, кар'єри, підприємства, дорожня мережа та населені пункти.

Виявлені неточності і спотворення на ортофотоплані, які не дозволяють чітко ідентифікувати об'єкт або визначити його властивості, обов'язково порівнюються на місцевості.

Для точного відображення рельєфу на плані важливим є створення скелетних ліній, які пролягають по канавах, вододілах, тальвегах, брівках та підосвах.

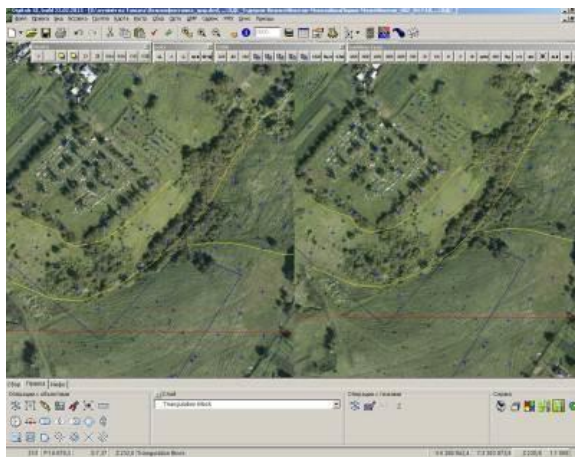


Рис.3.5. Процес створення скелетних ліній

Після збору скелетних ліній карту горизонталей слід уточнити та перевірити правильність нумерації (висот). У даному випадку горизонталі будуть проведені кожен 1 метр.

Далі важливим етапом є нанесення ситуації, тобто збір всіх топографічних елементів: будівлі, огорожі, межі присадибних ділянок, городи, рілля і т.д., дорожня мережа, ЛЕП (лінії електропередач), озеленення (ліси, сади, чагарники,одинокі дерева і інше).

Інструментальна панель "Збір" визначена для збору інформації. Тут слід обрати тип створюваного об'єкту відповідно до його геометрії (замкнутий об'єкт довільної конфігурації, прямокутний об'єкт, складний прямокутний об'єкт, точковий об'єкт, відрізок, коло, паралельні лінії). Шар з умовним позначенням обирається в розділі "Активний шар" або у менеджері шарів. Під час збору об'єктів зручно користуватися контекстним меню або відповідними "гарячими" клавішами. При виявленні помилок під час збору об'єктів можна їх редагувати (змінювати геометрію, наприклад, змінювати

розташування поворотної точки, топологічне узгодження об'єктів і т.д.). Операції редагування виконуються за умови виділення об'єкта та використовуючи інструментальну панель "Правка".

Під час збору часто використовується закладка "Інфо", щоб надати об'єкту семантичні характеристики після завершення збору. Після кожного збору закладка "Інфо" стає активною, і на ній вносяться необхідні характеристики.

Контроль якості плану передбачає кілька типів перевірок, включаючи виявлення помилок локалізації. Для цього переходимо до "Карта" -> "Перевірка"-> "Локалізація", де з'являється вікно з об'єктами, які потребують редагування (рис. 3.6).

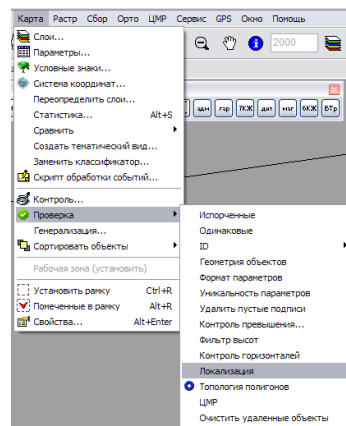


Рис.3.6. Вікно зі списком об'єктів

Обираючи об'єкт із списку, він відразу підсвічується червоним на плані, і ми виправляємо помилки. Після редагування карти проводимо повторний контроль і отримуємо цифровий топографічний план (рис. 3.7).

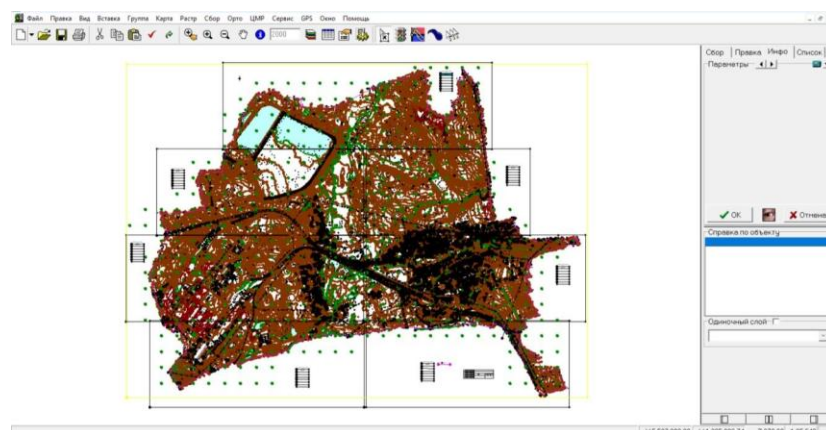


Рис.3.7 Цифровий топографічний план масштабу 1:500

3.4 Вимоги до створюваного топографічного плану

Мета полягає в створенні єдиного масиву цифрових геопросторових даних та топографічного плану 1:500 для розробки проєкту реконструкції ПС «Трихати». Цифрова картографічна основа формується як базовий набір геопросторових даних з використанням класифікаторів інформації. Координатною основою є місцева система координат Миколаївської області, МСК-48, похідна від Державної геодезичної референтної системи координат УСК- 2000. Паспорт місцевої системи координат зареєстровано на сайтах EPSG Geodetic Parameter Registry, EuroGeographics та адміністратора банку геодезичних даних.



Рис. 3. 8. Територія картографування

Висотною основою є Балтійська система висот 1977 року. Мінімальні вимоги до плану включають:

1) Створення картографічних документів відповідно до регламенту, зазначеного в переліку нормативно-правових та технічних документів.

2) Відповідність змісту картографічної основи вимогам класифікатора інформації М 1:500.

3) Візуалізація цифрової картографічної основи з використанням Умовних знаків для масштабу 1:500.

4) Включення цифрових значень характеристик і кодів об'єктів в Єдину систему класифікації і кодування картографічної інформації.

5) Топологічне узгодження всіх об'єктів цифрової карти.

6) Стереотопографічне знімання з точністю до 3 пікселів від ортофотопланів.

7) Проведення контролю якості для всіх елементів змісту і оформлення.

8) Оцінка якості за критеріями, такими як повнота, точність, достовірність, логічна узгодженість, правильність класифікації і кодування, правильність визначення характеристик об'єктів.

9) Встановлення середніх, граничних та грубих похибок, не перевищуючих величин, визначених Основними положеннями.

10) Зведення картографічної основи в базу геоданих ESRI Geodatabase для території в межах і за межами населених пунктів.

11) Відображення на топографічних планах масштабу 1:500 всіх необхідних об'єктів з точністю та детальністю.

12) Подача рельєфу місцевості за допомогою горизонталей, умовних знаків, підписів та вказівки напрямку схилу.

Висота перерізу рельєфу встановлюється залежно від характеру місцевості, масштабу планів, а також їх призначення згідно інструкції [18]. Для відображення особливостей рельєфу, які не видно на головному перерізі,

використовують половинні горизонталі. Їх не проводять через штучні покриття та розриті території. На топографічних планах 1:500 на кожен квадратний дециметр додають не менше 10 відміток характерних точок.

Похибка вимірювання рельєфу при масштабі 1:500 не повинна перевищувати: $1/4$ висоти перерізу при нахилах до 2° ; $1/3$ висоти при нахилах від 2° до 6° ; $1/3$ для перерізів рельєфу на висоті 0.5 м. На лісистій місцевості допуски збільшуються на півтора рази. При кутах нахилу більше 6° кількість горизонталей має відповідати різниці висот на схилах, а похибка висот не повинна перевищувати $1/3$ висоти перерізу рельєфу.

За результатами GPS-знімання, тахеометричного знімання та за допомогою створеного ортофотоплану було складено топографічний план М 1:500 ПС 330 кВ «Трихати». Топографічний план містить повний набір геопросторових даних та здатний забезпечити вимоги для оперативного процесу проектування заходів щодо реконструкції об'єкту критичної інфраструктури.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі ми розкрили технологію створення цифрових карт з використанням сучасних геодезичних приладів та технологій для великомасштабного знімання території енергетичних комплексів на прикладі ПС 330 кВ «Трихати» Миколаївської області.

В роботі окрему увагу приділено аналізу сучасних підходів щодо збору топографо-геодезичної інформації. Досліджено аспекти створення великомасштабних топографічних планів та вимог до їх наповнення та точності.

В кваліфікаційній роботі досліджено точність визначення координат в режимі RTK та обчислено рівняння регресії для GNSS-приймача Leica GS 14.

Описано процес застосування електронних тахеометрів, GPS-приймачів, що автоматизують процес збору і реєстрації геодезичних даних. Описано методику збору топографічної інформації з допомогою безпілотних літальних апаратів. Розкрито технологію створення топографічного плану за матеріалами аерознімання з БПЛА. Але поряд з цим недоліками використання БПЛА є: неможливість аерофотозйомки за несприятливих кліматичних погодних умов; великий вплив на точність знімання мають погодні умови; неможливість швидко перевірити точність зйомки відразу після виконання знімання.

Описано процес створення цифрової моделі місцевості та рельєфу; фотограмметричне опрацювання матеріалів аерознімання, зібраних БПЛА, за допомогою Global Mapper Pro v24. На основі ортофотоплану та безпосередньо топографічного знімання створено цифровий топографічний план масштабу 1:500.

В практичному аспекті створено трансформаційне поле в Миколаївському районі Миколаївської області та розбудовано геодезичну мережу, яка стала основою для топографічного знімання території ПС 330 кВ «Трихати».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Norbert Haala, Michael Cramer, Mathias Rothemel. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany. pp.183-188.
2. Remondino, F.; Barazzetti, L.; Nex, F.; Scaioni, M.; Sarazzi, D. UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling—current status and future perspectives. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2011, 38, C22.
3. Tserklevych, A., Vivat, A., & Petrov S. (2022). Engineering solutions for increasing the accuracy of geodesic measurements by total stations. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 96, (58-69).
4. V. M. Kurkov, A. S. Kiseleva. DEM accuracy research based on unmanned aerial survey data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B3-2020, 2020. pp.1347-1352.
5. Vivat, A., Petrov S., & Volkova V. (2022). Development methods of large-equipment installation in design position using electronic total stations. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 95, (22-30).
6. Vivat, A., Tretyak, K., & Lano, O. (2022). Investigation of determining the accuracy of spatial vectors by the satellite method in a real time mode. *Journal of Applied Geodesy*.
7. Баран П.І., Чорнокінь В.Я. Визначення тривалості GPS-спостережень в геодезичних мережах //Вісник геодезії та картографії . – Київ, 2004, №2. – С.12–15.
8. Віват А.Й. «Удосконалення геодезичних методів підвищення точності вимірювань в інженерно-геодезичних роботах». Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 Геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України. Львів, 2023.

9. Віват, А. Й. Дослідження точності визначення нормальних перевищень методом GNSS. Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільське господарство (18) (2017), - 11-19.

10. Вовк А., Глотов В., Гуніна А. Аналіз результатів для створення ортофотопланів та цифрових моделей рельєфу із застосуванням БПЛА Trimble UX-5 / А. Вовк, В. Глотов, А. Гуніна [та ін.] // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвід. наук.-техн. зб. / Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів, 2015. - Вип. 81. – С. 90-103.

11. Галецький В., Глотов В., Колесніченко В. Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА / В. Галецький, В. Глотов, В. Колесніченко [та ін.] // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвід. наук.-техн. зб. / Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів, 2012. - Вип. 76. – С. 85-93.

12. Геодезичний енциклопедичний словник. / За ред. Володимира Літинського – Львів: Євросвіт, 2001. – 668 с.

13. Глотов В., Церклевич А., Збруцький О. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата / В. Глотов, А. Церклевич, О. Збруцький [та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. пр. / Західне геодезичне т-во Українського т-ва геодезії і картографії, Нац.ун-т "Львівська політехніка". - Львів, 2014. - Вип. 1 (27). – С. 131-136.

14. Гофманн-Велленгоф Бернард. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика. / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Колінз. Переклад з англ. мови за ред. Акад. НАНУ Я.С. Яцківа, -К.: Наукова думка, 1996. – 380 с.

15. Гуніна А. Недоліки правового регулювання застосування БПЛА / Алла Гуніна, Володимир Глотов // «GeoTerrace-2018» : міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених, 13-15 грудня 2018 року, Львів, Україна : [наук. вид.] / Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018. – С. 188-189. – Бібліогр.: с. 189

16. Задемленюк А.В. Використання технології кінематики в реальному часі (RTK) для розв'язання прикладних задач геодезії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук спец. 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія» / А. В. Задемленюк. – Львів, 2011. – 26 с.

17. Закон України "Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність" *Режим доступу* [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14>],

18. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98), затвердженої наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09.04.1998 №56.

19. Карпінський Ю., Лазоренко-Гевель Н. Системна модель топографічного картографування в національній інфраструктурі геопросторових даних в Україні // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 92, 2020. С.24-36

20. Карпінський Ю., Лященко А., Рунець Р. Еталонна модель бази топографічних даних. 2010, Комплекс стандартів «База топографічних даних. Загальні вимоги. СОУ 742-33739540 0010:2010. Видання офіційне. –Київ, Мінприроди України, 2010

21. Колб І. Методика створення засобами геоінформатики картографічного шару контурів будівель за матеріалами великомасштабного аерознімання місцевості з БПЛА / І. Колб // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. пр. / Західне геодезичне т-во Українського т-ва геодезії і картографії, Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Львів, 2018. - Вип. II (36). – С. 92-96.

22. Ланьо О.В. Дослідження точності РТК-вимірювань у мережі референцних станцій. / О.В. Ланьо, С.Г. Савчук // Вісник геодезії та картографії. – 2012. № 4 (79). – С. 8-13.

23. Перша редакція проекту розділів Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. Видання 18.06.2020 / Розробники: Ю. Карпінський Н. Лазоренко-Гевель, О. Кучер, Р. Висотенко, В. Лавренєв, І.

Тревого, В. Глотов, О. Ясинський, Ю. Стопхай, Л. Скакодуб, Т. Кондратенко.

24. Рій І.Ф., Бочко О. І., Біда О.Ю. Електронні геодезичні прилади: навч. пос. І.Ф. Рій, О. І. Бочко, О.Ю. Біда – Львів: «ГАЛИЧ-ПРЕС», 2021. – 336с.

25. Савчук С.Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат / С.Г. Савчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. — Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». — 2007. — Вип. 69. — С. 20 – 33.

26. Сайт мережі ZAKPOS, режим доступу <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>

27. Сайт мережі Системнет, режим доступу <http://gnss.org.ua/>

28. Цюпак І.М. Точність визначення координат пунктів і довжин ліній за сесіями GPS-спостережень різної тривалості / І.М. Цюпак, // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - Львів: Видавництво Львівської політехніки.- 2012. - Вип. I (23).-С. 57-59.

29. Черняга П.Г. Супутникова геодезія. Навчальний посібник / П.Г. Черняга, І.М. Бялик, Р.М. Янчук. 2-ге вид., без змін – Рівне: НУВГП, 2014. – 222с.