

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

М. А. Кухар, Л. О. Маслій

СТВОРЕННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ ЛОКАЛЬНИХ
ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

УДК 332.6

Кухар М. А. Створення та реконструкція локальних геодезичних мереж : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / М. А. Кухар, Л. О. Маслій ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 109 с.

Автори:

канд. техн. наук, ст. викл. М. А. Кухар,
ст. викл. Л. О. Маслій

Рецензент

М. О. Пілічева, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 16.08.2024

Конспект лекцій складено з метою допомогти здобувачам третього (освітньо-наукового) рівня при підготовці до занять, заліків та іспитів із дисципліни «Створення та реконструкція локальних геодезичних мереж».

© М. А. Кухар, Л. О. Маслій, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ПРОЄКТУВАННЯ ТА СУЧАСНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....	7
ТЕМА 1 ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ, НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....	7
1.1 Види та призначення геодезичних мереж.....	7
1.2 Побудова національної геодезичної системи відліку України.....	11
1.3 Нормативна-правова документація зі створення геодезичних мереж.....	13
ТЕМА 2 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ	17
2.1 Локальні геодезичні мережі.....	17
2.2 Елементи технології проєктування локальних геодезичних мереж.	20
2.3 Висотна основа при проєктуванні локальних мереж	24
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ТА ЗАСОБИ ВРІВНОВАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....	26
ТЕМА 3 СУЧАСНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....	26
3.1 Базові станції.....	27
3.2 Геодезичні приймачі.....	32
ТЕМА 4 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ	36
4.1 Загальні вимоги до створення локальних геодезичних мереж.....	36
4.2 Традиційна методика створення локальних геодезичних мереж.....	41
ТЕМА 5 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	51
5.1 Створення локальних супутникових геодезичних мереж згідно з нормативно-правовою документацією.....	51
5.2 Методика спостережень та закладення пунктів локальних супутникових геодезичних мереж.....	57
ТЕМА 6 ЗАСОБИ ВРІВНОВАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....	70
6.1 Алгоритм найменших квадратів.....	73
6.2 Коригування горизонтальної зйомки.....	74
6.3 Дистанційне спостереження. Рівняння геометрії.....	75
6.4 Геометрія рівняння кута спостереження.....	76
6.5 Геометрія рівняння спостереження за азимутом / пеленгом.....	77
6.6 Зважені спостереження.....	78

6.7	Значення хі-квадрат і тест відповідності.....	79
6.8	Обчислення стандартного відхилення.....	79
6.9	Помилка прямокутників і еліпсів.....	80
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ЗАСОБИ ТА МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....		83
ТЕМА 7 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА РЕКОНСТРУКЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....		83
ТЕМА 8 СУЧАСНІ ЗАСОБИ ТА МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦІЇ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ.....		86
8.1	Обстеження пунктів планової геодезичної мережі.....	89
8.2	Оновлення пунктів планової геодезичної мережі.....	92
8.3	Оновлення центрів пунктів геодезичних мереж.....	93
8.4	Ремонт зовнішніх знаків та GNSS-обладнання, знесення старих зношених знаків та демонтаж GNSS-обладнання.....	93
8.5	Побудова нових зовнішніх знаків та встановлення GNSS- обладнання.....	93
8.6	Ремонт і оновлення старих орієнтирних пунктів.....	94
8.7	Оновлення зовнішнього оформлення геодезичних пунктів і орієнтирних пунктів.....	94
8.8	Обстеження знаків висотної геодезичної мережі.....	96
8.9	Оновлення знаків висотної геодезичної мережі.....	98
8.10	Польові роботи під час реконструкції локальних геодезичних мереж.....	99
8.11	Попереднє обстеження та аналіз точності пунктів локальних геодезичних мереж для завдань реконструкції.....	100
8.12	Особливості застосування GNSS для реконструкції пунктів державної геодезичної мережі в умовах збройної агресії Російської Федерації.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		105

ВСТУП

Предмет дисципліни «Створення та реконструкція локальних геодезичних мереж» – створення та реконструкція локальних геодезичних мереж (ЛГМ).

Об'єкт дисципліни «Створення та реконструкція локальних геодезичних мереж» – сучасні методики та методи створення та реконструкції локальних геодезичних мереж в Україні.

Мета дисципліни «Створення та реконструкція локальних геодезичних мереж» – надати аспірантам інформацію про традиційні та сучасні методики та методи створення та реконструкції локальних мереж на законодавчому, професійному та практичному рівнях.

Локальна геодезична мережа – це мережа геодезичних пунктів, що встановлюється в межах обмеженого територіального простору, наприклад, в межах певної будівлі, території промислового підприємства, місцевості на відстані кількох кілометрів тощо. Локальна геодезична мережа зазвичай використовується для вимірювання геометричних параметрів об'єктів на цей момент часу, а також для моніторингу змін цих параметрів в майбутньому. Вона може бути побудована з використанням різноманітних методів, таких як полігонометрія, трилатерація, триангуляція, нівелювання, GPS-вимірювання тощо. Локальні геодезичні мережі зазвичай мають високу точність і дозволяють виконувати роботи з високою деталізацією.

До локальної геодезичної мережі входять геодезичні пункти з відомими координатами, які вимірюються з високою точністю за допомогою геодезичних інструментів. Пункти локальної геодезичної мережі пов'язані з геодезичними пунктами більш високої точності, які належать до Державної геодезичної мережі (ДГМ). Координати точок локальної геодезичної мережі визначаються відносно визначених базових пунктів за допомогою геодезичних вимірювань і обчислень.

Локальна геодезична мережа може використовуватися для визначення координат точок на території об'єктів, таких як промислові підприємства,

транспортні мережі, гідротехнічні споруди та інше. Також вона може використовуватися для розрахунку взаємодії між об'єктами на території, що дозволяє більш точно визначати координати точок та відслідковувати їх зміни в часі.

У конспекті лекцій розглянуті такі питання:

- методи створення ЛГМ;
- сучасне геодезичне обладнання для створення ЛГМ;
- традиційні методи створення та реконструкції ЛГМ;
- сучасні методики створення та реконструкції ЛГМ;
- засоби врівноваження ЛГМ.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ПРОЄКТУВАННЯ ТА СУЧАСНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

ТЕМА 1 ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИДИ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ, НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Види та призначення геодезичних мереж

Геодезичні мережі (ГМ) представляють собою систему точок на поверхні Землі, які закріплені та мають визначені координати і висоти в єдиній системі. Вони створюються для різних територій, від малих до великих площ.

Залежно від територіального охоплення, ГМ поділяються так:

- глобальні геодезичні мережі, що охоплюють всю планету;
- національні (державні) геодезичні мережі, що створюються в межах окремої країни в єдиній системі координат і висот, прийнятій у цій країні;
- мережі згущення, що використовуються для створення основи топографічних зйомок;
- місцеві геодезичні мережі, які розвиваються на локальних ділянках для вирішення місцевих завдань у відповідній системі координат.

За геометричною сутністю розрізняють:

- планові геодезичні мережі, де обчислюються координати точок на еліпсоїдній або площинній поверхні;
- висотні (нівелірні) мережі, де визначаються висоти точок щодо певної відлікової поверхні, наприклад, квазігеоїда;
- просторові геодезичні мережі, де встановлюється взаємне положення точок у тривимірному просторі.

Сучасна Глобальна геодезична мережа (ГГМ) створюється за допомогою космічних методів геодезії, зокрема спостережень штучних супутників Землі, тому її часто називають супутниковою або космічною геодезичною мережею.

Положення точок у цій мережі обчислюються в геоцентричній системі координат XYZ, де початок координат збігається з центром мас Землі, вісь Z співпадає з віссю обертання Землі, площина X співпадає з площиною початкового меридіана, а вісь Y доповнює систему до правої.

ГГМ використовується для вирішення різних наукових і технічних завдань, зокрема:

- уточнення фундаментальних геодезичних постійних;
- вивчення форми і гравітаційного поля Землі;
- визначення рухів полюсів Землі;
- створення єдиної для всієї Землі системи геоцентричних координат;
- визначення положення референц-еліпсоїдів різних країн щодо центру мас Землі;
- вивчення переміщень і деформацій літосферних плит.

ГГМ постійно вдосконалюється для досягнення найвищої точності визначення положення її точок у геоцентричній системі координат, що дозволяє вирішувати нові наукові завдання в геодезії, прикладній космонавтиці, геодинаміці, астрономії та інших науках.

Національні геодезичні мережі поділяються на три типи:

1. Державна геодезична мережа (планова).
2. Державна мережа нівелювання (висотна).
3. Державна гравіметрична мережа.

Координати точок Державної геодезичної мережі визначаються з максимальною точністю у плановому вимірі на обраній поверхні відносності (на референц-еліпсоїді або площині), тоді як висоти визначаються з меншою точністю, особливо в гірських районах.

Державна нівелірна мережа призначена для точного визначення висоти кожної точки щодо поверхні квазігеоїда, при цьому планове положення точок цієї мережі визначається менш точно.

Державна гравіметрична мережа створена для точного визначення прискорення сили тяжіння в кожній точці. Положення точок у плановому і висотному вимірі визначається з необхідною точністю.

Державні геодезичні мережі створюються в межах кожної окремої країни та використовуються для вирішення таких завдань:

- детальне вивчення форми і гравітаційного поля Землі, а також їх змін у часі в межах країни;
- поширення єдиної системи координат і висот на всю територію країни;
- картографування території країни в різних масштабах в єдиній системі координат і висот;
- вирішення наукових та інженерно-технічних завдань народногосподарського значення за допомогою геодезичних методів.

Через специфічні засоби і методи побудови, точки планової геодезичної мережі зазвичай розташовуються на найвищих ділянках місцевості, а точки нівелірної мережі – на рівнинних і горбистих ділянках, у долинах річок тощо.

Державні геодезичні мережі всіх трьох типів будуються окремо, але тісно пов'язані і доповнюють одна одну. Деякі точки можуть бути спільними для всіх трьох мереж, що дозволяє ефективніше вирішувати багато геодезичних завдань.

З огляду на їх наукове і народногосподарське значення державні геодезичні мережі надійно закріплюються на місцевості і розраховані на тривалий термін служби. Вони мають відповідати вимогам науки та народного господарства не тільки в найближчому, але й у віддаленому майбутньому.

Історія розвитку геодезії показує, що з часом вимоги до точності побудови державних геодезичних мереж постійно зростають. Якщо їх не оновлювати і не вдосконалювати, вони поступово втрачають точність і частину своїх точок, особливо через сучасні рухи земної кори.

Щоб державні геодезичні мережі країни відповідали сучасним і майбутнім вимогам, необхідно:

– регулярно проводити польове обстеження всіх пунктів мережі, реконструювати або заново визначати втрачені пункти;

– періодично виконувати повторні або додаткові виміри в частинах мережі, які найбільш схильні до деформацій через сучасні рухи земної поверхні або інші причини;

– виконувати повторні або додаткові вимірювання для вдосконалення і підвищення точності мережі, використовуючи новітні технології та методи вимірювань.

– при накопиченні нової інформації через 25–30 років проводити повторне врівноваження планової та висотної мережі для отримання нових, більш точних координат і висот, відповідних даним епосі спостережень.

Під час створення сучасних державних геодезичних мереж виконується комплекс основних геодезичних робіт, що включає проектування мереж; рекогностування пунктів; будівництво геодезичних знаків; закладання підземних центрів і реперів; виконання кутових і лінійних вимірювань; визначення астрономічних широт, довгот і азимутів; виконання нівелірних робіт; вимірювання прискорення сили тяжіння; спостереження за штучними супутниками Землі (ШСЗ) та математичну обробку результатів вимірювань.

За останні роки значно підвищилася точність визначення координат пунктів за результатами спостережень ШСЗ, тому вони все ширше використовуються при створенні державних геодезичних мереж високої точності.

Для того щоб державні геодезичні мережі могли служити науці та народному господарству протягом тривалого часу, їх потрібно будувати на суворо науковій основі з найвищою точністю, досягаючи цього за допомогою новітніх методів і високоточної вимірювальної техніки.

Місцеві геодезичні мережі створюються на локальних ділянках для вирішення складних наукових та інженерно-технічних завдань, що вимагають визначення взаємного положення точок у плані та за висотою з максимальною

точністю на кожен момент часу. Для цього створюються спеціальні геодезичні мережі високої точності, в яких прецизійні вимірювання проводяться повторно через певні інтервали часу. Математична обробка вимірювань у таких мережах виконується в місцевій системі координат, що обирається так, щоб редуційні поправки при переході від вимірних величин до їх проєкцій на місцеву поверхню відносності були мінімальними. Такі мережі використовуються, наприклад, у сейсмоактивних районах для прогнозування землетрусів, при будівництві та експлуатації потужних радіотелескопів, прискорювачів елементарних частинок, гідроелектричних станцій тощо.

1.2 Побудова національної геодезичної системи відліку України

Супутникові та комп'ютерні технології, що почали впроваджуватися у 1970-х роках, перетворили геодезію на науку планетарного масштабу. Національні геодезичні системи відліку перестали відповідати потребам науки та практики. Це привело до розвитку загальноземних систем відліку та геодезичних референційних систем координат, створених на їх основі. Багато країн почали реорганізовувати свої національні геодезичні системи відліку, адаптуючи їх до нових умов.

На початку ХХІ століття в Україні стало актуальним питання вибору оптимального шляху перебудови національної системи відліку. Наявна державна система координат, розроблена у минулому як основа геодезичного забезпечення, не могла повністю виконувати свої функції у сучасній системі. Для поліпшення ситуації було необхідно створити і впровадити нову геодезичну систему відліку як основу сучасної системи геодезичного забезпечення в Україні.

З метою інтеграції України у світову та європейську економічні системи, впровадження сучасних навігаційних систем для транспортних засобів, участі в міжнародних наукових дослідженнях глобальних екологічних і геодинамічних

процесів, вивчення форми Землі, загальнодержавного картографування території, а також розвитку та модернізації державної геодезичної мережі, Укргеодезкартографія реалізувала стратегічну ініціативу зі створення та впровадження геодезичної референцної системи координат як планової складової національної системи відліку [1].

Створення геодезичної референцної системи координат та її впровадження здійснювалися відповідно до положень нормативних актів. На основі GPS-мережі періодично діючих пунктів, створеної в Україні в рамках проєкту EUREF-UKR95, з часом була сформована Українська постійно діюча мережа глобальних навігаційних супутникових спостережень (УПІМ ГНСС). Ця мережа стала невіддільною частиною Державної геодезичної мережі (ДГМ) і основою національної системи відліку.

Комплекс наукових та прикладних робіт із модернізації ДГМ дозволив за короткий час повністю перебудувати систему геодезичного забезпечення України з використанням сучасних супутникових та комп'ютерних технологій. Це також дозволило вирішити питання створення та представлення цифрової картографічної інформації на високому науковому і технічному рівні.

Упровадження геодезичної референцної системи координат дало можливість ефективно використовувати сучасні GNSS-технології в топографо-геодезичному виробництві, що мають низку переваг порівняно з традиційними геодезичними методами.

Сучасна геодезична референцна система координат знаходить застосування у космічній, оборонній, транспортній галузях, геологічній розвідці, екології, геодинаміці та сейсміці, а також у політичній, освітній та інформаційній сферах.

На сьогодні складовими Державної геодезичної мережі України є геодезична (планова), нівелірна (висотна) та гравіметрична мережі, пункти яких мають бути суміщені або між якими встановлено надійний геодезичний зв'язок (рис. 1.1).

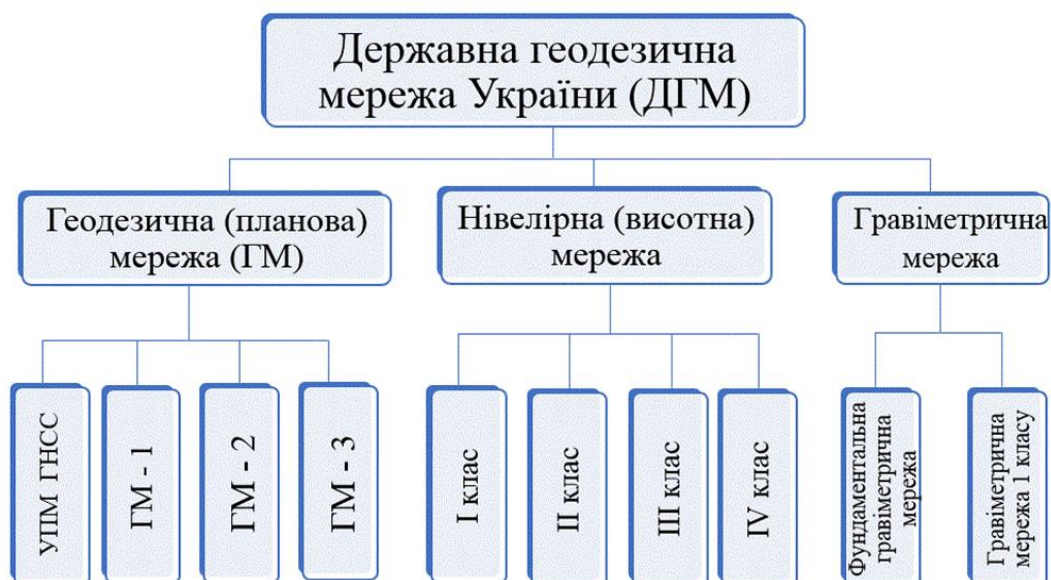


Рисунок 1.1 – Складові Державної геодезичної мережі України

Геодезична (планова) мережа містить українську постійно діючу (перманентну) мережу спостережень глобальних навігаційних супутникових систем (УПМ ГНСС) та геодезичні (планові) мережі I, II і III класів.

Нівелірна (висотна) мережа містить нівелірні (висотні) мережі I, II, III і IV класів.

Гравіметрична мережа містить фундаментальну гравіметричну мережу та гравіметричну мережу I класу [2].

1.3 Нормативна-правова документація зі створення геодезичних мереж

Основою нормативно-правової документації зі створення Державної геодезичної мережі України є:

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646 «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність».
2. Закон України від 23 грудня 1998 р. № 5–6 «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність».

3. Указ Президента України від 1 серпня 2001 р. № 575/2001 «Про поліпшення картографічного забезпечення державних та інших потреб в Україні».

4. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 грудня 1999 № 2359 «Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84».

5. Постанова Кабінету Міністрів України від 11.08.2000 № 320-р «Про затвердження плану заходів щодо впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84».

6. Постанова Кабінету Міністрів України від 8 червня 1998 р. № 844 «Про затвердження основних положень створення Державної геодезичної мережі України».

7. Постанова Кабінету Міністрів України від 16 січня 2003 р. № 37 «Про затвердження Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003–2010 роки».

Створення геодезичних мереж пов'язано з виконанням багатьох нормативних документів, які регулюють вимоги до точності виконання робіт, збереження даних та інших аспектів. Деякі з найважливіших нормативних документів, які використовуються під час створення геодезичних мереж, наведені нижче:

1. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 19.09.2012 № 385 «Про затвердження Інструкції з організації та ведення державного реєстру геодезичних мереж та пунктів».

2. Наказ Державного комітету з питань регуляторної політики та підприємництва України від 03.10.2014 № 531 «Про затвердження Правил забезпечення єдності просторових даних території України».

3. Наказ Державного комітету з питань технічного регулювання та споживчої політики України від 23.05.2011 № 312 «Про затвердження Правил ведення робіт з геодезії та картографії».

4. ДСТУ Б В.2.2-23:2018 Топографо-геодезичні роботи. Основні положення.

5. ДСТУ 3760-98 Загальні принципи виконання геодезичних робіт.

6. ДСТУ 4175:2003 Геодезичні роботи. Основні положення, який встановлює загальні вимоги до геодезичних робіт, а також визначає основні терміни і визначення, що використовуються у цій галузі.

7. ДСТУ 4068:2002 Геодезичні роботи. Топографічні зйомки. Загальні положення, який містить вимоги до топографічних зйомок, визначення їх об'єктів та робочі процедури.

8. ДСТУ 4161:2003 Геодезичні роботи. Геодезичні мережі і пункти, який визначає загальні вимоги до геодезичних мереж, у тому числі до їх створення, обстеження та оцінки точності.

9. ДСТУ 4047:2001 Геодезичні роботи. Звіти. Загальні вимоги, який встановлює вимоги до звітності за результатами геодезичних робіт.

10. ДСТУ 4067:2002 Геодезичні роботи. Технічні плани. Загальні вимоги, який встановлює вимоги до технічних планів, які мають бути складені під час проведення геодезичних робіт.

11. ДСТУ Б В.2.2-14:2013 Топографо-геодезичні роботи у будівництві. Вимоги до виконання та приймання.

12. ДСТУ Б В.2.2-7:2010 Топографо-геодезичні роботи в архітектурі та будівництві. Основні положення.

13. ДСТУ Б В.2.2-10:2010 Топографо-геодезичні роботи при виконанні гірничих робіт. Основні положення.

14. ДСТУ Б.В.2.2-22:2017 Топографо-геодезичні роботи. Розрахунки.

15. ДБН В.2.2-3-2004 Геодезичні роботи у будівництві.

16. ДСТУ Б В.2.2-10:2010 Геодезичні роботи у будівництві. Організація виконання та зміст звітування.

17. ДСТУ Б.В.2.4-1-2010 Геодезичні роботи у будівництві. Вимоги до робочої документації.

18. ДБН А.2.2-3-2004 Геодезичне забезпечення будівництва. Загальні вимоги..

19. ДСТУ 4272:2004 Геодезичні роботи. Роботи з виконання високоточних вимірювань в будівництві. Загальні вимоги, який встановлює вимоги до високоточних геодезичних робіт, що виконуються у будівництві.

20. ДБН В.2.2-12:2011 Будівельна геометрія. Основні положення, який містить вимоги до геодезичних робіт, що необхідні для забезпечення точності.

Ці нормативні документи встановлюють правила та вимоги щодо проведення геодезичних робіт, організації ведення державного реєстру геодезичних мереж та пунктів, забезпечення єдності просторових даних території України, вимоги до робочої документації та звітування.

ТЕМА 2 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

2.1 Локальні геодезичні мережі

Локальна геодезична мережа – це мережа з геодезичних пунктів, яка створена для визначення координат точок на обмеженій території. Вона використовується для робіт з проєктування, будівництва, моніторингу будівель та інженерних споруд, землевпорядкування та кадастру, а також для проведення наукових досліджень. Локальні геодезичні мережі можуть використовуватися як окремо, так і як частина загальнодержавної геодезичної мережі.

Для забезпечення топографічних знімачь усіх масштабів пунктів ДГМ не достатньо, тому її згущують пунктами IV класу, а в разі необхідності, пунктами 1-го і 2-го розрядів, які належать до мереж згущення. Під час розвитку мережі згущення застосовуються методи: триангуляції, полігонометрії, трилатерації, методи засічок або сучасні методи GPS-спостережень.

Геодезичною основою знімальної геодезичної мережі є пункти:

- ДГМ I, II та III класу;
- ГМ згущення IV класу, 1-го, 2-го розрядів;
- ГМ спеціального призначення.

У свою чергу, до ГМ спеціального призначення належать:

- геодезичні мережі згущення IV класу та 1-го і 2-го розрядів, які будуються для забезпечення кадастрової та містобудівної діяльності, створення місцевих систем координат;

- геодезичні мережі для інженерно-геодезичних вишукувань об'єктів будівництва, гірничої справи, формування інженерної та транспортної інфраструктури;

- геодезичні мережі для геодинамічних досліджень на основі геодезичних вимірювань.

Геодезичні мережі спеціального призначення будуються методами супутникових геодезичних спостережень, а також традиційними лінійно-кутовими методами.

У сейсмічно активних і техногенних районах країни на геодинамічних полігонах створюються просторові геодезичні мережі для вивчення сучасних рухів земної кори. Кутові, лінійні, висотні, астрономо-гравіметричні вимірювання та супутникові спостереження у просторових геодезичних мережах проводяться з підвищеною точністю і приводяться до єдиної геодезичної системи для використання їх у процесі вирівнювання Державної геодезичної мережі.

Порядок утворення геодинамічних полігонів, періодичність і точність геодезичних та гравіметричних вимірювань на них регламентуються нормативно-технічною документацією у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності.

Геодезичні пункти Державної геодезичної мережі є вихідними пунктами для побудови геодезичних мереж спеціального призначення [1, 2].

Локальні геодезичні мережі (ЛГМ) розвиваються на локальних ділянках місцевості і використовуються для вирішення наукових та інженерно-геодезичних завдань у місцевій системі координат.

Упровадження в Україні системи координат УСК-2000, спричинило необхідність забезпечення зв'язку з нею Місцевих опорних систем координат (МСК) шляхом реконструкції та удосконалення ЛГМ.

Реконструкція ЛГМ у системі координат УСК-2000 у вигляді комбінованих лінійно-кутових побудов забезпечує підвищення точності опорних геодезичних мереж та визначає параметри зв'язку з Державною геодезичною референційною системою координат.

Опорні геодезичні мережі використовуються для забезпечення:

– великомасштабних топографічних та земельно-кадастрових зніманих;

– інженерно-геодезичних робіт під час будівництва та експлуатації будівель та інженерних комунікацій;

– створення та ведення містобудівних та земельних кадастрів, геоінформаційних систем.

Всі ці питання вказані в Інструкції зі створення та реконструкції міських геодезичних мереж в УСК.

Основою для розвитку та реконструкції ЛГМ опорних мереж згущення IV класу та 1-го і 2-го розрядів слугують пункти УПМ ГНСС та пункти ДГМ I, II і III класів. Однорідна висока точність ЛГМ досягається шляхом застосування методів супутникових спостережень у поєднанні з лінійно-кутовими геодезичними вимірами та відповідними методами обробки і оптимальною геометрією розташування геодезичних пунктів. З метою забезпечення рівномірної щільності, всі пункти ЛГМ, які були визначені у минулі роки та збереглися і придатні для використання, мають включатись у нову геодезичну мережу. Абсолютні середні квадратичні похибки (СКП) визначення координат пунктів ДГМ об'єкта від їхньої загальної кількості мають бути такими:

- не менше ніж 97 % – не більше ніж 0,03 м;
- не більше ніж 2 % – не більше ніж 0,05 м;
- не більше ніж 1 % – не більше ніж 0,06 м.

Абсолютні середні квадратичні похибки (СКП) визначення координат пунктів ДГМ у межах населених пунктів та промислових об'єктів не мають перевищувати 0,05 м. Абсолютні середні квадратичні похибки (СКП) визначення координат пунктів ЛГМ об'єкта від їхньої загальної кількості не мають бути такими:

- не менше ніж 97 % – не більше ніж 0,05 м;
- не більше ніж 2 % – не більше ніж 0,06 м;
- не більше ніж 1 % – не більше ніж 0,07 м.

Створення та реконструкція ЛГМ передбачає виконання геодезичних робіт у два етапи – на пунктах ДГМ та на пунктах ЛГМ.

2.2 Елементи технології проєктування локальних геодезичних мереж

Технологія проєктування локальних геодезичних мереж передбачає:

1. Визначення мети та завдань проєктування мережі (необхідно визначити, які цілі мають бути досягнуті за допомогою локальної геодезичної мережі та які завдання мають бути вирішені).

2. Визначення потреб щодо точності та ступеня її забезпечення (необхідно визначити необхідну точність вимірювань та ступінь її забезпечення).

3. Вибір методів вимірювання та інструментів (на цьому етапі визначається, які методи вимірювання та інструменти будуть використовуватися для розвитку запроєктованої мережі).

4. Планування мережі. На цьому етапі визначається, які пункти запроєктованої мережі мають бути виміряні, які методи вимірювання будуть застосовуватися для кожного пункту та які зв'язки між пунктами мають бути встановлені.

5. Виконання вимірювань та обробка отриманих даних. На цьому етапі виконуються вимірювання згідно з проєктом мережі та обробка отриманих даних.

6. Аналіз точності та стійкості мережі. На цьому етапі оцінюється точність та стійкість мережі.

7. Коригування мережі. Якщо необхідно, на цьому етапі вносяться корективи мережі для підвищення її точності та стійкості.

8. Оформлення результатів проєктування. На останньому етапі оформлюються результати проєктування мережі у вигляді карт, таблиць, звітів.

У процесі роботи важливо дотримуватися вимог щодо точності та деталізації мережі, враховувати геометричні особливості території, вибрати

оптимальний метод зйомки та розрахунку координат, а також використовувати сучасне обладнання та програмне забезпечення.

Локальні геодезичні мережі проєктуються на основі технічного завдання на виконання робіт та згідно з технічним проєктом, який розробляється у відповідності до «Основних положень» і чинної «Інструкції про побудову державної геодезичної мережі». Складанню технічного проєкту передують низка підготовчих робіт:

- вивчення технічного завдання на проєктування геодезичної мережі і додаткових вимог, які мають бути виконані під час її створення;
- вивчення району робіт у топографо-геодезичному і картографічному відношеннях;
- детальне вивчення фізико-географічних і економічних умов району робіт;
- вивчення дорожніх умов району і гідрографії, встановлення наявності будівельних матеріалів для побудови знаків, можливості оренди транспортних засобів, найму робочої сили тощо.

Під час вивчення району робіт використовують топографічні і спеціальні карти, різні літературні джерела, звіти про виконані роботи в даному районі. Також проводиться рекогноситування для детального вивчення району робіт та збору необхідної інформації і вивчення об'єкту на місцевості.

Також на стадії проєктування обирається метод створення геодезичної мережі (тріангуляція, полігонометрія, трилатерація, GPS-спостереження), які забезпечують необхідну точність побудови мережі за мінімальних витрат на її створення. Для визначення економічної ефективності того чи іншого методу побудови мережі, розробляють відповідний до кожного методу варіант побудови мережі. Складають кошторис затрат, який враховують під час вибору найбільш вигідного з економічного боку варіанта геодезичної мережі.

Особлива увага приділяється вибору конструкції центрів і обґрунтуванню глибини їх закладки, встановленню довжини сторін мережі, вибору напрямів для азимутальних визначень і вимірюванню базисних сторін з найвищою точністю.

Геодезичні мережі проєктують окремо за класами. Проєктування ЛГМ виконується на картах масштабу 1: 25 000. Детальну розробку окремих ділянок проєкту проводять на картах більш крупного масштабу та за аерофотознімками.

Проєктування ЛГМ починають з нанесення на карти наявних пунктів попередніх геодезичних побудов. Пункти IV класу проєктують відповідно до встановленої нормою густоти пунктів.

Побудова та реконструкція мережі ЛГМ створюється як геодезичні мережі згущення. Пункти ЛГМ згущення IV класу визначають відносними методами супутникової геодезії. Для GPS-спостережень необхідно використовувати якомога більшу кількість GPS-приймачів (не менше п'яти) за якомога меншої різноманітності їхніх типів і типів антен.

Технічні вимоги щодо супутникових геодезичних спостережень наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні вимоги до супутникових геодезичних спостережень

№ з/п	Найменування технічних вимог супутникових визначень	IV клас	1-й розряд
1	2	3	4
1	Типи супутникових приймачів, кількість частот	1–2	1–2
2	Тривалість сеансів безперервних вимірювань, не менше годин	1–2	1–2
3	Найменша кількість супутників, які одночасно спостерігаються	4	4
4	Інтервал реєстрації (дискретність) супутникових сигналів, с	15	15
5	Найменша висота положення супутників над горизонтом, град	15	15
6	Максимальне допустиме значення PDOP	5	5
7	Відносна похибка визначення вектору-базису, не більше	1: 25 000	1: 10 000
8	Кількість незалежних центрувань антени на пункті, не менше	1	1
9	Кількість повторних вимірювань висоти антени протягом сеансу спостережень, не менше	2	2

Технічні вимоги щодо створення геодезичних мереж згущення IV класу, 1-го і 2-го розрядів лінійно-кутовими геодезичними вимірами наведені в таблиці 2.2. Пункти ЛГМ згущення 1-го розряду визначаються з урахуванням економічної доцільності та умов спостережень, методами лінійно-кутових побудов, супутникових геодезичних спостережень або їх комбінаціями. Геодезичні мережі 2-го розряду створюються як виключення, якщо неможливо виконати лінійно-кутові виміри з точністю 1-го розряду. Щільність пунктів ЛГМ визначається згідно з масштабом топографічних знімів з урахуванням висоти перерізу рельєфу, що виконуються на території об'єкта, а також необхідністю забезпечення геодезичних, землепорядних, інших робіт та має відповідати вимогам чинних нормативно-технічних документів.

Таблиця 2.2 – Технічні вимоги до лінійно-кутової геодезичної мережі

№ з/п	Технічні параметри лінійно-кутової геодезичної мережі	IV клас	Розряд	
			1	2
1	2	3	4	5
1	Гранична довжина ходу, км:			
	– окремого;	14,0	7,0	4,0
	– між вихідною і вузловою точками;	9,0	5,0	3,0
	– між вузловими точками	7,0	4,0	2,0
2	Довжина сторони, км:			
	– найбільша;	3,0	0,8	0,5
	– найменша	0,25	0,12	0,08
3	Кількість сторін у ході, не більше	15	15	15
4	СКП виміряного кута (за неув'язками в ходах і полігонах) не більше, с	3,0"	5,0"	10,0"
5	Найбільша неув'язка у трикутнику, с	8,0"	20"	40"
6	Кутова неув'язка ходу, або полігону, не більше, с, де n – кількість кутів у ході	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$
7	Відносна похибка у ході, не більше	1: 25 000	1: 10 000	1:5 000
8	СКП вимірювання довжини сторони, м:			
	– якщо довжина до 500 м;	0,01	0,01	0,01
	– від 500 до 1 000 м;	0,02	0,02	–
	– понад 1 000 м	1:40 000	–	–

2.3 Висотна основа при проєктуванні локальних мереж

Висотною основою є нівелірна мережа I, II, III, IV класів. Висоти пунктів ЛГМ визначаються у загальній, нормальній системі висот. Вибір стадій побудови нівелірної мережі базується на врахуванні величини площі об'єкту вимог щодо забезпечення топографо-геодезичних та інженерно-геодезичних робіт. Вихідними пунктами для побудови нівелірних мереж мають бути не менше ніж два репери нівелювання I або II класу. Вибір вихідних реперів та системи висот об'єкта має виконуватись відповідно до чинних нормативно-технічних документів.

Для визначення нормальних висот геодезичних пунктів та нівелірних реперів дозволяється використання GPS-нівелювання. Виконується уточнення моделі квазігеоїда для території об'єкту. GPS-нівелювання виконується відносними методами супутникової геодезії з врахуванням висот квазігеоїда, що має забезпечити СКП взаємного положення пунктів за висотою не більше ніж 0,05 м. Основні вимоги щодо тривалості супутникових геодезичних спостережень під час GPS- нівелювання наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні вимоги до тривалості супутникових геодезичних спостережень під час GPS- нівелювання

Відстань прив'язки, км	Найменша тривалість одного сеансу, годин
1–5	2–3
5–10	3–4
більше 10	4–6

Для уточнення моделі квазігеоїда на об'єкті визначають координати вихідних реперів I, II, III класів із супутникових геодезичних спостережень за програмою для пунктів ДГМ II класу. Тривалість сеансів спостережень визначається в залежності від відстані прив'язки нівелірних знаків до вихідних пунктів УПН ГНСС або ДГМ I класу. Якщо неможливо встановити приймач

безпосередньо над нівелірним знаком, супутникові геодезичні спостереження виконують на тимчасовому центрі, який розташовують на відстані від 20-ти до 50-ти метрів від нівелірного знака. Передача висоти із репера на тимчасовий центр здійснюється нівеліром, однією станцією із похибкою не більше ніж 3 мм. У гірській або важкодоступній місцевості нормальні висоти пунктів ЛГМ визначаються геодезичним або GPS-нівелюванням із СКП взаємного положення суміжних пунктів за висотою не більше 0,10 м.

Більш детально кожен елемент роботи з геодезичними методами, методиками та технологіями можна використовувати за нормативно-правовою документацією [2–9].

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ТА ЗАСОБИ ВРІВНОВАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

ТЕМА 3 СУЧАСНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

GNSS (Global Navigation Satellite System) – це система глобальної навігації, яка складається із супутників, приймачів та земної інфраструктури. Супутники GNSS надсилають сигнали, які приймаються приймачами на землі, що дозволяє визначати точне місце розташування та інші параметри.

GNSS-система використовує супутники для визначення географічних координат точок на земній поверхні. Під час створення локальних геодезичних мереж із використанням GNSS-системи забезпечується якість і точність отриманих даних. Для цього можна використовувати такі інструментальні засоби:

1. Референц-станції, що забезпечують точність. Вони підімкнені до мережі GNSS і забезпечують корекцію сигналів (диференційні поправки).

2. Базові станції GNSS – це стаціонарні приймачі, які встановлюються на геодезичних пунктах з відомими координатами. Вони слугують джерелом точних даних про координати, що використовуються для коригування даних, зібраних геодезичними приймачами GNSS.

3. Геодезичні приймачі GNSS – це основний інструмент для збору даних GNSS. Вони приймають сигнали від супутників і визначають положення пунктів мережі в обраній системі координат. Для створення локальних геодезичних мереж можуть використовуватись два або більше приймачів для вимірювання взаємного розташування геодезичних пунктів.

4. Антени – це важливий компонент приймача GNSS. Як правило, використовуються спеціальні антени з високою точністю, які забезпечують ефективний прийом сигналів GNSS зі супутників. Для забезпечення якісного

прийому сигналів від супутників необхідно використовувати антенні системи відповідної якості.

5. Системи зберігання даних – це комп’ютерні програми та обладнання для збереження, обробки і аналізу даних GNSS. Вони дозволяють зберігати дані про пункти мережі, обробляти їх для визначення координат і створювати карти, графіки та іншу візуалізацію даних.

Для програмного забезпечення обробки та аналізу отриманих даних можна використовувати спеціальне програмне забезпечення – Trimble Business Center або Leica Geo Office.

Диференційні поправки – це дані, що передаються від базової станції до геодезичного приймача GNSS для корекції і поліпшення точності вимірювання. Найпоширеніші системи надання диференційних поправок – це RTK (Real-Time Kinematic) і DGPS (Differential GPS). Для поліпшення точності вимірювань можна використовувати супутникові корекції, що надаються деякими службами, наприклад OmniSTAR або Trimble RTX.

3.1 Базові станції

Постійно діюча базова станція GNSS забезпечує інформаційну підтримку польових робіт як у режимі RTK, так і під час постсеансової обробки вимірювань. Інформація від базової станції використовується під час виконання геодезичних вимірювань, топографічних зйомок, винесення в натуру та розмічування під час будівництва об’єктів та споруд, інженерних зйомок, контролю просторового становища споруджуваних конструкцій і рухомих об’єктів. Постійно діюча базова станція GNSS містить приймач GNSS і антену геодезичного класу точності, джерело безперебійного живлення та засоби зв’язку. Обладнання станції встановлюють стаціонарно на спеціально підготовлене місце. Базова станція може керуватися автоматично з персонального комп’ютера та спеціалізованого програмного забезпечення або

вебінтерфейсу. Обладнання працює безперервно в автономному режимі, без участі оператора. Постійно діюча базова станція GNSS в реальному масштабі часу формує та передає каналом зв'язку (найчастіше з використанням Інтернету) коригувальні RTK/DGNSS виправлення, а також зберігає власні супутникові виміри на карті пам'яті, жорсткому диску комп'ютера або FTP-сервері.

Упродовж останніх п'яти років в Україні набули стрімкого розвитку референсні (базові) GNSS-мережі. Переважна більшість базових GNSS-станцій на території України представлено професійним GNSS-обладнанням Leica Geosystems, яке виявило свою найвищу надійність під час безперервної роботи. Для зручності обслуговування роботи мережі використовується програмне забезпечення Leica Spider.



Рисунок 3.1 – Базова станція Leica GR50 (URL:

<https://www.sccsurvey.co.uk/leica-gr30-gr50-receivers.html>)

Leica GR50 – це сучасний приймач, який задає нові стандарти у сфері технологій GNSS для побудови мереж референсних станцій (рис. 3.1). Створені на основі Leica GR50 мережі постійно діючих референсних станцій гарантують отримання і надання високоточних і надійних результатів упродовж багатьох років.

Багатофункціональний GPS/GNSS приймач Leica GR50 дозволяє вирішувати широке коло завдань. Його розроблено відповідно до високих вимог

щодо надійності і роботоздатності обладнання цього класу як на сьогодні, так і з перспективою на майбутнє. Ці приймачі можуть використовуватися в багатьох додатках – від одиничних постійно діючих референцних станцій до регіональних RTK мереж, від систем моніторингу деформацій до атмосферних досліджень і вивчення сейсмічної активності. Високоточний супутниковий приймач Leica GR50 розроблений з перспективою на майбутнє і задає нові стандарти у сфері технологій GNSS.

555 каналів дозволяють одночасно відстежувати і приймати сигнали усіх наявних і планованих навігаційних супутникових систем: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS і SBAS. Внутрішнє програмне забезпечення, що оновлюється, дозволяє додати підтримку нових сигналів, як тільки вони стануть доступними.

За своїми технічними характеристиками і надійністю роботи приймач GR50 відповідає повноцінному серверному обладнанню. Маючи можливість резервування ліній комунікацій, джерел живлення, а також передачу і запис даних, приймачі GR-серії є більше ніж стандартними приймачами для референцних станцій. Leica GR50 має простий і зручний вебінтерфейс, службу сповіщення імейл, функцію автоматичного оновлення внутрішнього програмного забезпечення та plug&play підімкнення. Основні характеристики наведені у таблиці 3.1 [1, 9].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики базової станції Leica GR50

Показник	Значення
1	2
Точність 2D (RTK)	8 мм + 0,5 ppm
Точність 3D (RTK)	15 мм + 0,5 ppm
Час ініціалізації	10 с
СУПУТНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	
Канали (кількість)	555
Супутникові системи	GPS, Glonass, Galileo, Beidou, QZSS, SBAS
Сигнали, що відстежуються	GPS (L1, L2P(Y), L2C, L5); GLONASS (L1, L2P, L2C, L3); Galileo (E1, E5a, E5b, AltBOC, E6); BeiDou (B1, B2, B3); QZSS (L1, L2C, L5); NavIC L5; SBAS (WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS)

Продовження таблиці 3.1

1	2
Технології, які підтримуються	SmartTrack+
ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Розміри	220 мм × 200 мм × 94 мм
Вага	2,01 кг
Запис даних	Знімна карта пам'яті із SD-обсягом до 32 Гб. Запис до 12 паралельних файлів вимірювань. Частота запису до 50 Гц. Підтримка форматів RINEX, Hatanaka і Leica MDB з можливістю Zip-архівування
Напруга	Номінальна 24 V DC, діапазон 10,5–28 V DC.
Робоча температура	від -40 °C до 65 °C
Температура зберігання	від -40 °C до 80 °C
Стандарт захисту	IP67
Інтерфейс антени	Кнопка «Увімк.» / «Вимк.»; 6 клавіш управління, OLED дисплей; 7 світлодіодних індикаторів: живлення, запис даних, пам'ять, RT-вихід, RT-вхід, позиціонування, блютуз

EPSBase-6GG – це постійно діюча станція GNSS на основі модуля двочастотного GPS+ГЛОНАСС приймача NovAtel OEM6. Його особливості:

- 120 каналів спостереження за супутниками GPS і ГЛОНАСС;
- GPS: L1 C/A код, L2C, L2P, повний цикл фази несучих L1 та L2;
- ГЛОНАСС: L1 C/A код, L1 P код, L2 P код, повний цикл фази L1 та L2;
- Galileo GIOVE-A та GIOVE-B (зарезервовано);
- SBAS системи: WAAS/EGNOS/MSAS;
- точність позиціонування: 3 мм + 0,5 мм/км у плані; 5 мм + 0,5 мм/км заввишки (статика).

Разом із приймачем поставляється антена геодезичного класу, антенний кабель, інтерфейсі кабелі та персональний комп'ютер типу нетбук (рис. 3.2).

Живлення приймача здійснюється від зовнішнього джерела або USB входу нетбука (на вибір користувача). Другий варіант підімкнення живлення дозволяє обходитися без додаткових витрат на безперебійне джерело живлення.



Рисунок 3.2 – EPSBase-6GG двочастотна базова GNSS-станція з антеною
(URL: <https://eps.com.ua/article/base-station/>)

Антенa геодезичного класу у складі EPSBase – це L1/L2 GPS/ГЛОНАСС антенa G5Ant-52AT1 (NGS/IGS найменування моделі ACC_G5ANT_52AT1) виробництва компанії Antcom Corporation (США), параметри фазового центру якої є у всіх основних програмних продуктах для пост обробки. Вони описані на основі NGS-калібрування.

Антени GNSS виконують ключову роль у процесі прийому сигналів від супутників. Вони забезпечують ефективний прийом сигналів GNSS з різних напрямків та зменшують шум та спотворення сигналу, що можуть бути спричинені впливом навколишнього середовища, такого як будівлі, дерева або інші перешкоди.

Сучасні антени GNSS мають високу точність та забезпечують широкий діапазон частот, що дозволяє їм працювати з різними системами навігації, такими як GPS, ГЛОНАСС, Galileo та ін. Також існують спеціальні антени з підвищеною ефективністю для використання в умовах обмеженого простору або низького рівня сигналу.

Отже, антени GNSS є важливим компонентом приймачів GNSS та забезпечують точний та надійний прийом сигналів від супутників для визначення точного місцезнаходження та інших параметрів.

Під час встановлення базової станції на нетбук установлюють програмне забезпечення EPSBase, яке виконує такі основні функції (рис. 3.3):

- ведення архіву даних для післясеансної обробки (NovAtel binary + RINEX 2.10 з темпом реєстрації один раз на секунду, погодинна нарізка файлів);
- надсилання післясеансних даних на віддалений FTP-сервер;
- можливість використання програми TEQC для контролю якості даних базової станції;
- налаштування базової станції для генерації диференціальних поправок (підтримуються стандарти RTCM 2, RTCM 3, RTCA, CMR);
- забезпечення доступу до диференціальних поправок (NTRIP-сервер, TCP-сервер, TCP-клієнт, COM-порт);
- вбудований NTRIP-кастер (підтримується NTRIP версії 1.0) [10].

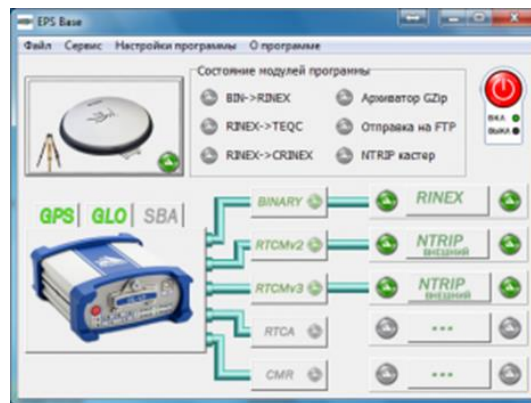


Рисунок 3.3 – Інтерфейс програмного забезпечення EPSBase
(URL: <https://eps.com.ua/article/base-station/>)

3.2 Геодезичні приймачі

Приймачі GPS (Global Positioning System – Глобальна Система Позиціонування) – це супутникова навігаційна система, яка використовується для визначення положення в будь-якій точці земної поверхні з застосуванням спеціальних навігаційних або геодезичних приймачів. GPS технологія широко застосовується в геодезії, міському та земельному кадастрі, у разі інвентаризації земель, будівництві інженерних споруд, геології тощо.

Щодо традиційного обладнання (тахеометра) GPS-обладнання має кілька незаперечних переваг: використання в будь-яку погоду, висока точність

вимірювань, немає необхідності в прямій видимості, можливість працювати відразу на відстані в десятки кілометрів.

Сучасне обладнання GNSS поділяється на одночастотне, двочастотне, багатосистемне, ГІС-класу. Геодезичні GPS-системи дозволяють в найкоротші терміни, з меншими зусиллями та з високим ступенем надійності отримати координати і висоти об'єктів і, що важливо, в будь-який час доби, у потрібній точці, незалежно від кліматичних умов.

Геодезичне GPS-обладнання застосовується під час розбудови високоточних геодезичних мереж, планово-висотних знімальних мереж, на відкритій місцевості для виконання великомасштабного знімання, межування земель, спостереження за деформаціями поверхні земної кори.

Геодезичні GPS-приймачі розрізняють за типом прийнятих сигналів, за кількістю частот і каналів. Більшість сучасних приймачів здатні приймати сигнали супутників GPS, ГЛОНАСС, деякі моделі вже здатні приймати сигнали перспективної системи GALILEO. Провідні виробники впроваджують передові технології в свої геодезичні супутникові приймачі. У перспективі геодезичні супутникові приймачі здатні приймати сигнали всіх країн супутникових систем, таких як Compass, QZSS, IRNSS.

GPS-приймачі для геодезії спеціально створені для точного визначення координат точкових об'єктів. Одночастотні приймачі GPS – компактні, легкі і недорогі. Вони застосовуються під час виконання кадастрових робіт, геодезичних вишукувань для створення знімального обґрунтування на місці робіт. Двочастотні приймачі GPS застосовуються у всіх видах геодезичних робіт для створення і розвитку планово-висотного обґрунтування, виробництва топографічних зніманих усіх масштабів. Вони надають можливість працювати на великих відстанях від базової станції. Приймачі GNSS мають можливість прийому сигналів кількох супутникових систем, зменшують час роботи і покращують якість і точність вимірювань.

Приймачі GNSS з RTK. У такій комплектації прилади обладнуються приймально-передавальними радіо або GSM-модемами, що надає можливість отримувати кінцевий результат вимірів і оцінку точності безпосередньо в полі у реальному часі (RTK), що значно зменшує час польових робіт і підвищує якість GPS-вимірювань.

На рисунку 3.4 наведено Комплект GNSS RTK приймача South Galaxy G1 Plus.



Рисунок 3.4 – Базовий комплект GNSS RTK геодезичного приймача South Galaxy G1 Plus (URL: https://eps.com.ua/product/g1plus_pq39_gistar/)

Комплект GNSS RTK приймача South Galaxy G1 Plus (Trimble BD990, вбудований IMU (компенсація нахилу віхи до 60 градусів) із захищеним телефоном Sigma та програмним забезпеченням South SurvX (Android). Повний комплект для роботи в польових умовах у режимах RTK та статика. Комплект забезпечує роботу як з окремими базовими станціями, так і з їх мережами, включно з технологією VRS і роботою з локальними трансформаціями координат (прийом та використання поправок RTCM1021-1027 для отримання координат у СК63 або УСК2000 безпосередньо в полі без виконання калібрування).

До складу комплекту входять:

- базовий прилад – приймач Galaxy G1 Plus (RTK + статика);
- зарядний пристрій приймача;

- захищений телефон із ліцензійним програмним забезпеченням South SurvX (версія Android);
- зарядний пристрій для телефону;
- набір інтерфейсних кабелів для під'єднання до ПК;
- віха вуглепластикова, CLS25;
- утримувач контролера на осі TF-6/TF-9;
- підписка тривалістю 6 місяців на мережевий RTK-сервіс на всій території України (включно з прийомом локальних трансформацій координат у СК63 та УЧК2000);
- посібник з експлуатації Galaxy G1 Plus та SurvX українською мовою;
- паспорт із гарантійним талоном на 24 місяці [10].

ТЕМА 4 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

4.1 Загальні вимоги до створення локальних геодезичних мереж

Під час створення локальних геодезичних мереж (ЛГМ) встановлюються основні правила та процедури створення, використання й утримання цих геодезичної мереж.

Отже, базуючись на дійсній нормативно-правовій документації, створення, використання та підтримка ЛГМ виконується для забезпечення вихідними даними таких процесів:

- виконання землевпорядних робіт та кадастрових зйомок;
- проведення геодезичних робіт та топографічних зйомок у масштабах 1: 2 000, 1: 1 000, 1: 500;
- виконання картографічних робіт;
- виконання маркшейдерських робіт;
- проведення моніторингу геодезичної, топографічної, картографічної та кадастрової інформації;
- розробка планувальної та містобудівної документації;
- інженерно-геодезичні, геологічні роботи з проєктування, будівництва, реконструкції, експлуатації будівель та інженерних мереж;
- створення та ведення державного земельного кадастру, міського земельного та містобудівного кадастрів, геоінформаційних систем, моніторингу екологічних та технологічних процесів;
- створення міської інформаційної системи.

Щільність пунктів ЛГМ визначається масштабом топографічних зйомок з урахуванням висоти перерізу рельєфу, що виконуються на території об'єкта, а також необхідністю забезпечення геодезичних, маркшейдерських, меліоративних, землевпорядних та інших робіт та має відповідати вимогам

чинних нормативно-технічних документів.

Висоти пунктів ЛГМ визначаються у прийнятій для міста системі висот відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів.

Роботи зі створення та реконструкції ЛГМ виконують за технічним проектом створення та реконструкції ЛГМ (технічний проект), що має передбачати весь комплекс польових і камеральних робіт, які забезпечать випуск продукції, що відповідає вимогам чинних нормативно-технічних документів.

ЛГМ є єдиною координатною і висотною основою. Вона обов'язкова для використання під час виконання землевпорядних, кадастрових, топографічних, інженерно-геодезичних, маркшейдерських, геологічних, картографічних, геоінформаційних та інших робіт на певній локальній території.

ЛГМ призначена для вирішення таких основних завдань:

- виконання інженерно-геодезичних, топографічних, геологічних та кадастрових робіт;
- виконання землевпорядних робіт;
- забезпечення інженерно-геодезичних робіт з вишукувань, проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації об'єктів будівництва;
- проведення геодезичних робіт та топографічних зйомок у масштабах 1: 2 000, 1: 1 000, 1: 500;
- виконання маркшейдерських робіт;
- проведення моніторингу геодезичної, топографічної, картографічної та кадастрової інформації;
- розробка планувальної та містобудівної документації;
- інженерно-геодезичні дослідження локальних геодинамічних природних і техногенних процесів та явищ на території міста;
- навігація наземного транспорту;
- забезпечення ведення геоінформаційних систем.

ЛГМ створюється і розвивається за такими принципами:

- відповідність мережі рівню забезпечення пріоритетних завдань та вимог

соціально-економічного розвитку, землевпорядної та містобудівної діяльності та ефективного територіального управління міста Києва на основі використання сучасних інформаційних технологій;

- дотримання системного підходу розвитку мережі шляхом переходу від загального до окремого;

- етапність у створенні, розвитку та моніторингу ЛГМ як складної організаційно-технічної системи, що характеризується еволюційністю та безстроковістю функціонування, розвитку і постійного удосконалення на основі використання сучасних інформаційних технологій;

- забезпечення актуальності, вірогідності, повноти, цілісності, точності та обґрунтованості геопросторових даних на основі впровадження геодезичного моніторингу та постійно діючої системи оновлення та реконструкції пунктів ЛГМ;

- забезпечення координатної сумісності топографічної, містобудівної та землевпорядної інформації на основі використання єдиної геодезичної та топографічної основи.

Під час створення ЛГМ необхідно звернути увагу на те, в якій системі координат вона буде існувати, наприклад, система координат, що забезпечується Державною геодезичною референцною системою координат УСК-2000 на основі встановлення однозначного математичного зв'язку у вигляді параметрів перетворення (ключа переходу).

Складовими частинами ЛГМ є каркасна геодезична мережа та геодезичні і нівелірні мережі згущення, пункти яких суміщені та мають надійний геодезичний зв'язок.

Каркасна геодезична мережа містить створені за проектом в процесі виконання робіт:

- пункти геодезичних мереж I, II, III класів;
- нівелірну мережу – репери I, II класів;
- постійно діючу мережу (систему перманентних станцій ГНСС), що

використані у процесі створення ЛГМ;

- пункти спеціальної геодезичної мережі;
- відновлені пункти міської триангуляції минулих років;
- спеціальну нівелірну мережу.

Геодезичні мережі згущення містять:

- геодезичну мережу IV класу, 1-го й 2-го розрядів;
- нівелірну мережу III та IV класів;
- пункти ГНСС, які побудовані в рамках створення ЛГМ.

Державна геодезична мережа є вихідною для створення та реконструкції міської каркасної геодезичної мережі, яка, у свою чергу, є основою для створення геодезичних мереж згущення. Вона забезпечує зв'язок між місцевою системою координат УСК 2000 (ідентифікатор МСК 80), Державною геодезичною референчною системою координат УСК-2000 і Світовою земною референтною системою координат (ITRS).

ЛГМ за своїм призначенням і параметрами відповідає вимогам Державної геодезичної мережі, які зазначені в Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1: 5 000, 1: 2 000, 1: 1 000 та 1: 500.

Просторове положення пунктів міської каркасної геодезичної мережі визначається відповідними методами згідно з наявними методами та процедурами.

На основі пунктів каркасної геодезичної мережі визначаються параметри зв'язку ЛСК з Державною геодезичною референчною системою координат УСК-2000.

Пункти міської каркасної геодезичної мережі мають бути додані до нівелірних мереж, що дасть можливість визначати перевищення нормальних висот між суміжними пунктами з середньоквадратичними похибками не більше ніж 0,05 м.

Нормальні висоти пунктів, які неможливо додати до ліній нівелювання, можуть визначатися шляхом нівелювання, яке виконується відносними методами супутникових геодезичних спостережень з урахуванням висот

квазігеоїда, отриманих із гравіметричних даних, яке забезпечує середню квадратичну похибку визначення положення пунктів за висотою не більше ніж 0,05 м.

Геодезичні мережі згущення створюються методами супутникових геодезичних спостережень, лінійно-кутових побудов чи їх комбінацій за точністю геодезичних мереж IV класу та 1-го розряду. Середні квадратичні похибки визначення планового положення пунктів мереж згущення не мають перевищувати 0,05 м.

Нормальні висоти пунктів геодезичних мереж згущення мають визначатися методом геометричного нівелювання не нижче IV класу.

Геодезичні прилади для виконання робіт мають бути сертифіковані в Україні та проходити щорічну метрологічну перевірку в структурних підрозділах Держспоживстандарту.

Щільність пунктів ЛГМ має задовольняти вимоги виконання (поновлення) великомасштабних топографічних і земельно-кадастрових зніманих, інженерно-геодезичних робіт щодо вишукування, проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації об'єктів і має становити:

- не менше ніж один геодезичний пункт та нівелірний репер на 5 км² для каркасної геодезичної мережі;
- не менше чотирьох пунктів на 1 км² для геодезичних мереж згущення на незабудованих та малозабудованих територіях;
- не менше восьми пунктів на 1 км² для геодезичних мереж згущення на забудованих територіях.

У разі використання супутникових геодезичних методів та електронних геодезичних приладів для визначення пунктів ЛГМ допускається обґрунтоване зменшення щільності пунктів, яке визначається технічними проектами.

ЛГМ має забезпечувати вимоги до точності створення топографічних планів та земельно-кадастрової документації з визначенням граничної похибки положення точок зйомочних мереж відносно планової опори, що не має перевищувати 10 см.

ЛГМ створена на сучасному технологічному рівні і відповідає технічним умовам та вимогам для забезпечення землепорядних, кадастрових, топографо-геодезичних, геодезичних, картографічних, геологічних, маркшейдерських робіт та створення єдиної актуалізованої високоякісної топографічної основи масштабів 1: 500, 1: 1 000, 1: 2 000, що унеможлиблює використання наявних топографічних планів, створених на основі розрізненої геодезичної мережі без їх трансформації та редагування [11].

4.2 Традиційна методика створення локальних геодезичних мереж

Організація робіт та проектування ЛГМ починається з координації науково-технічних заходів і виробничих робіт зі створення, реконструкції та моніторингу ЛГМ.

Створення ЛГМ виконується згідно з технічними проектами, які містять такі види робіт:

- збір та аналіз геодезичного вивчення території;
- проектування мережі;
- закріплення геодезичних пунктів;
- вимірювання елементів геодезичної мережі;
- математичне оброблення вимірів та моделювання параметрів місцевої системи координат;
- каталогізацію пунктів мережі;
- створення та ведення бази геодезичних даних мережі [11].

Збір та аналіз геодезичного вивчення території проводиться за певною схемою. Насамперед визначається каталог координат і висот пунктів ЛГМ для пунктів каркасної геодезичної мережі в двох системах координат:

- державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000;
- місцевій системі координат населеного пункту.

Нормальні висоти пунктів ЛГМ наводяться в Балтійській системі висот 1977 року.

Далі проводиться рекогносціювання геодезичних пунктів мереж об'єкта, яка проводиться для уточнення графічного проєкту, складу і обсягів геодезичних робіт. Рекогносцировці підлягають як наявні, так і нові геодезичні пункти.

Під час рекогносцировки наявних геодезичних пунктів встановлюються такі відомості:

- можливість виконання супутникових спостережень;
- видимість за напрямками геодезичної мережі.

Під час рекогносцировки нових геодезичних пунктів виконуються такі процеси:

- вибір місця закладки нових геодезичних пунктів, в тому числі СП;
- погодження вибраних місць закладки з землекористувачами та відповідними державними та комунальними службами.

У разі необхідності під час рекогносціювання можуть додатково складатися топоцентричні карти видимостей – замальовки горизонту, окремих місцевих предметів та секторів видимості, усунення перешкод, що перешкоджають нормальному прийому супутникових сигналів.

Проєктування мережі відбувається згідно з процедурою, що розглядалася в першому змістовому модулі.

Закріплення геодезичних пунктів виконується відповідно до робочого проєкту на виконання робіт.

Для закріплення пунктів ЛГМ необхідно використовувати центри відповідного типу. Те саме стосується закріплення пунктів ЛГМ на дахах будівель і споруд.

Нумерація стінних знаків у системі має виконуватись так:

- якщо система стінних знаків дублює ґрунтовий (постійний) знак, тоді всьому комплексу присвоюється номер ґрунтового знака. Номери стінних знаків, що входять до комплексу, вказують через символ «-» в лапках, наприклад: «3452-1»;
- якщо система стінних знаків є самостійним пунктом геодезичної мережі,

тоді цій системі присвоюється номер основного знака;

- основним знаком у такій системі має бути середній знак. У системі з двох знаків за основний приймається лівий знак;

- тимчасовому центру (тм. ц.) присвоюється номер основного стінного знака системи з ознакою тм. ц., наприклад: тм. ц. 3452.

Виконавець заносить відомості про закладку центру на пункті ЛГМ у картку геодезичного пункту.

Для закріплення пунктів ЛГМ на незабудованій території мають використовуватися центри типу У15Н. Безпосередньо над центром пункту насипають невисокий курган висотою до 30-ти см і діаметром не менше 1-го метра. Зовнішні знаки не встановлюються.

Для закріплення пунктів ЛГМ на забудованих територіях необхідно використовувати тип центру У15К. Розпізнавальні стовпи не встановлюються. Над центром встановлюється чавунний ковпак з кришкою та опорними бетонними кільцями або цегляним муруванням, яке їх замінює.

Металеві частини геодезичних знаків мають бути захищені від корозії антикорозійним покриттям (фарбою).

На всі закладені центри пунктів ЛГМ на забудованій території складаються картки геодезичних пунктів із замальовкою його місця розташування та наданням лінійних промірювань до чітких контурів на місцевості.

Геодезичні пункти після побудови здають за актом для нагляду за збереженням. У містах, селищах та сільських населених пунктах – міським, районним та сільським органам виконавчої влади, на інших територіях – землевласникам (землекористувачам).

Після завершення робіт із закладки пунктів ЛГМ для кожної трапеції формуються такі документи:

- виконавча схема закладених пунктів на топографічній основі;
- картки побудови пунктів;
- кроки пунктів;

- акти здачі геодезичних пунктів на нагляд за збереженням;
- пояснювальна записка.

Картки кроків геодезичних пунктів та акти здачі пунктів на нагляд за збереженням складаються в двох примірниках і передаються на зберігання відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів.

Вимірювання елементів геодезичної мережі. Для виконання лінійних та кутових вимірів в геодезичних мережах мають використовуватися комплекти електронних теодолітів, термометри, барометри-анероїди, психрометри, метрологічні характеристики яких відповідають чинному законодавству України.

Допускається виконання лінійних вимірів між тимчасовим центром та відповідними стінними знаками компарованими сталевими рулетками.

Під час вимірювання ліній та кутів потрібно керуватися відповідними інструкціями користувача фірми-виробника оптико-електронного приладу.

Одним прийомом вважається два наведення на відбивач. Кількість відліків у наведені регламентується інструкцією з експлуатації приладу.

Для врахування поправок за метеорологічні умови під час вимірювання довжини сторін на кожній станції визначаються:

- температура повітря з точністю до 1 °С;
- тиск із точністю до 5 мм рт. ст.

Вимірювання напрямів на пункти міських геодезичних мереж зазвичай виконується за триштативною системою методом кругових прийомів, із точністю центрування та вимірювання висот інструментів та візорних цілей до 1 мм.

З метою зменшення помилок центрування і редукації та трудомісткості робіт під час прокладання полігонометричних ходів застосовують триштативну систему [12].

Вона полягає в тому, що на трьох сусідніх точках А, В, С (рис. 4.1) ходу встановлюються три штативи із закріпленими в них тригерами (рис. 4.2). На задньому (А) і передньому (С) встановлюються марки, на середньому (В) –

теодоліт, тахеометр, приймач GNSS. Після вимірювання кута в точці В, штативи в точках В і С з тригерами залишаються в тому самому положенні, а штатив з точкою А з тренером переносять у точку D. Прилад виймають із тригера в точці В, переносять і встановлюють у тригер, що залишився на точці С; у тригер, що залишився на точці В встановлюють марку, яку вийняли з тренера в точці С.

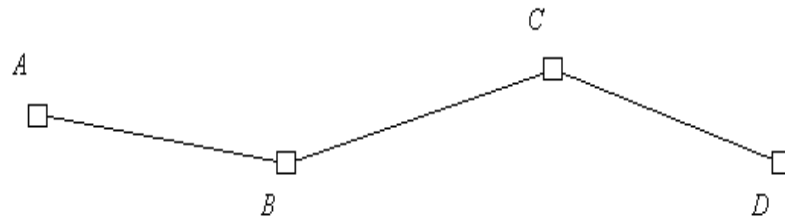


Рисунок 4.1 – Схема ходу під час вимірювання триштативною системою



Рисунок 4.2 – Зображення тригера

(URL: <https://www.ltrade.com.ua/product/treger-gdf122/>)

Отже, якщо прилади попередньо від'юстовані, в точці В вісь обертання марки на наступній станції співпадає з віссю обертання теодоліта на попередній станції, а в точці С вісь обертання теодоліта на наступній станції співпадає з віссю обертання марки на попередній станції, тобто операція центрування приладів на точках В і С на двох суміжних станціях виконується один раз. Зменшення кількості операцій центрування приводить до зменшення помилок за центруванням приладів і пришвидшує процес прокладання ходу [13].

Якщо пункт геодезичної мережі згущення закріплений одним або групою

із двох-трьох стінних знаків, то виконується передача координат з тимчасового центру на стінні знаки шляхом лінійно-кутових вимірів.

Визначення координат стінних знаків необхідно виконувати за результатами геодезичних вимірів у лінійно-кутових мережах згідно з типовою схемою (рис. 4.3, 4.4), із сумарною середньою квадратичною помилкою, що не має перевищувати 2 мм.

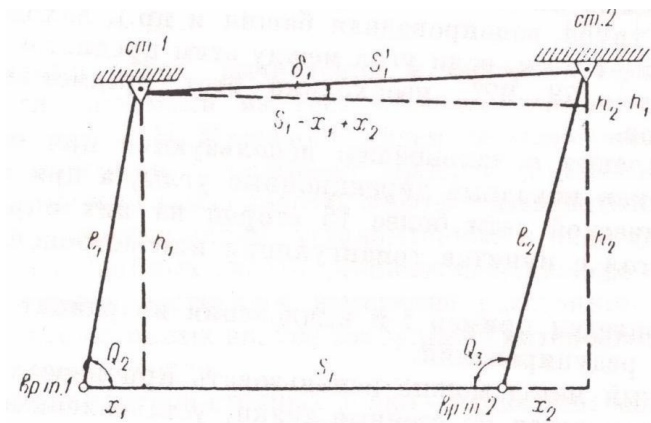


Рисунок 4.3 – Схема лінійно-кутових вимірювань

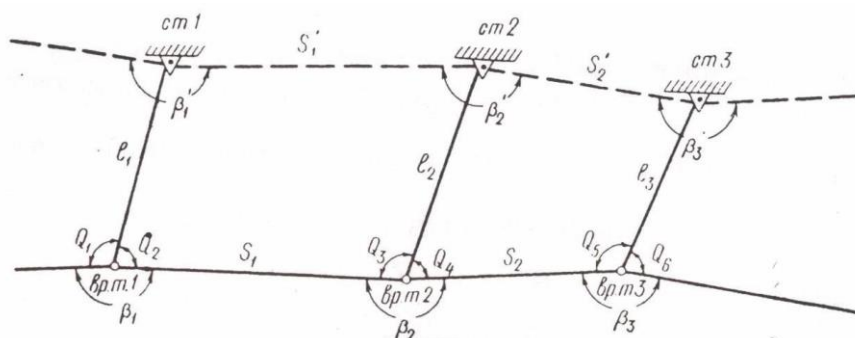


Рисунок 4.4 – Схема визначення координат стінних знаків пунктів геодезичних мереж

Напрями на стінні знаки ЛГМ мають вимірюватися на металеві шпильки, вставлені у відповідні отвори стінних знаків.

Контроль обчислених координат стінних знаків виконують шляхом порівняння різниці вимірювання відстаней між стіновими знаками та відстанями, обчисленими за допомогою розв'язання зворотних геодезичних задач за координатами або за додатковими вимірюваннями. Зазначена різниця не має

перевищувати 0,002 м.

Після завершення польових робіт щодо лінійно-кутових вимірювань здають такі матеріали:

- журнали кутових та лінійних вимірювань або файли спостережень на магнітних носіях;
- бланки аналітичного визначення та обчислення елементів центрування приладів;
- зведені таблиці кутових та лінійних вимірів, що приведені до центрів знаків;
- схеми лінійно-кутових вимірювань на пунктах мережі;
- результати попередньої обробки вимірювань на станціях;
- пояснювальну записку.

Висоти пунктів ЛГМ визначаються з геометричного нівелювання IV класу або технічного нівелювання. Якщо умови спостережень на об'єкті не сприяють виконанню геометричного нівелювання, дозволяється застосовувати тригонометричне або GPS-нівелювання відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів.

Відмітки геодезичних пунктів, отриманих із геометричного, геодезичного та GPS-нівелювання мають бути приведені до єдиної системи нормальних висот – Балтійської 1977 року або іншої загальної системи висот об'єкта.

Після завершення польових робіт щодо визначення висотного положення пунктів геодезичних мереж потрібно надати такі матеріали:

- журнали нівелювання або файли спостережень на магнітних носіях;
- схеми визначення висотного положення пунктів мережі;
- пояснювальну записку.

Математичне оброблення вимірювань та моделювання параметрів місцевої системи координат. Попереднє опрацювання лінійно-кутових вимірів передбачає такі дії:

- складання таблиць горизонтальних напрямів на пунктах мережі;

- обчислення поправок під час центрування та редукції горизонтальних напрямів, приведення горизонтальних напрямків до центрів пунктів;
- обчислення довжини сторін, приведення їх до центрів пунктів;
- редукування горизонтальних кутів на площину проєкції Гаусса – Крюгера, виконується шляхом введення виправлення за кривизною зображення геодезичної лінії на площині;
- поправка на кривизну зображення геодезичної лінії на площині.

Попереднє оброблення ліній виконується шляхом введення таких виправлень:

- поправка на лінію за нахил;
- поправка на лінію за перехід до поверхні еліпсоїда;
- поправка на лінію за редукування на поверхню на площину проєкції Гаусса – Крюгера.

Опрацювання лінійно-кутових побудов має містити:

- обчислення неув'язок у полігонах та ходових лініях;
- обчислення кутових та лінійних неув'язок геометричних фігур (трикутників, геодезичних чотирикутників), лінійно-кутових побудов геодезичної мережі;
- аналіз та виключення вимірювань, що містять грубі помилки;
- аналіз значень вільних членів рівнянь поправок елементів (напрямів та сторін) мережі за результатами попереднього вирівнювання;
- аналіз величин та знаків поправок, що отримали наближені (попередні) координати пунктів та елементи геодезичної мережі;
- аналіз точності характеристик елементів мережі за результатами попереднього вирівнювання.

Попереднє опрацювання результатів нівелірних вимірювань виконується з метою контролю, апробації даних для вирівнювання нівелірних мереж об'єкта.

Опрацювання нівелірної мережі містить:

- обчислення неув'язок у полігонах та ходових лініях;

– аналіз значень вільних членів рівнянь поправок за результатами попереднього вирівнювання;

– аналіз точності характеристик елементів мережі за результатами попереднього вирівнювання.

Якщо в якомусь сегменті мережі об'єкта величини вільних членів перевищують допустимі, то групи спостережень, які складають цей сегмент, не додаються до кінцевого вирівнювання допоки не будуть виявлені та виключені причини цих похибок або помилок.

Попереднє вирівнювання виконується з метою забезпечення вихідними даними процесу апробації геодезичних мереж в УСК-2000 та отриманні координат і висот пунктів геодезичних мереж об'єкта в чинній локальній системі координат (ЛСК).

Процес апробації містить перевірку різних наборів (типів) вихідних даних та геодезичних вимірів з метою визначення їх оптимального складу для моделювання нової ЛСК, у якій буде виконано кінцевий варіант створення та реконструкції геодезичної мережі об'єкта.

Сумісне попереднє вирівнювання виконується в два етапи:

1) вирівнювання супутникових вимірювань в мережах ДГМ та ЛГМ;

2) вирівнювання лінійно-кутових побудов в мережах згущення ЛГМ.

Вихідними даними для вирівнювання супутникових вимірювань в мережах ДГМ та ЛГМ є координати та середні квадратичні похибки пунктів ДГМ I класу.

Вихідними даними для вирівнювання лінійно-кутових побудов у мережах згущення ЛГМ є координати та середні квадратичні похибки координат пунктів, отримані за результатами вирівнювання супутникових вимірювань у мережах ДГМ та ЛГМ.

Попереднє вирівнювання виконується в системі координат УСК-2000 та системі висот «Балтійська».

Каталогізація пунктів мережі. Після закінчення математичного опрацювання геодезичних та нівелірних мереж об'єкта всі матеріали належним

чином систематизуються та оформлюються для наступного використання їх під час каталогізації геодезичних пунктів, знаків нівелірної мережі та створення технічних звітів про виконання топографо-геодезичних робіт.

Вихідними документами для каталогізації відомостей геодезичних та нівелірних мереж об'єкту є:

- матеріали обстеження та оновлення пунктів геодезичних та нівелірних мереж;
- акти про втрату пунктів ЛГМ та нівелірних знаків;
- картки побудови, картки кроків геодезичних пунктів;
- кроки місцеположення геодезичних пунктів та нівелірних знаків;
- матеріали вирівнювання геодезичних та нівелірних мереж;
- технічні звіти та каталоги раніше виконаних геодезичних та нівелірних робіт;
- топографічні карти і плани великих масштабів на території об'єкта;
- технічний проєкт на виконання робіт.

Каталоги та схеми геодезичних мереж, що їм відповідають, складаються у необхідній кількості примірників, що визначена у Технічному проєкті.

Процедуру приймання матеріалів завершених робіт, що передаються для зберігання та концентрації в паперовій та цифровій формах, виконують у встановленому порядку уповноважені посадові особи. Матеріали завершених робіт затверджує керівник організації – виконавця робіт.

Після закінчення каталогізації польові матеріали виконаних геодезичних робіт на об'єкті зберігаються у виконавця робіт, а каталоги передаються Державному картографо-геодезичному фонду України (Укрkartгеофонд) та замовнику відповідно до вимог чинного законодавства України.

За отриманими даними створюються електронні бази геоданих, до яких, за відповідною процедурою, можна звернутися для отримання необхідної інформації про пункти геодезичних мереж [12].

ТЕМА 5 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

5.1 Створення локальних супутникових геодезичних мереж згідно з нормативно-правовою документацією

Для виконання супутникових геодезичних спостережень на геодезичних пунктах насамперед необхідно орієнтуватися на нормативно-правові аспекти цього процесу.

Для створення та реконструкції ЛГМ на об'єкті має використовуватися статичний супутниковий метод. Точність визначення векторів базових ліній залежить від кількості і геометричного розташування супутників, що одночасно спостерігаються з кожного пункту упродовж сеансу спостережень, сприятливого періоду спостережень, залишкових впливів іоносферної і тропосферної рефракції, довжини базових ліній та технічних характеристик супутникових геодезичних приймачів.

Точність результатів супутникових визначень може бути суттєво підвищена за таких умов:

- усунення або ослаблення впливу місцевих перешкод для проходження супутникових сигналів;
- виконання декількох сеансів спостережень відповідно до програми спостережень;
- визначення декількох базових ліній з одного пункту;
- проведення одночасних постійних спостережень на суміжних пунктах супутникової мережі.

Перед початком супутникових геодезичних спостережень на пункті складається програма та схема погодинних спостережень (рис. 5.1, 5.2).

ПРОГРАМА СПОСТЕРЕЖЕНЬ		
“Чернігівський рейд”		
26.04.2006 (I – сесія)		
1	Нова Басань, 1	Плиска (Зонь)
2	Бурімка, 1	Стопхай (Фадєєв)
3	Городнище, 3 Бориспіль, 2 (Подивитися) Березань, 3 Дернівка, 2	Плиска
4	Дорогинка, 4	Стопхай (Хмара)
5	Бакаївка, 3	Стопхай
<i>Початок спостережень – 13:00 (26.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 18:00 (26.04.2006)</i>		
26.04.2006 (II – сесія)		
1	Нова Басань, 1	Плиска (Зонь)
2	Бурімка, 1	Стопхай (Фадєєв)
3	Грабів, 3 (Дівиця, 2, Лісові Сорочинці, 1)	Плиска
4	Новий Поділ, 2	Стопхай +Хмара Стопхай
<i>Початок спостережень – 21:00 (26.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 5:00 (27.04.2006)</i>		
27.04.2006 (III – сесія)		
1	Нова Басань, 1	Плиска (Зонь)
2	Григорівка, 2	Стопхай (Фадєєв)
3	Обичів, 4 Вел. Дівиця, 4	Плиска
4	Августівна, 2	Стопхай
5	Власівка, 1	Стопхай (Хмара)
<i>Початок спостережень – 8:00 (27.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 12:00 (27.04.2006)</i>		
27.04.2006 (III – сесія)		
1	Нова Басань, 1	Плиска (Зонь)
2	Григорівка, 2	Стопхай (Фадєєв)
3	Галка, 4, Лісосмушний, 4 Жовтневий, 4	Плиска
4	Далеке, 3	Стопхай
5	Лозове, 2	Стопхай
<i>Початок спостережень – 14:00 (27.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 20:00 (27.04.2006)</i>		
27.04.2006 (IV – сесія)		

Рисунок 5.1 – Зразок першої сторінки програми супутникових геодезичних спостережень

1	Нова Басань, 1	Плиска (Зонь)
2	Григорівка, 2	Стопхай (Фадеев)
3	Білорічиця, 4	Плиска
4	Діброва, 3	Стопхай
<i>Початок спостережень – 21:00 (27.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 5:00 (28.04.2006)</i>		
28.04.2006 (V – сесія)		
1	Нова Басань, 1	Плиска (Зонь)
2	Григорівка, 2	Стопхай (Фадеев)
3	Клеці, 4, Шевченко, 4	Плиска
4	Лісогори, 2	Стопхай
5	Зоболоття, 2	Стопхай
<i>Початок спостережень – 8:00 (28.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 15:00 (28.04.2006)</i>		
28.04.2006 (VI – сесія)		
1	Браниця, 2	Плиска (Зонь)
2	Головоньки, 2	Стопхай (Фадеев)
3	Блудище, 2	Плиска
4	Ур. Червоний, 2	Стопхай
<i>Початок спостережень – 21:00 (28.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 5:00 (29.04.2006)</i>		
29.04.2006 (VII – сесія)		
1	Браниця, 2	Плиска (Зонь)
2	Головоньки, 2	Стопхай (Фадеев)
3	Мрин, 3 +Селище, 1	Плиска
4	Британь, 4, Чигирі, 4, Кладьки, 4	Стопхай
<i>Початок спостережень – 8:00 (29.04.2006)</i>		
<i>Кінець спостережень – 18:00 (29.04.2006) на Київ</i>		
<p>Автомобіль: Нива 2 приймачі: 1 оператор – Зонь 2 оператор – Плиска.</p> <p>УАЗ 3 приймачі: 1 оператор – Хмара 2 оператор – Фадеев 3 оператор - Стопхай</p>		

Рисунок 5.2 – Зразок другої сторінки програми супутникових геодезичних спостережень

У програмі супутникових геодезичних спостережень вказуються:
– ідентифікатор;

- графік спостережень;
- відомості виконавця робіт;
- тип приймача;
- час початку та закінчення сесії;
- час повторного встановлення антени зі зміною її висоти;
- час переміщення на наступний пункт тощо.

Перед початком спостережень необхідно обов'язково виконати такі основні перевірки роботи супутникових приймачів:

- контрольне тестування приймача;
- перевірку роботи оптичного центрира;
- перевірку роботи офісного модуля;
- перевірку зсуву фазового центра відносно геометричного центру антени.

Супутникові геодезичні спостереження мають розпочинатись, перериватись та закінчуватись у чітко вказаний у програмі спостережень час.

У процесі виконання спостережень на пункті виконавець заповнює на кожну сесію протокол супутникових геодезичних спостережень (протокол). Протокол має містити низку відомостей процесу знімань (рис. 5.3, 5.4).

Протокол містить такі складові:

- дані про виконавця супутникових геодезичних спостережень;
- повна назва пункту ЛГМ та його ідентифікатор;
- тип супутникового приймача та супутникової антени (найкраще IGS- код), а також версія програмного забезпечення приймача;
- повні серійні номери та номери партій супутникового приймача та супутникової антени;
- час увімкнення та вимкнення супутникового приймача;
- висота супутникової антени над маркою центра, тип виміру її висоти (похила чи вертикальна, а також до якої точки антени вона вимірювалася);
- метрологічні дані (якщо такі були);
- будь-які відхилення, наявні під час спостережень (закінчення живлення,

збій приймача під час збору даних тощо);

– прізвище, ім'я, по батькові оператора та уповноваженої посадової особи, яка прийняла протокол.

Сторінка 1

Протокол GPS-спостережень

(для кожної сесії заповнюється окремий протокол)

Назва об'єкта <u>НДІ.01.0360 "Геомережа України"</u>			
Установа, яка виконує роботу <u>НДІГК</u>			
Місцезаписання пункту			
Область <u>Київська</u>	Трапеція 1:100 000 <u>M-36-49</u>		
Повна назва та клас пункту (з каталогу) <u>Блиставиця, 2 клас</u>			
GPS ID пункту (4 символи) <u>BLST</u>	ID пункту з БГД <u>M361320000</u>		
Тип приймача <u>Trimble 5700</u>	Серійний номер приймача <u>0220329295</u>		
Тип антени <u>Zephyr Geodetic</u>	Серійний номер антени <u>12399376</u>		
Інтервал збору даних (у секундах) <u>15</u>	PN номер приймача <u>40406-00</u>		
Версія програмного забезпечення <u>2.24</u>	PN номер антени <u>41249-00 DC 4405</u>		
Антенна орієнтована на північ <input checked="" type="checkbox"/>	Довжина антенного кабеля (в метрах) <u>10</u>		
Початок спостережень (GPS-день) <u>032</u>	Кінець спостережень (GPS-день) <u>033</u>		
Початок спостережень (час по UTC) <u>7:32</u>	Кінець спостережень (час по UTC) <u>11:44</u>		
Місцевий час: <u>+2</u> +3	Місцевий час: <u>+2</u> +3		
Якщо були які-небудь збої під час спостережень, опишіть їх <u>збоїв під час спостережень не було</u>			
Огляд пункту (обов'язково описати стан зовнішнього знака та центру)			
Вид центру і його стан <u>тип 2ОП, а задовільному стані</u>			
Вид марки та напис на ній <u>кругла, металева, "ТРИАНГ ГУГК 54251"</u>			
Глибина залягання центру (+/-) ¹ <u>-0.35</u> м			
Тип зовнішнього знака ² <u>піраміда</u> h= <u>5.5</u> м			
Наявність обкопування (стан) <u>задовільний</u>			
Ідентифікаційний стовп (ОП) <input type="checkbox"/> розміри <u>відсутній</u> м			
Охоронний стовп <input checked="" type="checkbox"/> на <u>1.0</u> м від центру			
Опис місцезаписання пункту <u>в 1.5 км на півд.-зах. від зах. околиці його, в 300 м на схід від перетину лісосмуг, на кургані висотою 4 м</u>			
Назва файлу спостережень <u>92950320.dat, blst0320.07o, blst0330.07o</u>			
Висота антени*			
1) Вертикальна – до ARP _____ м			
2) Вертикальна – до нижньої площини відбивача антени _____ м			
3) Вертикальна – до верхньої площини відбивача антени _____ м			
4) Похила – до нижнього краю відбивача антени <u>1.793</u> м			
номер визначення	до спостережень	під час спостережень	після спостережень
1	1.793		1.793
2	1.793		1.792
3	1.792		1.793
Середнє значення	1.793		1.793
Протокол склав _____		Протокол прийняв _____	
Дата _____ Підпис _____		Дата _____ Підпис _____	
Введення в БГД _____		Опрацювання виконано _____	
Дата _____ Підпис _____		Дата _____ Підпис _____	

¹ У даному випадку "+" – це висота над поверхнею Землі (+0.20), а "-" – нижче рівня Землі (-0.40).

² Вказується тип зовнішнього знака (піраміда, сигнал, тур).

Рисунок 5.3 – Зразок першої сторінки протоколу супутникових геодезичних спостережень

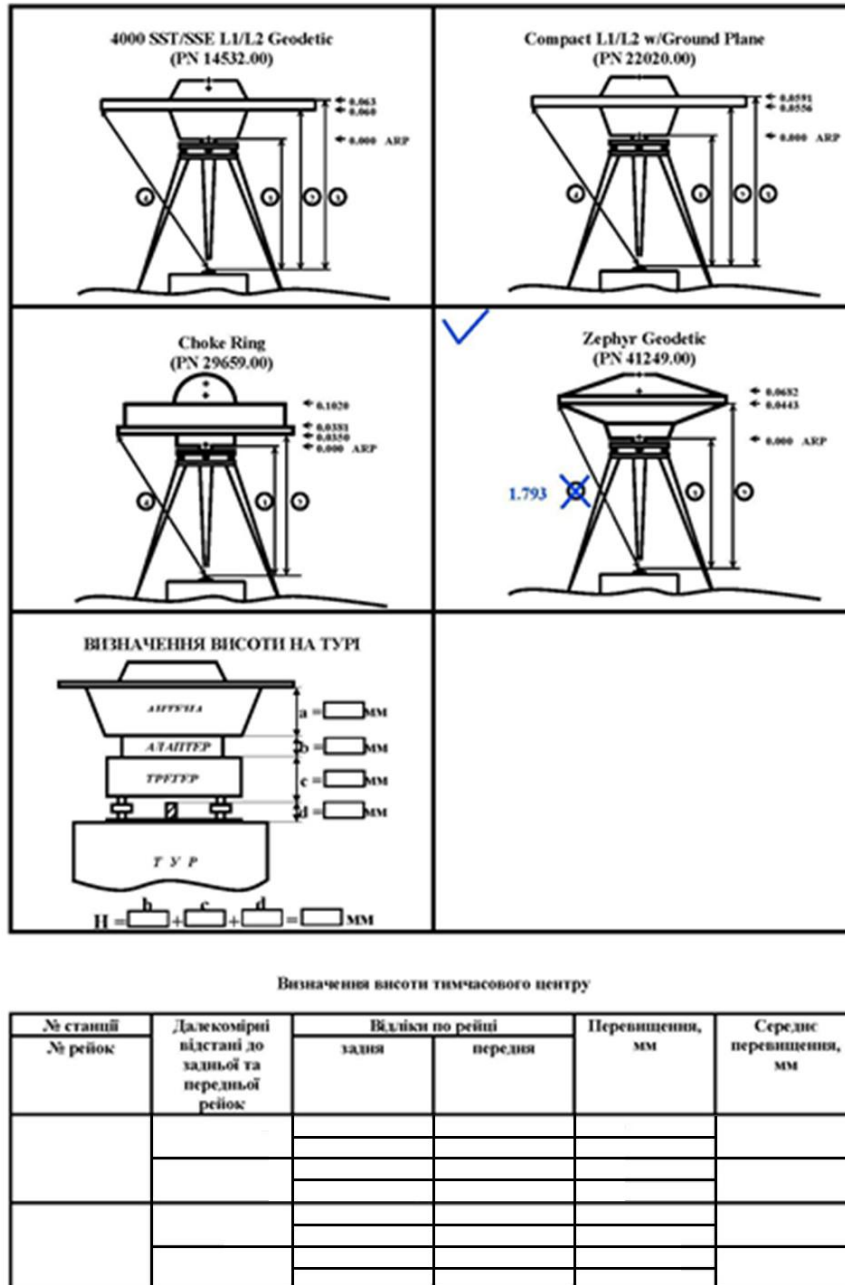


Рисунок 5.4 – Зразок другої сторінки протоколу супутникових геодезичних спостережень

На початку та наприкінці кожного сеансу спостережень за допомогою оптичного центрира антена центрується (перевіряється) над маркою геодезичного пункту, орієнтується на північ та визначається похила висота антени, про що робляться відповідні записи в протоколі. Між сеансами

спостережень обов'язково виконується повторне встановлення антени зі зміною її висоти не менше ніж на 0,10 м, крім пунктів з системами примусового центрування.

Під час виконання супутникових геодезичних спостережень поза центром пункту обов'язково визначають елементи центрування графічним або аналітичним методом.

Після закінчення польових робіт із супутникових геодезичних спостережень на пунктах геодезичної та нівелірної мереж об'єкта здаються такі матеріали:

- результати спостережень у внутрішніх форматах GPS-апаратури, що використовувалася під час спостережень;
- протоколи супутникових геодезичних спостережень;
- виконавча схема робіт;
- зведена відомість тривалості супутникових геодезичних спостережень на геодезичних пунктах та нівелірних знаках. До зведеної відомості обов'язково вносяться дані про заплановані та фактичні увімкнення та вимкнення супутникових геодезичних приймачів під час спостережень, а також причини відхилення від запланованого режиму спостережень;
- графічні схеми (аркуші або журнали, бланки) аналітичного визначення та обчислення елементів центрування антени супутникового приймача [13].

5.2 Методика спостережень та закладення пунктів локальних супутникових геодезичних мереж

Пункти локальної супутникової геодезичної мережі можна розділити на три типи:

- пункти міської (вихідної, базисної) геодезичної мережі (БСГМ);
- пункти каркасної геодезичної мережі (КСГМ);
- пункти геодезичної мережі згущення (ЗСГМ).

Базисні пункт є взаємопов'язаною системою основних та контрольних центрів. Дозволяється розміщення центру БСГМ на даху будівлі. Створення таких центрів має здійснюватися за спеціальними проєктами, в яких обґрунтовується придатність вибраних будівель для виконання довготривалих високоточних супутникових вимірювань: особливості закріплення на них центрів, опрацьовуються питання раціонального розміщення супутникової приймальної апаратури, можливості організації електроживлення, умови проведення на таких пунктах супутникових спостережень з урахуванням мінімального впливу факторів, що заважають прийому супутникових сигналів (радіоперешкоди, екранування сигналів, що приймаються, наявність об'єктів, які відображаються).

Стабільне становище основного центру щодо контрольного перевіряється високоточними геодезичними вимірюваннями з періодичністю не рідше одного разу на два роки.

Основний та контрольні центри БСГМ мусять мати узгоджене з органами державної влади положення, що дозволяє виконувати супутникові спостереження у сприятливих умовах.

Пункти КСГМ мають бути максимально поєднані з базисними пунктами раніше створеної базисної мережі. Пункти КСГМ бажано вибирати на наявних пунктах глибокого закладення або на надбудовах на будівлях

Закладення додаткових пунктів проводиться у виняткових випадках центрами глибокого закладення. Тип центру новостворених пунктів встановлюється залежно від фізико-географічних умов та глибини промерзання ґрунту.

Мережа згущення формується на базі пунктів КСГМ за необхідністю.

Центри нововведених і закладених пунктів СГМ можуть бути центрами як глибокого, так і малого розміщення, стіновими парами або надбудовами на будівлях (рис. 5.5). На цих пунктах встановлюється спеціалізоване геодезичне обладнання.

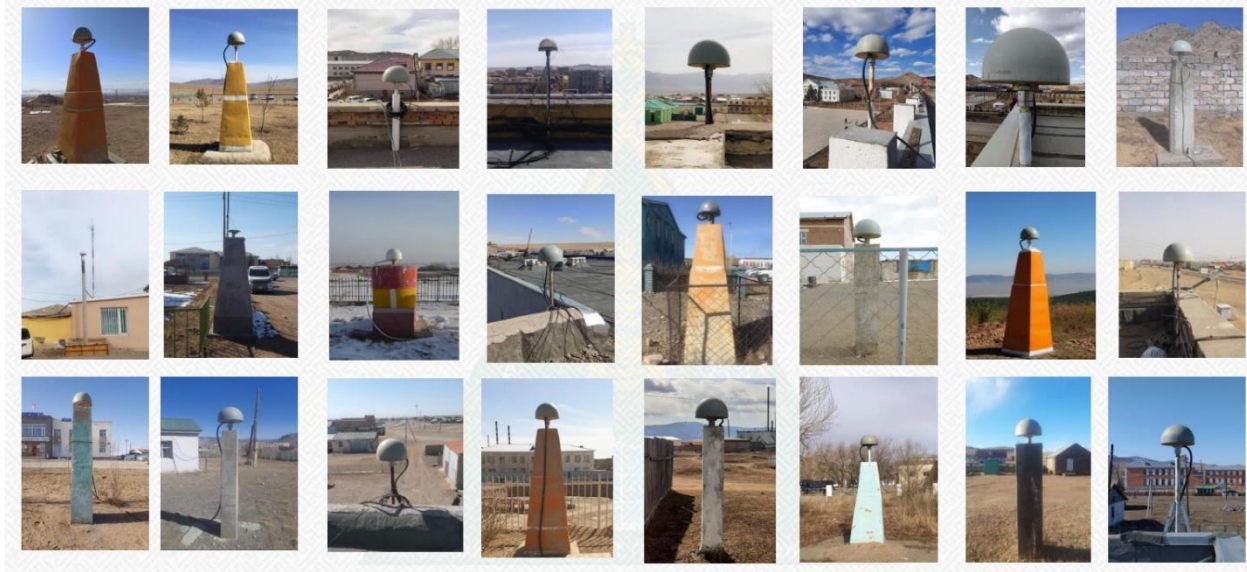


Рисунок 5.5 – Зображення пунктів супутникової геодезичної мережі

Пункти супутникової міської геодезичної мережі всіх класів мають задовольняти вимогам довготривалої безпеки та стабільності положення. Фактори, що змішують прийом супутникових сигналів (радіоперешкоди, екранування прийнятих сигналів, наявність об'єктів, які відображаються) мають бути виявлені та усунені або зведені до мінімуму.

Рекогносціювання. Розпізнавання є першим і обов'язковим етапом польових робіт. Не варто розміщувати пункти всередині інших металевих огорожень, поруч із високими будівлями, великими деревами, а також спорудами. Знаходження на наявних точках металевих або дерев'яних сигналів небажане. Не рекомендується встановлювати пункти біля різного роду поверхонь, які можуть відбивати сигнал.

Під час дослідження встановлюються такі відомості про місце розташування пунктів:

- придатність пунктів міських геодезичних мереж для супутникового визначення координат;
- доступність пунктів в будь-який час;
- довготривала стабільність закріплення центрів;

– відсутність на точках обмежуючих поле зору об'єктів.

У процесі обстеження дослідження пункту геодезичної мережі проводиться за допомогою топографічних карт і абрисів пунктів раніше виконаних робіт, інструментально, за допомогою традиційних геодезичних методів або за допомогою навігаційних супутникових приймачів.

Після закінчення робіт з рекогносціювання і обстеження надаються матеріали, які знадобляться в подальшій роботі.

Закладення пунктів БСГМ. Закладка нових пунктів до необхідної щільності здійснюється на основі технічного завдання та робочого проєкту, уточненого за матеріалами рекогносцирування та обстеження.

Вибрані в натурі місця закладки пунктів закріплюються відповідно до робочого проєкту.

Центри, встановлені на будівлі пунктів, закріплюються марками, закладеними в тур або у верхнє перекриття.

На незабудованих територіях під час створення БСГМ з відривом 1–3 м від центру пункту встановлюється розпізнавальний залізобетонний стовп із якорем. Для кращого розпізнавання частина стовпа, що виступає, маркується фарбою.

На забудованій території розпізнавальні стовпи не встановлюються. На забудованій території над центром встановлюється чавунний ковпак із кришкою та опорними бетонними кільцями або цегляним муруванням, що їх замінює. За можливості проводиться маркування.

Металеві частини знаків мають бути захищені від корозії антикорозійним покриттям.

Під час закладання пунктів одночасно збирається інформація про наявність та місце розташування перешкод, що екранують.

Після закінчення робіт із закладання пунктів здаються матеріали, які потрібні для подальшої роботи.

Прив'язка пункту БСГМ до загальноземної геоцентричної системи координат. Супутникові координатні визначення, що використовуються в геодезії, базуються на застосуванні диференціальних методів, що дозволяють визначати різниці геоцентричних координат між пунктами. Окрім того, кінцевими результатами мережі, що створюється, мають бути повні значення координат пунктів у тій чи іншій координатній системі. Відповідно до цього виникає необхідність мати у складі мережі хоча б один опорний пункт із заздалегідь відомими значеннями геоцентричних координат. Оптимальним варіантом є наявність у складі мережі щонайменше трьох вихідних пунктів.

Координати вихідного пункту належать до геоцентричної системи координат. Від точності цих координат залежить становище всієї створюваної мережі більш загальної координатної системі.

Для коректної математичної обробки супутникових спостережень мережі, необхідна прив'язка вихідного пункту до геоцентричної системи координат, що забезпечить передачу координат у геоцентричній системі на пункти міської мережі з максимальною точністю.

Полеві роботи зі спостереженням на вихідних пунктах міських геодезичних мереж містять такі процеси:

- підготовка обладнання;
- встановлення станцій на пунктах спостережень;
- проведення супутникових спостережень;
- збереження даних спостережень;
- попередня обробка результатів спостережень.

Підготовка обладнання. Перед виїздом на пункти спостережень необхідно перевірити комплектність кожної станції, чи працездатність окремих компонентів. Механічні вузли станцій мають працювати справно. Завантажувальний тест блоку керування має проходити без збоїв. Карти пам'яті мусять мати достатній обсяг пам'яті для реєстрації спостережень необхідної тривалості. Акумулятори мають бути у справному стані та підготовлені до

проведення спостережень необхідної тривалості з урахуванням температури навколишнього середовища.

Створюються та записуються в пам'ять блоку управління єдині для всіх станцій робочі установки:

- режим спостережень;
- маска за кутом піднесення;
- параметри збирання даних;
- частота реєстрації даних.

Установка станцій на вихідному пункті. Підготовка станцій для роботи на вихідних пунктах виконується у такому порядку:

- розпакувати станцію;
- встановити центрувальний пристрій;
- встановити антенний блок.
- встановити реєстраційний пристрій;
- виконати об'єднання компонентів станції;
- виміряти висоту антени над центром;
- увімкнути приймач та завантажити програму спостережень;
- ввести назву пункту та висоту інструмента над центром;
- скласти картку супутникових спостережень.

Ознакою завершення ініціалізації та готовності приймача до спостережень є прийом сигналів від супутників та допустиме значення показника геометричного фактора.

Встановлення антени супутникового приймача над центром пункту здійснюється із застосуванням центрувального пристрою.

Висота антени над маркою центру вимірюється двічі з допустимою точністю. Значення промірів і абрис установки антени заносяться до журналу супутникових спостережень.

Супутникові спостереження на пункті БСГМ. Прив'язка вихідного пункту до геоцентричної системи координат здійснюється у вигляді організації тривалих (щонайменше 5 діб) сеансів спостережень.

Сеанс спостережень не менше ніж 5 діб за умови, що є можливість отримання інформації про вимірювання на найближчих (не менше трьох) пунктах БСГМ більш високої точності.

У зв'язку з організацією тривалих сеансів спостережень слід передбачити можливість безперебійної роботи супутникової приймальної апаратури упродовж сеансу спостережень.

Спостереження починаються, перериваються та закінчуються чітко у встановлений графіком час.

Під час проведення спостережень виконавець зобов'язаний забезпечити безперебійне живлення станції, а також контролювати хід спостережень (показання геометричного фактора, кількість супутників, що спостерігаються, співвідношення «сигнал / шум», ступінь розрядки акумуляторної батареї, кількість збоїв, що відбулися в прийомі сигналів).

Після закінчення заданого часу спостереження припиняються, повторно вимірюється висота інструменту, проводиться запис даних спостережень, заповнюється журнал (картка) спостережень пункту.

У журналі спостережень має бути така інформація:

- назва пункту спостереження;
- прізвище оператора;
- метеодані;
- серійні номери основних компонентів встановленої на пункті супутникової апаратури (антени, приймача тощо);
- висота встановлення антени над геодезичною маркою;
- час початку та завершення сеансу;
- час початку та закінчення технологічних перерв;
- фотографія установки антени;

– зауваження щодо проведення спостережень, які можуть виявитися корисними в процесі камеральної обробки результатів спостережень.

Збереження даних спостережень на вихідному пункті. Після закінчення спостережень дані копіюються на пристрої тривалого зберігання інформації. Рекомендується створювати одну робочу копію та одну резервну на різних дисках.

Обробка результатів спостережень на вихідному пункті. Обробка результатів спостережень та визначення геоцентричних координат вихідних пунктів виконується з використанням спеціальних програм [11, 13, 14–15].

Що стосується пунктів КСГМ та ЗСГМ, то рекогносціювання місця їх майбутнього положення проводиться так само, як для пунктів БСГМ.

Супутникові спостереження на пунктах КСГМ та ЗСГМ. Польові роботи зі спостережень на пунктах каркасної та супутникових міських геодезичних мереж включають такі процеси:

- підготовка обладнання до роботи;
- встановлення станцій на пунктах спостережень;
- проведення супутникових спостережень;
- прийом та збереження даних спостережень;
- попередня обробка результатів спостережень.

Підготовка обладнання до роботи здійснюється так само як і для пунктів БСГМ.

Встановлення станцій на пунктах спостережень. Підготовка станцій для роботи на пунктах проводиться так само як і для пунктів БСГМ.

Проведення супутникових спостережень. Супутникові спостереження на пунктах каркасної мережі виконуються мережним методом, з використанням статичного режиму та, як правило, одночасно на всіх пунктах каркасної мережі. Допускається виконання спостережень кількома зонами, що перекриваються, на які ділиться вся створювана каркасна мережа. Сумежні зони повинні мати не менше трьох загальних пунктів та обов'язково включати один пункт БСГМ.

Програма супутникових спостережень має складатися із здвоєних, рівних за часом сеансів спостережень. Між сеансами спостережень обов'язкове повторне встановлення антени під час зміни її висоти. Повторне центрування обов'язкове на всіх пунктах, крім пунктів із системами примусового центрування.

Час спостережень залежить від довжини сторін каркасної мережі та становить:

1. Тривалість сеансу спостережень визначається за часом спостережень максимальної сторони каркасної мережі у сеансі.

2. Тривалість сеансу спостережень визначається за часом спостережень максимальної сторони мережі у сеансі.

Спостереження починаються, перериваються та закінчуються суворо у встановлений графіком час.

Під час проведення спостережень виконавець зобов'язаний забезпечити безперебійне живлення станції, а також контролювати перебіг спостережень.

Після закінчення заданого часу спостереження припиняються, повторно вимірюється висота інструменту, проводиться запис даних спостережень, заповнюється журнал (картка) спостережень на пункті.

Прийом та збереження даних спостережень відбувається так само, як і для пунктів БСГМ.

Попередня обробка супутникових спостережень виконується з метою оперативної оцінки якості вимірювань у ході мережі або на окремому об'єкті. За результатами попередньої обробки робиться висновок про придатність польових матеріалів для остаточної обробки та отримання готової продукції або необхідність повторних або додаткових спостережень. Попередня обробка виконується на польовій основі партії чи бригади. Оперативне, до виїзду бригади з району робіт, виконання попередньої обробки дозволяє підвищити якість польових матеріалів шляхом відсіювання неприпустимих результатів спостережень та скоротити витрати, пов'язані з додатковими вимірами.

Попередня обробка результатів супутникових спостережень та визначення попередніх геоцентричних координат пунктів супутникової мережі може виконуватися з використанням стандартного програмного забезпечення фірми – виробника супутникових приймачів.

Розбіжності між результатами визначення ліній різних сеансів встановлюють з огляду на такі величини: очікувані точності разового визначення компонентів просторових векторів за умови використання бортових радіоефемерид супутників (з урахуванням помилок центрування та вимірювання висоти антен) для двочастотних та одночастотних вимірювань; середньоквадратична похибка m залежить від відстаней, часу смислу вимірювань і точності супутникового обладнання.

Для визначення різниць висот приймається значення помилки в $k = 1,5$ рази більше за відстані понад 1 км і в $k = 2$ рази більше за відстані менше ніж 1 км.

Допуски встановлюються виходячи з допуску на різницю подвійних вимірювань за правилом (5.1):

$$m_{\text{дон}} = k \cdot m \cdot \sqrt{2}. \quad (5.1)$$

Формула для ухилення від середніх значень за числа визначень базової лінії більше двох.

Розбіжності, що відповідають значенням більше трьох, не допускаються, тому необхідно виконати повторні спостереження.

Оцінка точності вимірювань геодезичною супутниковою апаратурою виконується за замкнутими фігурами (полігонами).

Допустима неув'язка прирощень координат обчислюється за (5.2):

$$f_{\text{дон}} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}, \quad (5.2)$$

де m_n – допустимі значення похибок за сторонами трикутника.

Фактична неув'язка прирощень координат розраховується за (5.3):

$$f_{\text{факт}} = \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2 + f_{\Delta Z}^2}, \quad (5.3)$$

де f_{Δ} – неув'язки по осях координат.

Водночас допустима похибка виміру довжини визначається залежно від точності супутникового обладнання.

Програми обробки супутникових спостережень за методом обробки супутникових даних поділяються так:

- обчислення окремих ліній;
- багатоточкові рішення;
- багатосеансні рішення.

Метод обробки окремих ліній забезпечує контроль і локалізацію неякісних ліній та точок. Неякісні точки можуть бути локалізовані з оцінки точності ліній, що сходяться в цій точці. Іншим методом контролю, що дозволяє локалізувати неякісні лінії, є контроль замкнутих геометричних побудов. Якщо сума збільшення координат по замкнутому векторному ходу відповідає необхідній точності, то лінії, що входять в цю побудову, є якісними.

При обробці супутникових даних шляхом обчислення окремих ліній застосовуються три варіанти:

- обробка всіх можливих комбінацій окремих ліній;
- обробка лише незалежних ліній;
- комбінований варіант, у якому використовується число ліній більше, ніж у другому варіанті, або при використанні результатів більше, ніж одного сеансу спостережень.

Процес обробки даних складається із трьох основних етапів. Перший полягає у виборі даних та параметрів обчислень. На другому етапі відбуваються безпосередньо обчислення, що виконуються автоматично та не потребують втручання оператора. Результати для аналізу та подальшого збереження в базі даних видаються на останньому етапі.

Вибір даних містить вибір об'єкта тимчасової зони; ліній, що у обробці; вибір опорної станції; завдання початкових координат опорної станції; вибір інтервалів часу для польових даних, що включаються до обробки.

Вибір параметрів обчислень містить коригування кута відсічення; вибір тропосферної моделі; вибір іоносферної моделі; вибір варіанта використання ефемерид; вибір даних (код, фаза); вибір комбінації частот; вибір максимальної довжини лінії, що обчислюється; коригування апріорного значення середньої квадратичної помилки.

Координати обраного розташування опорної станції для обчислення базисних ліній мають бути відомі з точністю в межах 1–5 м. Великі помилки в координатах розташування опорної станції можуть призвести до помилок під час обчислення базисних ліній, помилок масштабу, елементів розвороту і позначитися на невдалому вирішенні неоднозначності.

У режимі обробки окремої лінії один з пунктів є вихідним, а другий – визначальним. Як вихідний використовується пункт, що має повні значення координат у геоцентричній системі з необхідною точністю.

За умови успішного вирішення неоднозначності у протокол обробки записуються як різниці, так і попередні повні значення геоцентричних координат визначеного пункту, а також довжини ліній разом із середніми квадратичними помилками обчислених величин, визначеними на основі використання внутрішньої збіжності даних, що обробляються. Така інформація зберігається у базі даних. Якщо координати обчислюваного пункту обчислені з кількох вихідних пунктів, різниця координат з різних рішень не має перевищувати встановлений у програмі обробки допуск.

Виконується порівняння довжин ліній, отриманих із попередньої обробки супутникових вимірювань і редукованих у місцеву систему координат, з довжинами ліній, обчисленими за значеннями координат пунктів раніше випущених каталогів.

За результатами польових робіт здається пояснювальна записка про виконану роботу, в якій має бути така інформація:

– назви пунктів та їх умовні позначення, що внесені до реєстраційного файлу;

- прізвища виконавців польових та камеральних робіт;
- тип та серійні номери основних компонентів супутникової апаратури (антени, приймача тощо);
- тип та серійні номери основних компонентів камеральної обробки (комп'ютера, програмного забезпечення тощо);
- висоти встановлення антен над геодезичними марками;
- час виконання вимірювань та обробки;
- замальовки чи фотографії установки антени;
- протоколи обробки із зазначенням різниць координат, попередніх повних значень геоцентричних координат, а також довжини ліній разом із середніми квадратичними помилками обчислених величин, визначеними за внутрішньою збіжністю даних, що обробляються;
- відомості порівняння довжини ліній з оцінкою отриманих розбіжностей;
- зауваження щодо проведення спостережень, які можуть виявитися корисними в процесі камеральної обробки результатів спостережень [11, 13, 14–15].

ТЕМА 6 ЗАСОБИ ВРІВНОВАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

Для врівноваження супутникових геодезичних мереж використовуються спеціальні програмні, які можна придбати разом із спеціалізованим супутниковим обладнанням.

Для загального сегменту робіт у геодезії використовуються більш доступні програмні засоби. Наприклад, таким поширеним програмним засобом для врівноваження геодезичних мереж в Україні є AutoCAD Civil 3D.

У AutoCAD Civil 3D реалізовані такі методи горизонтального коригування даних зйомки:

1. Правило компасу. Метод коригування, в якому передбачається, що неув'язки викликаються однаково помилками зйомки кутів і помилками вимірювання відстаней. Неув'язки для широти та довготи розподіляються відповідно до довжини лінії до загальної довжини теодолітного ходу.

2. Правило неув'язок. Метод врівноваження теодолітного ходу, у якому передбачається, що неув'язки спричиняються меншою мірою помилками зйомки кутів, ніж помилками вимірювання відстаней. Виправлення розподіляються відповідно до широти та довготи кожної ділянки теодолітного ходу до сум значень широти та довготи теодолітного ходу в цілому.

3. Правило Грандал. Метод урівноваження теодолітного ходу, під час якого вся кутова похибка розподіляється по теодолітному ходу, і всі коригування результату теодолітного ходу визначаються зміною відстаней теодолітного ходу. У кожен ділянку вносяться такі зміни відстані, у яких сума їх квадратів мінімальна.

4. Метод найменших квадратів. Квадрати різниць між відкоригованими та нескоригованими даними вимірювань підсумовуються та скорочуються до мінімуму. Такий метод використовується для встановлення вагових коефіцієнтів окремих вимірювань відповідно до специфікацій, заданих у параметрах поправок обладнання, та для визначення джерела помилки. Можна

відкоригувати дані для окремого циклу теодолітного ходу або мережі теодолітних ходів, якщо вона побудована за даними багаторазової зйомки.

Для вертикального коригування можна задати один із таких методів:

1. Вертикальне коригування не виконується.

2. Метод найменших квадратів. Використовується одночасно з горизонтальним коригуванням за цим методом, будучи комплексно врівноваженим у тривимірному просторі.

3. Рівномірний розподіл. Коригування за вертикаллю, коли помилки неув'язки розподіляються рівномірно для кожної точки теодолітного ходу.

4. Зважений розподіл довжини. Помилки за вертикаллю розподіляються аналогічно до правила компаса.

Під час врівноваження мереж найпоширенішим є метод найменших квадратів, який використовується у вузькоспрямованих спеціалізованих програмних засобах, тому розберемо його реалізацію та математичний базис на прикладі AutoCAD Civil 3D.

Інструмент аналізу методу найменших квадратів допомагає вносити коригування в геодезичних мережах, а також в окремих ходах.

Основна робота геодезиста – це проведення вимірювань або спостережень для визначення відносного положення балів. Геодезисти зазвичай проводять більше вимірювань, ніж це мінімально необхідно, щоб виключити можливість грубих помилок, які могли статися під час вимірювання. У результаті надлишкові вимірювання разом із випадковими похибками вимірювання створюють модель, що дозволяє обчислити найбільш імовірне значення для кожного спостереження, скоригувавши кожне зі спостережень одночасно так, щоб сума квадратів залишків (різниця між виміряним і скоригованим спостереженнями) була мінімальною. У цьому полягає походження терміна «найменші квадрати».

У AutoCAD Civil 3D використовується команди найменших квадратів для виконання коригування найменших квадратів опитування. Ці команди потрібні,

щоб внести корективи в базу даних спостережень. Ці коригування потрібні, щоб оновити точки в базі даних, а також робочі лінії з вимірювань.

Створення вхідного файлу для мережі. Це створення вхідного файлу мережі найменших квадратів (англ. `network.lsi`), який генерується зі спостережень від станції до станції в поточній базі даних досліджень проекту (бічні знімки не враховуються).

Редагування вхідного файлу для мережі. Це потрібно, щоб додати або внести зміни в дані за допомогою текстового редактора, який вказаний для налаштування зовнішнього редактора.

Обробка вхідного файлу для мережі. Це потрібно, щоб обробити та переглянути результати коригування методу найменших квадратів для мережі.

Читання вхідного файлу (англ. `network.lsi`). Коригування розраховується, а програма створює мінімальний файл коригування мережі квадратів (англ. `network.adj`) і вихідний файл мережі найменших квадратів (англ. `network.lso`).

Відображення вихідного файлу для мережі. Використовується команда `Display Output File`, щоб переглянути інформацію про мережу. Мережа найменших квадратів вихідний файл (англ. `network.lso`) автоматично завантажується в текстовий редактор.

Оновлення бази даних зйомки зі скоригованими координатами. Використовується команда «Оновити базу даних опитування», щоб імпортувати скориговані точки мережі в базу даних огляду і їх графічну інформацію в поточний малюнок. Файл коригування мережі найменших квадратів (англ. `network.adj`) вибирається автоматично.

Коли оновлюється база даних огляду і мережа вставляється в креслення, об'єкт мережі може відображати три точки похибок відповідно до властивостей стилю для мережі.

Мережу найменших квадратів зображено на рисунку 6.1.

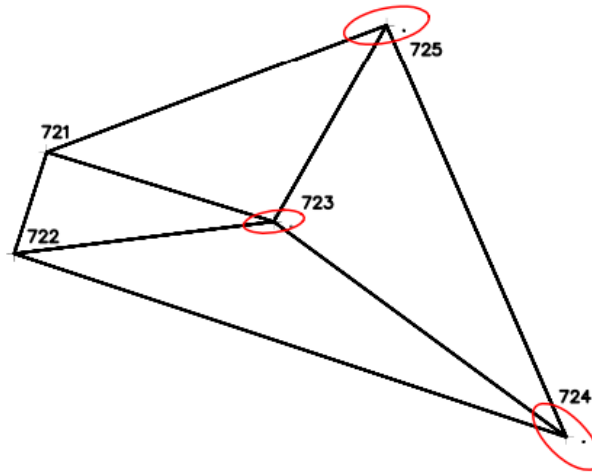


Рисунок 6.1 – Схема мережі найменших квадратів

6.1 Алгоритм найменших квадратів

Алгоритм, який використовується програмою «найменших квадратів AutoCAD Civil 3D Survey», використовує серію матриць і формули.

Цей алгоритм використовується для визначення ймовірного положення точок на основі методу «найменших квадратів».

Матричне рівняння, що наведено нижче, базується на системі зважених спостережень. Воно розв'язується ітераційно за (6.1):

$$X=(A^T P T)^{-1} A^T P L, \quad (6.1)$$

де X – матриця, яка містить різницю між поточними координатами та новими координатами кожної невідомої станції, що оновлює поточні координати з кожною ітерацією;

A – матриця, яка створюється із спостережень і координат точок на основі лінеаризації шляхом розкладання на ряд Тейлора конкретного типу спостереження;

P – діагональна матриця зі стандартними відхиленнями або вагами спостережень;

L – матриця, яка містить різницю між виміряними та обчисленими спостереженнями.

6.2 Коригування горизонтальної зйомки

Першим кроком у коригуванні горизонтальної зйомки є розрахунок C , координатної матриці, з приблизними координатами для всіх станцій за (6.2):

$$C = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ x_m & y_m \end{pmatrix}^1 \quad (6.2)$$

Далі матриця L обчислюється на основі обчислених спостережень, отриманих із координатної матриці C , і вимірних спостережень. Для визначення кожного значення спостереження L_i використовується за (6.3):

$$L_i = O_{\text{meas}} - O_{\text{calc}}, \quad (6.3)$$

де O_{meas} – вимірне спостереження;

O_{calc} – обчислене спостереження.

Матриця L виглядає так (6.4):

$$L = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ L_m \end{pmatrix}^1 \quad (6.4)$$

Далі діагональна вагова матриця P обчислюється на основі стандартних відхилень відстаней і кутів.

Формули (6.5), (6.6) і (6.7) використовуються для розв'язання зваженого значення відстані (P_{Lij}) та зваженого значення кутового значення ($P_{\delta jik}$):

$$P_{L_{ij}} = \frac{1}{(S_{L_{ij}})^2}, \quad (6.5)$$

де $P_{L_{ij}}$ – стандартне відхилення довжини ij ;

$$P_{\theta_{ijk}} = \frac{1}{(S_{\theta_{ijk}})^2}, \quad (6.6)$$

де $P_{\theta_{ijk}}$ – стандартне відхилення кута ijk .

$$P = \begin{vmatrix} p_1 & & & & 0 & 0 & 0 \\ & p_2 & & & & 0 & \\ & & p_2 & & & & \\ & & & \cdot & & & \\ 0 & & & & & & \\ 0 & 0 & & & & & p_m \end{vmatrix}^1 \quad (6.7)$$

Останнім кроком є обчислення матриці A , яка пов'язує зміни в координатах з кожним спостереженням і визначається за допомогою рівнянь спостереження за дистанцією та спостереження за кутом або азимутом / пеленгом рівняння. Ці рівняння спочатку є нелінійними, тому для їх відтворення, як лінійні рівняння, використовується наближення ряду Тейлора.

6.3 Дистанційне спостереження. Рівняння геометрії

Змінювання координат для кожного спостереження виражається в наближеннях ряду Тейлора. Рівняння спостереження відстані обчислюються за (6.8) і (6.9):

$$d_{x_i} = \frac{X_i - X_j}{L_{ij}}, \quad d_{y_j} = \frac{Y_i - Y_j}{L_{ij}}, \quad (6.8)$$

та

$$d_{y_i} = \frac{Y_i - Y_j}{L_{ij}}, \quad d_{y_j} = \frac{Y_j - Y_i}{L_{ij}}, \quad (6.9)$$

де L_{ij} – спостережувана довжина лінії IJ ;

X_i, Y_i – найбільш вірогідні координати точки I ;

X_j, Y_j – найбільш ймовірні координати точки J .

На рисунку 6.2 показано геометрію врівноваження відстані.

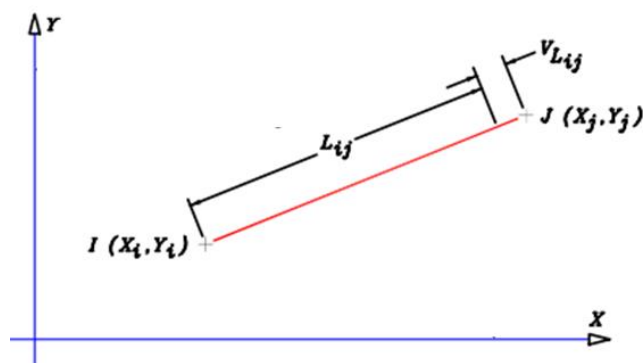


Рисунок 6.2 – Ілюстрація геометрії врівноваження відстані

6.4 Геометрія рівняння кута спостереження

Зміна координат для кожного спостереження виражається в наближеннях ряду Тейлора. Рівняння кута спостереження обчислюються за (6.10), (6.11) і (6.12):

$$d_{x_i} = -dx_j - dx_k, \quad d_{y_i} = -dy_j - dy_k, \quad (6.10)$$

$$d_{x_i} = \frac{Y_i - Y_j}{(L_{ij})^2}, \quad d_{y_j} = \frac{X_j - X_i}{(L_{ij})^2}, \quad (6.11)$$

$$d_{x_k} = \frac{Y_i - Y_k}{(L_{ij})^2}, \quad d_{y_k} = \frac{X_i - X_k}{(L_{ij})^2}, \quad (6.12)$$

де L_{ij} – спостережувана довжина лінії ІJ;

L_{ik} – спостережувана довжина лінії ІK;

L_{jk} – спостережувана довжина лінії JK;

X_i, Y_i – найбільш вірогідні координати точки І;

X_j, Y_j – найбільш імовірні координати точки J;

X_k, Y_k – найбільш імовірні координати точки К.

На рисунку 6.3 показано геометрію рівняння спостереження кута.

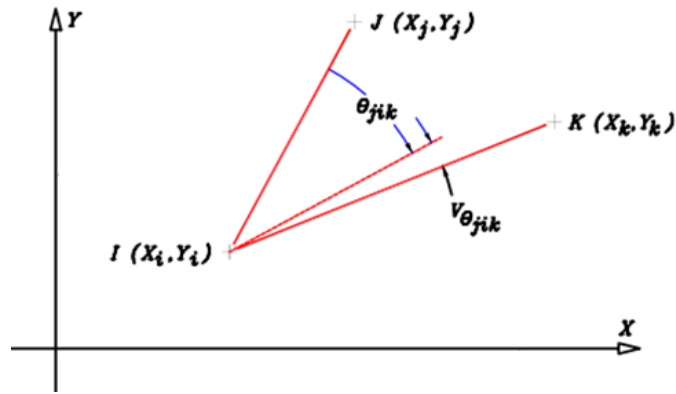


Рисунок 6.3 – Ілюстрація геометрії врівноваження кута

6.5 Геометрія рівняння спостереження за азимутом / пеленгом

Зміна координат для кожного спостереження виражається в наближеннях ряду Тейлора. Рівняння спостереження за азимутом / пеленгом обчислюються за (6.13) і (6.14):

$$d_{x_i} = \frac{X_i - X_j}{L_{ij}}, d_{y_j} = \frac{Y_i - Y_j}{L_{ij}}, \quad (6.13)$$

$$d_{x_i} = \frac{X_j - X_i}{(L_{ij})^2}, d_{y_j} = \frac{Y_j - Y_i}{(L_{ij})^2}, \quad (6.14)$$

де L_{ij} – спостережувана довжина лінії ІІ;

X_i, Y_i – найбільш вірогідні координати точки І;

X_j, Y_j – найбільш імовірні координати точки ІІ.

На рисунку 6.4 показано геометрію рівняння спостереження азимута / пеленгу.

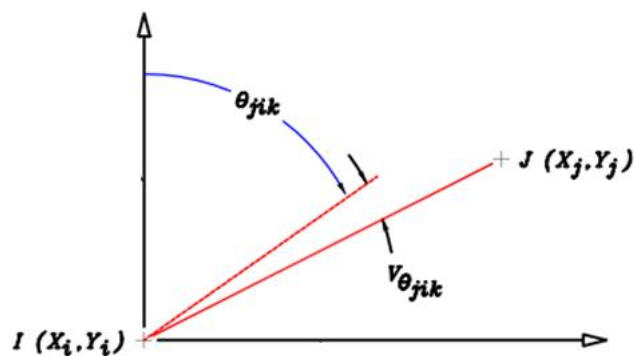


Рисунок 6.4 – Ілюстрація геометрії врівноваження азимута

6.6 Зважені спостереження

Ці обчислені значення використовуються в матриці A за (6.15):

$$A = \begin{vmatrix} dx_1 dx_2 dy_1 dy_2 \dots \\ dx_1 dx_2 dy_1 dy_2 \dots \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{vmatrix}^2 \quad (6.15)$$

Обчислені матриці A, P і L тепер підімкнені до формули матриці для системи зважених спостережень розв'язання матриці X за (6.16):

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L. \quad (6.16)$$

Це призводить до матриці X, яка складається з різниці між поточними координатами та найбільш імовірними значеннями координат за (6.17):

$$X = \begin{vmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta x_n \\ \Delta y_n \end{vmatrix}^1 \quad (6.17)$$

Ці значення використовуються для перегляду координатної матриці C. Процес ітерації продовжується, перелічуються матриці A, P і L і розв'язання для матриці X, допоки значення в матриці X не стануть незначними.

Після того як значення матриці X досягли бажаних меж, обчислюється матриця V. Ця матриця складається із залишків коригування і розв'язується за матричним рівнянням і (6.18):

$$X = AX - L. \quad (6.18)$$

Утворюється матриця V, яка виглядає так (6.19):

$$V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_m \end{pmatrix}^1 \quad m \quad (6.19)$$

6.7 Значення хі-квадрат і тест відповідності

Розподіл хі-квадрат – це інструмент визначення ймовірностей, який використовується для перевірки гіпотез. У разі коригування за методом найменших квадратів вихідні спостереження порівнюються зі скоригованими спостереженнями та оцінюються з точки зору того, наскільки вони відрізняються один від одного.

Для обчислення X^2 (значення хі-квадрат) використовується за (6.20):

$$x^2 = \sum_{i=1}^m (v_i^2 p_i^2), \quad (6.20)$$

де m – кількість рівнянь спостереження;

v_i – залишкова вартість з матриці V ;

p_i – відповідна вага з матриці P .

Значення X^2 є малим, якщо скориговані спостереження близькі до відповідних вимірних спостережень. Це називається «хорошою підгонкою». Потім проводять тест на відповідність, у якому порівнюють значення X^2 зі значеннями з таблиці критичних значень розподілу хі-квадрат на рівні 5 %. Якщо значення X^2 нижче за вказане в таблиці, то воно проходить, тоді як більше, ніж вказане, значення X^2 не проходить, що вказує на можливі помилки в початковому геодезичному вимірюванні.

6.8 Обчислення стандартного відхилення

Розрахунок коваріаційної матриці Q . Коваріаційна матриця складається з коефіцієнтів, які невідомі з рівнянь спостереження, і використовується для

обчислення стандартних відхилень і еліпсів помилок. Використовується матрична формула з використанням попередньо розв'язаних матриць А та Р за (6.21):

$$Q=(A^T P A)^{-1} \quad (6.21)$$

Матриця Q виглядає так (6.22):

$$Q = \begin{bmatrix} S_1^2 & S_1 S_2 & \dots & S_1 S_n \\ S_2 S_1 & S_2^2 & \dots & S_2 S_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_n S_1 & S_n S_2 & \dots & S_n^2 \end{bmatrix} \quad (6.22)$$

Далі розрахунок ступенів свободи в коригуванні r виконується за допомогою (6.23):

$$r = m - n, \quad (6.23)$$

де m – кількість рівнянь спостереження;

n – кількість невідомих (або $2n$ у випадку координат, оскільки x і y невідомі).

Подальшою процедурою є обчислення стандартного відхилення одиниці ваги для зваженого коригування, S_0 . Це роблять за допомогою матриці (6.24):

$$S_0 = \sqrt{\frac{(V^T P V)}{r}}, \quad (6.24)$$

де r – ступінь свободи регулювання.

Розрахунок стандартних відхилень індивідуальних скоригованих величин, S_{x_i} визначаються за (6.25):

$$S_{X_i} = S_0 \sqrt{Q_{x_i x_i}}, \quad (6.25)$$

де S_0 – стандартне відхилення одиниці ваги;

S_{x_i} – діагональний елемент в i -му рядку та i -му стовпці з коваріаційної матриці Q .

6.9 Помилка прямокутників і еліпсів

Після завершення коригування методом найменших квадратів

коваріаційна матриця використовується для обчислення позиційного стандартного відхилення S_{xi} та S_{yi} .

Ілюстрація показує, що стандартні відхилення є напіввимирами стандартних 68 %. Прямокутник похибки ймовірності навколо кожної точки наведено на рисунку 6.5.

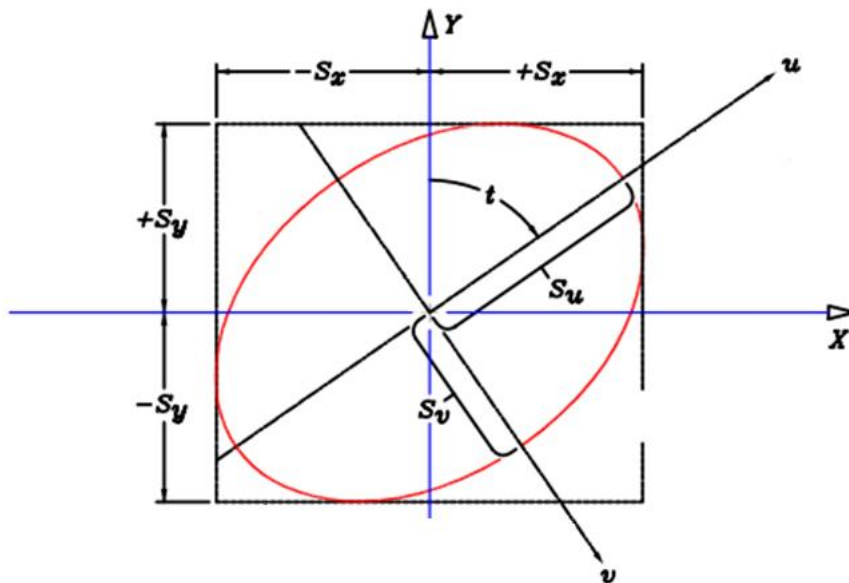


Рисунок 6.5 – Ілюстрація геометрії ймовірної помилки навколо кожної точки

Геометрія ймовірної помилки навколо кожної точки, де:

t – орієнтація еліпса помилки, напрямок великої півосі;

u – велика піввісь еліпса похибки;

v – еліпс похибки малої півосі;

y – розмір половини висоти прямокутника похибки;

S – позиційне стандартне відхилення точки.

Геометрія прямокутника та еліпса зі стандартною похибкою. Щоб уточнити цей процес, також можна намалювати стандартний еліпс помилок. Шляхом використання розподілу F із застосуванням статистики створюється

еліпс похибки ймовірності 95 % або 99 %. Цей еліпс має дуги, дотичні до сторін прямокутника похибки, орієнтація якого визначається кутом t і допоміжними ортогональними осями $u - v$. Значення з коваріаційної матриці використовуються для обчислення кута t і пов'язаного з ним півмажора й напівмалих осей.

Спочатку розв'язуються три змінні для використання в рівняннях, які визначають велику та малу півосі K , Q_{uu} і Q_{vv} .

Розв'язання за (6.26), (6.27) і (6.28):

$$K = \sqrt{[(Q_{yy} + Q_{xx})^2 + 4(Q_{xy})^2]}, \quad (6.26)$$

$$Q_{uu} = \frac{(Q_{yy} + Q_{xx} + K)}{2}, \quad (6.27)$$

$$Q_{vv} = \frac{(Q_{yy} + Q_{xx} - K)}{2}, \quad (6.28)$$

де Q_{xx} , Q_{yy} і Q_{xy} – значення з коваріаційної матриці.

Потім ці значення використовуються для розв'язання двох рівнянь для визначення S_u – довжини великої півосі, і S_v – довжини малої півосі за (6.29) і (6.30):

$$S_u = S_o \sqrt{Q_{uu}}, \quad (6.29)$$

$$S_v = S_o \sqrt{Q_{vv}}, \quad (6.30)$$

де S_o – стандартне відхилення ваги одиниці.

Кут t , який вісь u утворює з віссю Y , розраховується за рівнянням (6.31):

$$\tan 2t = \frac{2Q_{xy}}{Q_{yy} - Q_{xx}}. \quad (6.31)$$

Відкоригована точка буде знайдена в межах цього еліпса зі ступенем вірогідності 95 % або 99 % [14–15].

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ЗАСОБИ ТА МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

ТЕМА 7 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА РЕКОНСТРУКЦІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

Проведення реконструкції геодезичних мереж в Україні регулюється низкою нормативних документів, основними серед яких є такі:

1. Закон України від 23 грудня 1998 року № 353-IV «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», за редакцією.

2. Закон України від 03.07.1995 № 265/95-ВР «Про геодезію, картографію та землевпорядкування».

3. Наказ Мінрегіонбуду України від 11.03.2015 № 52 «Про затвердження Інструкції з організації та ведення державної геодезичної мережі».

4. Наказ Держгеокадастру України від 29.06.2018 № 132 «Про затвердження Положення про реконструкцію геодезичної мережі».

5. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 29.12.2020 № 929 «Про затвердження Правил організації та проведення робіт з підготовки проєкту землеустрою з метою відведення земельних ділянок для будівництва та експлуатації об'єктів житлово-комунального призначення».

6. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 07.06.2013 № 120 «Про затвердження Правил ведення державного реєстру геодезичних мереж».

7. Наказ Державного комітету з питань регуляторної політики та підприємництва від 26.06.2017 № 858 «Про затвердження Правил розробки проєктів геодезичних мереж»;

8. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 20.02.2019 № 45 «Про затвердження

Типового положення про геодезичну службу органу виконавчої влади, органу місцевого самоврядування».

9. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Про затвердження Положення про проведення робіт з утримання геодезичних мереж» від 12.03.2019 № 71.

10. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 03.07.2001 № 245 «Положення про порядок встановлення місцевих систем координат».

11. Затверджене Постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2024 р. № 67 «Деякі питання функціонування Державного картографо-геодезичного фонду України».

12. Затверджене Постановою Кабінету Міністрів України від 14 січня 2015 року № 15 «Положення про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру».

13. Затверджені Головним управлінням геодезії, картографії та кадастру України від 24.01.1994 № 3 «Основні положення створення топографічних планів масштабів 1: 5 000, 1: 2 000, 1: 1 000 та 1: 500».

14. Затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 08.06.1998 № 844 «Основні положення створення Державної геодезичної мережі».

15. Вимоги до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт, затверджені наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 11 лютого 2014 року № 65 «Про затвердження Вимог до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт»

16. Затверджена Головним управлінням геодезії, картографії та кадастру України від 02.01.1993 № 23 «Інструкція про типи центрів геодезичних пунктів».

17. Затверджена наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України від 29.02.2000 № 23 «Інструкція з обстеження та оновлення пунктів державної геодезичної мережі України».

18. Затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2003 № 1561-12 «Порядок організації та забезпечення режиму секретності в органах державної влади, органах місцевого самоврядування, на підприємствах, в установах і організаціях».

19. Затверджений Наказом Служби Безпеки України від 12.08.2005 № 440, зареєстрований в Міністерстві юстиції України від 17.08.2005 № 902/11182 «Звід відомостей, що становлять державну таємницю (ЗВДТ-2005)».

20. ДБН В.2.2-12-2004 Геодезичні роботи в будівництві.

21. ДСТУ 2393-94 Геодезія. Терміни та визначення.

22. ДСТУ 3760-98 Геодезичні роботи. Загальні положення.

23. ДСТУ 4198-2003 Геодезичні роботи. Вимоги до виконання робіт з геодезичного забезпечення будівництва.

Ці документи містять вимоги щодо організації та проведення робіт із реконструкції геодезичних мереж, визначають порядок затвердження проектної документації, вимоги до точності виконання робіт, а також процедуру прийняття в експлуатацію геодезичних мереж та забезпечують належний рівень стандартів у галузі геодезії та картографії.

ТЕМА 8 СУЧАСНІ ЗАСОБИ ТА МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦІЇ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

Реконструкція локальних геодезичних мереж (ЛГМ) містить комплекс робіт із оновлення мережі на окремих ділянках території міста та перенесення окремих пунктів чи сегментів мережі за необхідності виконання будівельних та інших робіт, пов'язаних із розвитком території.

Реконструкція сегментів ЛГМ на ділянках, де можлива активізація небезпечних геологічних процесів, та на територіях інтенсивного техногенного навантаження обґрунтовується спеціальними геодезичними, геологічними та маркшейдерськими даними.

Реконструкція геодезичних мереж згущення виконується на основі каркасної геодезичної мережі, яка забезпечує координатну сумісність ЛГМ та технічного проєкту.

Усі новозбудовані та оновлені геодезичні пункти і нівелірні репери здаються за актами і передаються для забезпечення їх збереженості користувачам земельних ділянок, на території яких вони розміщуються.

Користувачі (власники) земельних ділянок, на території яких розміщуються пункти ЛГМ, виконавці землепорядних, кадастрових, топографо-геодезичних, картографічних, маркшейдерських робіт, які отримали інформацію про пункти ЛГМ для виконання відповідних робіт (включаючи опис їх центрів, місце розташування, значення координат, висот і вимірів, якими вони поєднані із суміжними геодезичними пунктами) та виявили пошкодження або знищення геодезичних пунктів та/або нівелірних реперів, зобов'язані у триденний термін повідомити адміністратора ЛГМ про їх пошкодження або знищення.

Пошкоджені або знищені геодезичні пункти ЛГМ підлягають обов'язковому відновленню за рахунок суб'єкта, внаслідок дій або бездіяльності якого відбулося пошкодження або знищення геодезичних пунктів.

З метою збереження цілісності пунктів ЛГМ та у випадку, якщо збереження або використання геодезичних пунктів внаслідок будівельних робіт, встановлення тимчасових споруд, рекламних об'єктів тощо неможливе, суб'єкт, який планує це здійснити, зобов'язаний узгодити питання щодо перенесення геодезичних пунктів за власний рахунок з утримувачем ЛГМ до початку будівельних робіт.

Особи, винні у порушенні вимог щодо охорони геодезичних пунктів, несуть відповідальність згідно з чинним законодавством України.

Роботи з реконструкції ЛГМ виконують за технічними проектами, що мають передбачати весь комплекс польових і камеральних робіт, які забезпечать випуск продукції, що відповідає вимогам чинних нормативно-технічних документів.

Роботи з реконструкції ЛГМ здійснюють виконавці топографо-геодезичних та картографічних робіт (юридичні та фізичні особи, які відповідно до законодавства України мають право виконувати топографо-геодезичні і картографічні роботи).

Обстеження та оновлення геодезичних пунктів і нівелірних знаків ЛГМ виконується для перевірки їх збереження на місцевості та підтримання у стані, придатному для виконання землевпорядних, кадастрових, топографічних, геодезичних і інженерно-геодезичних, геологічних, маркшейдерських та геоінформаційних робіт [11, 13].

Реконструкцію локальних геодезичних мереж рекомендовано виконувати одним із трьох методів залежно від території та наявних ресурсів:

- повна реконструкція локальної геодезичної мережі з прив'язкою її до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000;
- часткова реконструкція локальної геодезичної мережі з прив'язкою її до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000;
- прив'язка місцевої системи координат до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000.

Повна реконструкція локальної геодезичної мереж із її прив'язкою до системи координат УСК-2000 включає повне обстеження та оновлення пунктів існуючої Державної геодезичної мережі I, II і III класів у межах населеного пункту та існуючих геодезичних мереж згущення IV класу та 1-го і 2-го розрядів, виконання супутникових геодезичних спостережень на пунктах Державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення, виконання лінійно-кутових вимірів на пунктах локальної геодезичної мережі, нівелювання IV класів по пунктах мережі, вирівнювання планових та висотних мереж, укладання каталогів координат та висот пунктів локальної геодезичної мережі та розроблення локального трансформаційного поля для перетворення картографічних матеріалів з місцевої системи координат, утвореної від СК-42 або СК-63 в місцеву систему координат УСК-2000.

Часткова реконструкція локальної геодезичної мереж із прив'язкою її до системи координат УСК-2000 включає повне обстеження та оновлення пунктів існуючої Державної геодезичної мережі I, II і III класів в межах населеного пункту, часткове обстеження та оновлення пунктів існуючої геодезичної мережі IV класу та вузлових пунктів 1-го розряду, виконання супутникових геодезичних спостережень на пунктах Державної геодезичної мережі та на оновлених пунктах геодезичних мереж згущення, вирівнювання геодезичної мережі за даними супутникових геодезичних спостережень та лінійно-кутових вимірів минулих років, укладання каталогів координат та висот пунктів локальної геодезичної мережі в місцевій системі координат УСК-2000 та розроблення локального трансформаційного поля для перетворення картографічних матеріалів із місцевої системи координат, утвореної від СК-42 або СК-63 в місцеву систему координат УСК-2000.

Прив'язка місцевої системи координат до системи УСК-2000 включає повне обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі в межах населеного пункту, часткове обстеження та оновлення пунктів існуючої геодезичної мережі IV класу та вузлових пунктів 1-го розряду, орієнтовно

до 10-ти відсотків від кількості пунктів локальної геодезичної мережі, виконання супутникових геодезичних спостережень на пунктах Державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення, складання каталогів координат пунктів мережі в системі координат УСК-2000 та встановлення параметрів зв'язку між місцевою системою координат, утвореною від СК-42 або СК-63 та місцевою системою координат УСК-2000 [17].

8.1 Обстеження пунктів планової геодезичної мережі

Проектування робіт з обстеження пунктів ЛГМ передбачає збір, вивчення та використання таких матеріалів топографо-геодезичного забезпечення району робіт:

- каталогів координат геодезичних пунктів ЛГМ;
- відомостей про геодезичні пункти, які побудовані та визначені після видання каталогів координат і висот пунктів ЛГМ;
- відомостей про пункти спеціальних геодезичних мереж, якщо завданням передбачено їх обстеження;
- карток геодезичних пунктів ЛГМ;
- топографічних карт та планів.

За цими матеріалами всі геодезичні пункти наносяться на топографічні карти, а їхні технічні дані (назва пункту, клас, рік побудови мережі, тип центра, тип і висота знаку, дирекційні кути напрямів та відстаней до пунктів) виписуються в Картки геодезичних пунктів.

Топографічні карти з нанесеними геодезичними пунктами та Картки геодезичних пунктів використовуються під час виконання польових робіт.

Розшук центрів пунктів на незабудованих територіях виконується з використанням топографічних карт за такими ознаками:

- зовнішніми знаками на пунктах;
- розпізнавальними охоронними стовпами та залишками каналів

колишнього зовнішнього оформлення;

- курганами або заглибинами землі над центрами пунктів.

Якщо візуальним оглядом місцевості відшукати пункт не вдається, а явні ознаки знищення його центра відсутні, то виконавець робіт зобов'язаний застосувати всі інші можливі заходи для розшуку центра пункту, такі як опитування мешканців та інструментально-геодезичні методи розшуку.

На забудованих територіях обов'язково розшуковуються та обстежуються знесені центри геодезичних пунктів, які зведені на будівлях.

Пункт вважається втраченим, якщо є наявні ознаки знищення його центра (на місці пункту побудовано капітальну споруду, знищено курган, викопано котлован, зруйновано будівлю тощо) або, коли вжиті заходи до розшуку центра, включаючи інструментально-геодезичні методи, не дали позитивних результатів.

В останньому випадку рішення про призупинення пошукових робіт приймає безпосередній керівник робіт на підставі особистого огляду місцевості поблизу положення пункту та аналізу результатів роботи виконавця з розшуку центра.

Якщо на місці пункту розміщено тимчасову споруду (скирду, склад міндобрив тощо), то такий пункт не вважається втраченим.

Огляд пункту починають з в'яснення стану його центра. Для цього обережно розкопують верхній центр так, щоб не порушити його положення. Якщо номер марки верхнього центра співпадає з номером марки за каталогом (карткою геодезичного пункту) і марка в хорошому стані, то пункт вважається таким, що зберігся. Якщо ці номери не співпадають або марка центра знищена, то обережно розкопують весь центр по одній із його граней, не порушуючи його положення, і проводять його огляд. Під час огляду центра порівнюють його тип з даними каталогу (карткою геодезичного пункту), уточнюють їх ідентичність і в'ясняють стан нижніх центрів. В обов'язковому порядку вимірюють з точністю до 0,01 м висоту центра і глибину його закладки від поверхні землі. Усі ці

відомості заносять в Картку геодезичного пункту.

Обстеження зовнішнього знаку починають з ретельного огляду основних стовпів, стояків, вінців, розкосів, драбин, площадки спостерігача і верху знаку.

Під час огляду зовнішнього знаку визначають його придатність для проведення геодезичних вимірювань, основні стовпи розкопують на глибину 40–50 см. Якщо основні стовпи та стояки прогнили (проржавіли) більше ніж на $1/7$ їх товщини, то подальше обстеження знаку не проводять, такий знак підлягає знесенню. В іншому випадку визначають обсяг робіт щодо його ремонту.

Необхідність знесення старих, ветхих зовнішніх знаків підтверджується безпосереднім керівником робіт.

Під час обстеження геодезичного пункту перевіряють збереженість орієнтирних пунктів (ОРП), стан їхніх центрів, розпізнавальних стовпів, зовнішнього оформлення і визначають обсяги робіт із їхнього оновлення.

Якщо за зовнішніми ознаками місце розташування ОРП встановити неможливо, то їх розшукують інструментально за дирекційними кутами та відстанями від центра пункту.

Якщо обстеження пунктів виконують як самостійний процес для проектування майбутніх робіт із відновлення та згущення ЛГМ, то на кожному пункті, який обстежується, перевіряють наявність видимості за напрямками на суміжні пункти існуючої мережі та складають діаграму перешкод і секторів видимості за горизонтом пункту.

На діаграмі роблять замальовки горизонту, окремих місцевих предметів відповідно до видимості на суміжні пункти та сектори, вказують азимути напрямів на суміжні пункти мережі, по яких є видимість земля-земля та азимути перешкод, висоти яких над горизонтом перевищують 20° .

Діаграма складається з топографічних умовних знаків, викреслюється простим олівцем і заноситься в «Картку геодезичного пункту».

Вичерпні відомості про стан пункту, які мають бути короткі, чіткі і зрозумілі, виконавець заносить в «Картку геодезичного пункту». Вони необхідні

для визначення обсягів робіт із його відновлення.

Геодезичні пункти, які знищені або втрачені, відомості про стан їх центрів, ОРП та зовнішнє оформлення в «Картку геодезичного пункту» не заносять. Указують лише, що пункт знищено (втрачено), причини його втрати та надають перелік робіт, які необхідно виконати для його відновлення.

Після виконання робіт з обстеження геодезичних пунктів здаються такі матеріали:

- картки геодезичних пунктів, що каталогізують;
- схему результатів обстеження геодезичних пунктів, що виконана на топографічній карті з нанесеними на ній розшуканими та знищеними (втраченими) геодезичними пунктами;
- технічний звіт про виконані роботи.

Перелічені матеріали готуються у двох примірниках і зберігаються:

- 1-й примірник – на підприємстві (організації), яке обслуговує цю територію;
- 2-й примірник – у Державному картографо-геодезичному фонді України (Укркартгеофонд), куди вони надсилаються після завершення робіт на об'єкті.

8.2 Оновлення пунктів планової геодезичної мережі

Під час оновлення пунктів планової геодезичної мережі виконуються такі роботи:

- оновлення центрів пунктів і встановлення на них опізнавальних стовпів, якщо старі не збереглися;
- ремонт зовнішніх знаків і знесення старих (ветхих) знаків;
- побудова нових знаків на пунктах, розташованих на відкритій місцевості на землях сільськогосподарського призначення, які систематично обробляються, якщо старі знаки не збереглися або знесені;
- ремонт і оновлення старих ОРП;
- оновлення зовнішнього оформлення геодезичних пунктів і ОРП;

– передача оновлених геодезичних пунктів землекористувачам (землевласникам) земельних ділянок для нагляду за їх збереженням.

8.3 Оновлення центрів пунктів геодезичних мереж

Під час закладання нового верхнього центра, замість втраченого або пошкодженого, необхідно встановити його точно над маркою нижнього центра за допомогою виска, виміряти відстань за вертикальною прямою між марками верхнього і нижнього центрів з точністю до 5 мм і обчислити висоту нового центра над рівнем моря.

Якщо на пункті залишився тільки нижній центр на недостатній глибині, то на такому пункті необхідно виконати перезакладку центра і встановити центр нового типу. Перезакладка центра здійснюється згідно з вимогами нормативно-технічних документів.

8.4 Ремонт зовнішніх знаків та GNSS-обладнання, знесення старих зношених знаків та демонтаж GNSS-обладнання

Під час оновлення геодезичних пунктів виконують ремонт або знесення зовнішніх знаків, ремонт або демонтаж GNSS-обладнання.

Підлягають ремонту дерев'яні зовнішні знаки, на яких застаріли драбини, перехідні площадки та майданчик спостерігача розсохся і постарів інструментальний столик та верх знаку, ослаблена міцність і жорсткість знаку, основні стовпи підгнили не більше ніж на 1/7 їх товщини, а всі інші деталі залишилися придатними.

Обсяги ремонтних робіт визначаються під час обстеження пунктів.

8.5 Побудова нових зовнішніх знаків та встановлення GNSS-обладнання

Побудова нових зовнішніх знаків та встановлення GNSS-обладнання виконується під час створення нових пунктів ГМ або на місці знесених та зруйнованих зовнішніх знаків та GNSS-обладнання.

8.6 Ремонт і оновлення старих орієнтирних пунктів

Якщо на геодезичному пункті збереглися обидва ОРП, то з метою перевірки їхньої стабільності і безпомилкового розпізнавання здійснюють контрольні вимірювання відстаней до них і кута між ними. Результати вимірювань не мають відрізнятись від даних каталогу більше ніж на 3 м під час вимірювання відстаней і на 10" під час вимірювання кутів. У разі більших розходжень кути і відстані до ОРП вимірюють заново з необхідною точністю.

Якщо на геодезичному пункті зберігся тільки один ОРП, то з метою перевірки його стабільності і правильності розпізнавання вимірюють відстань до нього і порівнюють з даними каталогу.

8.7 Оновлення зовнішнього оформлення геодезичних пунктів і орієнтирних пунктів

До зовнішнього оформлення геодезичних пунктів належать:

- рови квадратної (трикутної) форми навколо зовнішнього знаку або центра геодезичного пункту;
- обгородження, вали з каміння, кургани, трафарети на скелях тощо;
- розпізнавальні охоронні стовпи з охоронними пластинами, на яких розміщено напис: «Геодезичний пункт. Охороняється державою».

До зовнішнього оформлення ОРП належать:

- рови круглої форми навколо ОРП;
- розпізнавальні охоронні стовпи.

Розпізнавальний охоронний стовп – це залізобетонний пілон завдовжки 140 см із перерізом 10 см × 10 см або азбестоцементна труба з діаметром 10 см, заповнена бетоном.

Пілон закладається на глибину 80 см, верхня частина його, яка має бути на 60 см вище поверхні землі, фарбується яскравою олійною фарбою (жовтого, помаранчевого чи червоного кольору).

Оновлення зовнішнього оформлення геодезичних пунктів і ОРП здійснюється за такими правилами:

- якщо збереглися рови навколо пункту чи ОРП, то вони оновлюються у старих розмірах, а старі задерновані рови поглиблюються до 50 см;

- геодезичні пункти, які розташовані на сільськогосподарських землях, що систематично обробляються, окопуються ровами (з трьох або чотирьох сторін), паралельними до сторін знака на відстані не менше 1 м від осей стовпів знака. Ширина канави зверху – 120 см, знизу – 20 см, глибина рову – 80 см згідно з вимогами інструкції про типи центрів.

Оновлення зовнішнього оформлення геодезичного пункту без зовнішнього знака, розташованого в закритій місцевості (у лісі, лісосмузі, високому чагарнику, населеному пункті тощо), який раніше не окопувався або коли старі канави не збереглися, виконується так:

- на відстані 1,5 м від центра пункту встановлюється залізобетонний розпізнавальний охоронний стовп з охоронною пластиною, яка має бути повернута в сторону центра. Безпосередньо над центром пункту насипають невисокий курган до 30 см заввишки і діаметром не менше 1 м;

- якщо поблизу пункту зберігся старий розпізнавальний охоронний стовп з охоронною пластиною, то його перефарбовують яскравою фарбою. Якщо ж охоронна пластина не збереглася, то на розпізнавальному охоронному стовпі закріплюють нову охоронну пластину.

Оновлення зовнішнього оформлення ОРП виконують у такому порядку:

- ОРП окопують ровом круглої форми з діаметром 330 см зовнішнього краю і 130 см внутрішнього краю. Ширина рову зверху – 100 см, внизу – 20 см, глибина – 50 см;

- у розриві рову встановлюють розпізнавальний охоронний стовп з охоронною пластиною.

8.8 Обстеження знаків висотної геодезичної мережі

Висотна геодезична мережа, закріплена на місцевості віковими, фундаментальними, ґрунтовими та стінними марками і реперами. Роботи з обстеження нівелірних знаків починаються з вивчення матеріалів топографо-геодезичної вивченості території і підготовки необхідних матеріалів і даних для виконання польових робіт.

Такими матеріалами є:

- зведені та об'єктові каталоги висот пунктів нівелювання;
- відомості перевищень і висот пунктів нівелювання, які не увійшли до зведених каталогів зі схемами до них;
- абриси (кроки) закладання реперів та їх типи;
- топографічні карти;
- матеріали аерофотозйомки (аерофотознімки, фотосхеми).

За цими матеріалами репери нівелювання наносять на топографічні карти, а всі необхідні дані про них (тип знака і його номер, клас нівелювання, рік закладки, опис місця розташування знака) виписують у список обстеження і оновлення нівелірних знаків на об'єкті та готують копії схем нівелірних ліній.

У списку нівелірні знаки розміщують по лініях у такому порядку, у якому вони наведені в каталогах чи відомостях перевищень, звідки виписується опис місця розташування знака.

Підготовлені топографічні карти з нанесеними реперами, копія схеми нівелювання та списки обстеження та оновлення нівелірних знаків є основними документами для виконання польових робіт.

Польове обстеження нівелірних знаків містить:

- розшук нівелірного знака на місцевості і визначення його стану та відповідності даного типу знака сучасним вимогам, якість цементування марок, збереженість зовнішнього оформлення;
- для стінних знаків визначають стан споруди, у якій закладено знак,

наявність і розміри тріщин у стінах, фундаменті тощо;

- перевірку опису місцеположення нівелірного знака і відповідність його змісту даним, що вміщені в каталозі чи відомостях перевищень;

- оформлення технічної документації за результатами обстеження.

Розшук нівелірних знаків проводиться за топографічною картою, абрисом, аерофотознімками, за зовнішніми ознаками, що збереглися (залишками рівів зовнішнього оформлення, розпізнавальними охоронними стовпами тощо), за відомостями про нівелірний знак, що можуть бути одержані від місцевих мешканців.

Якщо візуальним оглядом місцевості за переліченими даними віднайти нівелірний знак не вдалося, то він вважається не знайденим, але з каталогу висот пунктів нівелювання не вилучається.

Рішення про припинення розшуку нівелірного знака ухвалює безпосередній керівник робіт на підставі особистого огляду місця розташування знака.

Нівелірний знак вважається втраченим, коли на його місці вирито котлован, побудовано будь-яку споруду, зруйновано будинок, у якому він був закладений, відбито марку, порушено цементне кріплення знака в стіні, нахилено пілон тощо.

Фундаментальний репер вважається таким, що зберігся, якщо збереглася його контрольна марка, хоча основна марка знищена. Такий репер підлягає ремонту, у процесі якого необхідно закласти нову основну марку й визначити перевищення нової марки відносно контрольної марки і репера-супутника. Визначення перевищення здійснюється шляхом геометричного нівелювання з точністю не нижче 1 мм.

Під час огляду розшуканого нівелірного знака виправляється опис його місця розташування. Якщо він не відповідає сучасному стану, знак наноситься на карту і надається перелік робіт, які необхідно виконати для його оновлення.

Відомості про стан обстеженого нівелірного знака заносять у список

обстежених і оновлених нівелірних знаків.

Після закінчення польових робіт з обстеження нівелірних знаків виконавець здає безпосередньому керівнику робіт такі матеріали:

- список обстежених нівелірних знаків;
- схему обстежених нівелірних знаків;
- пояснювальну записку (звіт) про виконані роботи.

Перелічені матеріали готуються у двох примірниках і зберігаються:

- 1-й примірник – в Укркартгеофонді, куди він надсилається після завершення робіт на об'єкті;
- 2-й примірник залишається на підприємстві або передається в організацію, яка обслуговує цю територію і використовується для складання технічного проекту на виконання польових робіт з оновлення нівелірних знаків.

8.9 Оновлення знаків висотної геодезичної мережі

Оновлення ґрунтового репера містить такі роботи:

- очищення марки ґрунтового репера від іржі і фарбування її олійною фарбою;
- оновлення зовнішнього оформлення репера відповідно до вимог інструкції про типи центрів. Якщо розміри старих ровів дещо менші або більші від тих, що передбачені зазначеною вище інструкцією, то їх оновлення здійснюється у старих розмірах. Старі рови із задернованими гранями тільки поглиблюються до 50 см;
- встановлення в кутку майданчика, обмеженого ровами зовнішнього оформлення, розпізнавального охоронного стовпа з охоронною пластиною на відстані 60 см від репера.

Під час оновлення ґрунтових знаків у населених пунктах та на забудованих територіях їх не окопують, а тільки встановлюють біля них на відстані 60–80 см від знака розпізнавальний охоронний стовп з охоронною пластиною.

Оновлення стінного знака передбачає такі роботи:

- очищення знака від іржі;
- фарбування стінного знака та частини стіни навколо нього у вигляді круга з діаметром 20–25 см олійною фарбою;
- виправлення опису місця розташування знака з урахуванням змін, які відбулися на місцевості після його закладання чи попереднього обстеження;
- нанесення знака на карту і визначення за картою його координат із точністю до 0,1 км і внесення їх у список обстежених та оновлених нівелірних знаків.

Після завершення польових робіт на об'єкті з обстеження та оновлення знаків висотної геодезичної мережі здаються такі матеріали:

- списки обстежених і оновлених знаків висотної геодезичної мережі;
- схема обстежених і оновлених знаків висотної геодезичної мережі, що виконана на карті;
- акти передачі оновлених нівелірних знаків землекористувачам (землевласникам) земельних ділянок для нагляду за їх збереженням;
- технічний звіт про виконані роботи.

Перелічені матеріали готуються у двох примірниках, один з яких надсилається в Держкартгеофонд, другий залишається на підприємстві, за яким закріплена ця територія для обслуговування в топографо-геодезичному відношенні.

Підприємства та організації, які складають і оновлюють каталоги висот геодезичних пунктів і нівелірних знаків, заносять результати обстеження та оновлення нівелірних знаків у банк геодезичних даних.

8.10 Польові роботи під час реконструкції локальних геодезичних мереж

Інструментальні та програмні засоби реконструкції ЛГМ такі самі, як і під час створення цих мереж.

Методика реконструкції локальних геодезичних мереж відповідає методиці створення локальних геодезичних мереж з урахуванням особливостей реконструкції пунктів ЛГМ.

8.11 Попереднє обстеження та аналіз точності пунктів локальних геодезичних мереж для завдань реконструкції

Попереднє польове обстеження геодезичних пунктів та реперів нівелювання об'єкта проводять з метою уточнення обсягів робіт, оцінки реального стану збереженості та їх придатності для подальшого використання.

Попередній аналіз точності визначення координат і висот пунктів та знаків геодезичних і нівелірних мереж виконується за матеріалами виконаних топографо-геодезичних робіт попередніх років.

За результатами попереднього польового обстеження та аналізу встановлюють такі відомості:

- кількість збережених геодезичних пунктів ЛГМ, реперів нівелювання;
- технічний стан геодезичних пунктів, реперів нівелювання та їх придатність для виконання супутникових геодезичних спостережень;
- точність та методи побудови геодезичних та нівелірних мереж об'єкту.

Якщо результати попереднього польового обстеження та аналізу не дозволяють з достатньою вірогідністю встановити зазначені вище відомості, проводяться додаткові польові обстеження з виконання контрольних геодезичних вимірів для встановлення реальної точності та виявлення глобальних і локальних деформацій існуючих геодезичних та нівелірних мереж.

Для виконання контрольних геодезичних вимірів ЛГМ відбирають пункти геодезичних мереж більш високого порядку, що включені в ЛГМ, вихідні та вузлові пункти наявних ЛГМ, які рівномірно розташовані в межах об'єкта та мають координати в УСК-2000.

Для встановлення зміщень геодезичних пунктів об'єкта обчислюють

різниці координат суміщених пунктів у чинній ЛСК та координат, отриманих із супутникових геодезичних спостережень та перелічені в ЛСК згідно з відповідним чинним «ключем» переходу.

Визначення глобальних та локальних деформацій наявної ЛГМ виконується за відповідним алгоритмом.

Результати отриманих локальних і глобальних зміщень координат геодезичних пунктів ЛГМ мають бути перевірені на наявність систематичних похибок за (8.1):

$$\frac{[\delta]}{n} \leq \frac{[t]}{1,25n\sqrt{n}}, \quad (8.1)$$

де δ – різниці координат;

n – кількість різниць;

t – коефіцієнт Стюдента.

Якщо ця нерівність правильна, то гіпотеза про відсутність систематичних похибок приймається.

Математичне опрацювання щодо визначення глобальних та локальних деформацій виконується після виключення з вибірки суміщених пунктів, зміщення яких перевищує потроєну середню квадратичну похибку визначення їх координат.

Результати математичного опрацювання представляють у табличному вигляді та як схеми ізоліній зміщень координат геодезичних пунктів [11, 13, 16].

8.12 Особливості застосування GNSS для реконструкції пунктів державної геодезичної мережі в умовах збройної агресії Російської Федерації

Однією з основних умов функціонування будь-якої геодезичної мережі є забезпечення прямої оптичної видимості між суміжними пунктами цієї мережі. Причиною відсутності видимості може бути втрата геодезичних пунктів. Відповідно, усунути зазначену причину можна шляхом відновлення втрачених геодезичних пунктів. Порядок побудови ДГМ України передбачає необхідність

обстеження, відновлення геодезичних пунктів та проведення моніторингу ДГМ. Проте досі відсутня чітка концепція відновлення геодезичних пунктів. Порядок ведення моніторингу стану ДГМ нормативно не забезпечений.

Періодичне обстеження та оновлення геодезичних, гравіметричних пунктів і нівелірних реперів має проводитися не менше ніж один раз на 10 років, а на території міст і зон активної господарської діяльності – не менше ніж один раз на п'ять років. Систематичне обстеження проводять суб'єкти топографо-геодезичної діяльності безпосередньо під час виконання кадастрових зніманих або топографо-геодезичних робіт. Відшукування геодезичних пунктів здійснюють за їхніми зовнішніми ознаками з використанням великомасштабних топографічних карт, планів, GPS-приймачів (навігаторів) місць розташування геодезичних пунктів. Геодезичний пункт ДГМ вважається втраченим, якщо не збереглися моноліти його центру, а всі можливі заходи з відшукування геодезичного пункту не дозволяють знайти на місцевості місце його проектного розташування.

Причинами повного знищення чи часткового пошкодження геодезичних пунктів ДГМ та геодезичних мереж згущення в Україні є:

- виконання сільськогосподарських робіт із застосуванням агротехніки на землях сільськогосподарського призначення;
- необізнаність землекористувачів і землевласників з інформацією про наявні геодезичні пункти на території їхніх землекористувальних угідь;
- використання зовнішніх геодезичних знаків та центрів пунктів не за призначенням унаслідок безвідповідального зберігання;
- виконання різноманітних будівельних робіт (зведення на місці геодезичного пункту будівель, споруд та конструкцій різного призначення, знесення будівель із настінними геодезичними знаками, будівництво та ремонт покриття доріг, вулиць, прокладання підземних комунікацій, земляні роботи тощо);
- виконання гірничодобувних робіт на діючих кар'єрах; вандалізм, незаконні прибудови та інші злочини;

– застарілість центрів геодезичних пунктів, побудованих із застосуванням технологій другої половини ХХ ст., що за певних умов можуть не забезпечити довготривалого і надійного збереження проєктного розташування центрів;

– ерозійні явища, специфічні випадки втрат геодезичних пунктів унаслідок воєнних дій.

У разі втрати, руйнування, знищення пункту Інструкція з обстеження та оновлення пунктів ДГМ України передбачає розшук такого пункту за допомогою лінійно-кутових методів або GNSS-спостережень. Вибір конкретного методу зумовлюється умовами видимості, кількістю та особливістю розташування наявних геодезичних пунктів або орієнтирних знаків, перевагами та недоліками застосовуваних методів.

У всіх випадках спочатку визначають приблизне розташування центру пункту, після чого сам центр пункту розшукують за допомогою щупа або розкопування. Визначається ступінь руйнування пункту та приймається рішення про подальші дії щодо відновлення цього пункту [19].

На великій частині території України втрачено більшість пунктів ДГМ через збройну агресію Російської Федерації, тому в таких обставинах найбільш ефективним є застосування GNSS-технологій. Особливості застосування GNSS для реконструкції пунктів державної геодезичної мережі в умовах військових дій дуже обмежена. Основними причинами цього обмеження є явища спуфінгу та глушіння сигналу.

Глобальна навігаційна супутникова система широко використовується для забезпечення точного позиціонування, навігації та синхронізації часу. Проте GNSS-сигнали є вразливими до кібератак, зокрема спуфінгу і глушіння, які можуть призвести до значного спотворення даних.

Спуфінг передбачає створення та передачу підроблених GNSS-сигналів, які змушують приймач приймати фальшиві координати. Під час спуфінгу координати, що обчислюються приймачем, суттєво відрізняються від реальних.

Відбувається суттєве спотворення таких показників, як C/N_0 , фазові вимірювання носія, псевдовідстані та доплерівський зсув.

Глушіння передбачає передачу потужних інтерференційних сигналів, які заважають нормальній роботі GNSS приймачів. Під час глушіння GNSS-приймачі не можуть приймати або надсилати сигнали. Відбувається значне зниження показників C/N_0 , що робить неможливим точне визначення координат.

Можливості запобігання спуфінгу:

- аналіз аномалій: виявлення невідповідностей у вимірюваннях доплерівського зсуву та C/N_0 ;
- перевірка вірогідності сигналів: використання методів багатоканального аналізу для порівняння сигналів від різних супутників.

Можливості запобігання глушінню:

- екранування та фільтрація: використання екрануючих матеріалів і фільтрів для зниження впливу глушіння;
- перемикання на альтернативні частоти: використання частот, менш вразливих до глушіння, та перехід на резервні системи позиціювання [20].

В умовах збройної агресії Російської Федерації та сучасних технологічних викликів відновлення геодезичних пунктів в Україні є критично важливим завданням для забезпечення точності геодезичної мережі. Недостатня нормативна база та обмеження GNSS-технологій через спуфінг і глушіння сигналу підкреслюють необхідність регулярного обстеження, вдосконалення методів моніторингу та впровадження нових технологічних рішень для підтримання точності та надійності геодезичних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Geospatial Information Law [Electron. resource]. – Electronic text data. – Saeima of Latvia on 17 December, 2009. – 18 p. – Regime of access: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/lat182059.pdf>, free (date of the application: 02.07.2024). – Title from the screen.

2. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серп. 2013 р. № 646. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

3. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність [Електрон. ресурс] : Закон України від 23 груд. 1998 р. № 5–6. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

4. Про поліпшення картографічного забезпечення державних та інших потреб в Україні [Електрон. ресурс] : Указ Президента України від 1 серп. 2001 р. № 575/2001. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://ips.ligazakon.net/document/view/u575_01, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

5. Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84 [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 22 груд. 1999 № 2359. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2359-99-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

6. Про затвердження плану заходів щодо впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84 [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 11.08.2000 № 320-р. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/320-2000-%D1%80#Text>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

7. Про затвердження основних положень створення Державної геодезичної мережі України [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 8 черв. 1998 р. № 844. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/844-98-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

8. Про затвердження Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003–2010 роки [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 16 січн. 2003 р. № 37. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2003-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

9. Leica Geosystems : сайт. – Електрон. дані. – Оновлюється постійно. — Режим доступу: <https://ngc.com.ua/ua/p/809-leica-gr50.html>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

10. Групи компаній «Є.П.С.» [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://eps.com.ua/product/epsbase-bgg/>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

11. Про питання міської геодезичної мережі міста Києва [Електрон. ресурс] : Рішення Київської міської ради VI сесія VIII скликання від 15 лют. 2018 р. № 47/4111. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiXl_GnxLjAhUSjosKHV1ZBKYQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fkiyivcity.gov.ua%2Fnpa%2Fpro_pitannya_misko_geodezichno_merezhi_mista_kiyeva_358798%2Fqxc6pryfzk_47-4111.pdf&usg=AOvVaw1ПYcDoK_nYkee_gA7kdlk, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

12. Створення та реконструкція міських геодезичних мереж в УСК-2000 : Інструкція. КУП УГК 0001: 2008 [Електрон. ресурс] / Ю. Карпінський, О. Кучер, І. Куриляк [та ін.]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Науково-дослідний інститут

геодезії і картографії, 2007. – 99 с. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/8852654/>, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

13. GPS Measurements and Its Impact on Geodetic Datum Maintenance [Electron. resource] : Ali Jaafar Dakhil ; Faculty of engineering mansoura university Mansoura. – Electronic text data. – Egypt, 2015. – 122 с. – Regime of access: https://www.researchgate.net/publication/281526273_GPS_Measurements_and_Its_Impact_on_Geodetic_Datum_Maintenance, free (date of the application: 02.07.2024). – Title from the screen.

14. Martin Vermeer Geodesy: The Science Underneath [Electron. resource] : Aalto University. – Electronic text data. – Helsinki : School of Engineering, 2019. – 576 p. – Regime of access: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/41334>, free (date of the application: 02.07.2024). – Title from the screen.

15. AutoCAD Civil 3D 2010 User's Guide [Electron. resource] : Autodesk. – Electronic text data. – San Rafael, 2019. – 2549 p. – Regime of access: http://images.autodesk.com/adsk/files/civil3d_ug.pdf, free (date of the application: 02.07.2024). – Title from the screen.

16. Інструкція з обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі України [Електрон. ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру України від 29 лют. 2000 р. № 23 – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/Inst_z_obstezh_DGM_23.pdf, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

17. Карпінський Ю. О. Методичні рекомендації щодо діяльності органів місцевого самоврядування у сфері НІГД [Електрон. ресурс] : практичний посібник / Ю. О. Карпінський, Д. О. Кінь. – Електрон. текст. дані. – Київ : КНУБА, 2023. – 276 с. – Режим доступу: https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2024/03/posibnyk-gromadam-nigd_fin.pdf, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

18. Xiaoyan W. GNSS interference and spoofing dataset [Electron. resource] / W. Xiaoyan, Y. Jingjing, H. Ming, P. Zixiao // Data in Brief. – Electronic text data. – 2024. – Vol. 54. – P. 1–15 – Regime of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924002713?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=89abf133d9811957, free (date of the application: 02.07.2024). – Title from the screen.

19. Проблеми відновлення втрачених пунктів геодезичних мереж [Електрон. ресурс] / В. Артамонов, М. Василенко, П. Міхно, О. Хохлов, І. Шелковська // Вісник Львівського національного університету природокористування. – Електрон. текст. дані. – 2021. – № 22. – P. 139–143. – Режим доступу: http://visnuk.kl.com.ua/joom/images/archive/bud/22_2021/Arch-22-2021-26.pdf, вільний (дата звернення: 02.07.2024). – Назва з екрана.

20. GNSS interference and spoofing dataset [Electron. resource] / W. Xiaoyan, Y. Jingjing, H. Ming, P. Zixiao // Data in Brief. – Electronic text data. – 2024. – Vol. 54. – P. 1–15 – Regime of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924002713?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=89abf133d9811957, free (date of the application: 02.07.2024). – Title from the screen.

Електронне навчальне видання

**КУХАР Максим Анатолійович,
МАСЛІЙ Любов Олексіївна**

**СТВОРЕННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ ЛОКАЛЬНИХ
ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *М. А. Кухар*

План 2024, поз. 174Л

Підп. до друку 12.09.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 6,5.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.