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

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
к.е.н., доцент
_____ В’ячеслав ФОМЕНКО
«___»_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
Освітньої програми «Геодезія та землеустрій»
За спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ЗАСТОСУВАННЯ GNSS ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ОДЕСА

Науковий керівник: професор, д.т.н.
_____ **Віктор МИХАЙЛЮК**

Рецензент:
_____

Виконав здобувач другого (магістерського)
ступеня вищої освіти заочної форми навчання
_____ **Денис МОСКАЛЕНКО**

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

ОДЕСА – 2024

РЕФЕРАТ

Застосування GNSS технологій при проведенні топографо-геодезичних робіт в населених пунктах на прикладі міста Одеса. МОСКАЛЕНКО Д.А. Кваліфікаційна робота. ОДАУ кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2024. 75 с. текстової частини, 7 таблиць, 39 рисунків, 35 літературних джерел, 2 аркуша графічної частини.

Текстова частина включає: вступ, вимоги нормативних документів та спеціальної літератури за темою кваліфікаційної роботи, теоретико-методичні засади застосування GNSS технологій при проведенні топографо-геодезичних робіт, методика застосування GNSS технологій при проведенні топографо-геодезичних робіт в населених пунктах, висновки, список використаної літератури.

Графічна частина включає: Схема топогрфо-геодезичної забезпеченості пунктами ДГМ району робіт. Схема топогрфо-геодезичної забезпеченості пунктами міської полігонометрії району робіт.

У кваліфікаційній роботі розглянуто методи застосування GNSS технологій на території населених пунктів на прикладі м. Одеси. Створене трансформаційне поле для перерерахунку координат з СК-63 до МСК (похідної від СК-42).

Ключові слова: система координат, трансформаційне поле, перетворення координат, трансформація координат.

ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ..... 6
РОЗДІЛ 2ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ GNSS ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ 23
2.1. Теоретичні відомості про глобальні навігаційні супутникові системи 23
2.2. Референцні системи координат, які використовуються в Україні 25
2.4. Технологія робіт за допомогою GNSS-спостережень..... 32
РОЗДІЛ 3МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ GNSS ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ 37
3.1. Загальні відомості про об’єкт та район робіт..... 37
3.2 Топографо-геодезична забезпеченність району робіт 40
3.3 Створення трансформаційного поля. Практична складова по Одесі 42
3.4 Практичне застосування GPS на території міста..... 52
ВИСНОВОК..... 54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 57

ВСТУП

Розвиток сучасних технологій у сфері геодезії та картографії суттєво розширив можливості вирішення завдань, пов'язаних із забезпеченням точності вимірювань і створенням картографічних матеріалів. Одним із ключових інструментів у цьому процесі є використання GNSS (Global Navigation Satellite Systems) технологій, які дозволяють проводити високоточні вимірювання на основі супутникових сигналів. Дані технології стали незамінними при виконанні топографо-геодезичних робіт, особливо у міських умовах, де точність і швидкість виконання робіт мають першочергове значення.

Під час проведення геодезичних вишукувань на території великих населених пунктів частіше всього використовують міську систему координат, тому що координати пунктів міської полігонометрії не перераховані до місцевої системи, похідної від УСК-2000. Але згодом отримані координати перераховують до загальноприйнятої державної системи кооридинат.

Іноді виникає ситуація навпаки, коли ми маємо координати точок в УСК-2000 чи СК-63, а потрібно їх перерахувати до МСК (похідної від СК-42). Такі ситуації виникають насамперед через те, що в Україні не діє на певному рівні постанова КМУ «Про Порядок охорони геодезичних пунктів». На сьогоднішній день значна частина міської полігонометрії просто втрачена. У цьому випадку визначення координат за допомогою супутникових GPS-спостережень дає змогу працювати в населених пунктах, але за умови наявності трансофрмаційного поля до потрібної системи координат.

Одеса – одне з найбільших міст України з розвиненою інфраструктурою та складною геодезичною ситуацією. Використання GNSS технологій для створення трансформаційного поля в цьому регіоні має значний практичний інтерес. Перерахунок координат із державної системи координат СК-63 до місцевої системи координат забезпечує точність та відповідність геодезичних

даних до специфічних потреб місцевих органів управління та користувачів.

Актуальність цієї теми обумовлена необхідністю впровадження сучасних методів геодезичних вимірювань для покращення точності й ефективності топографічних робіт, що є основою для подальшого розвитку інфраструктури міста. Крім того, створення трансформаційного поля дозволяє вирішити завдання узгодження різних систем координат, що є важливим у контексті інтеграції геоданих у єдину інформаційну систему міста.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у проведенні геодезичних вимірювань для створення трансформаційного поля, яке забезпечить можливість перерахунку координат із системи СК-63 до місцевої системи координат.

Об'єктом кваліфікайної роботи виступає трансформаційне поле для перерахунку координат з різних систем на території міста Одеси.

Предметом кваліфікаційної роботи виступає практичнее застосування GNSS-технологій на території населених пунктів.

Методи дослідження використані під час дослідження: математичного моделювання, емпіричний, геоінформаційний, порівняльний, теоретичний аналіз.

Завданнями роботи є: аналіз сучасного стану використання GNSS технологій у геодезії; розробка методики виконання геодезичних вимірювань із застосуванням GNSS приймачів, створення трансформаційного поля на прикладі міста Одеса, оцінка точності та ефективності використання GNSS технологій у виконанні поставлених завдань.

Виконання цієї роботи дозволить не лише вдосконалити методику проведення топографо-геодезичних робіт у міських умовах, але й сприятиме підвищенню рівня інтеграції геодезичних даних у єдину систему координат для подальшого розвитку геоінформаційних технологій.

РОЗДІЛ 1
ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Топографо-геодезична діяльність на території України на сьогоднішній день регулюється нормативно-правовими актами відображеними на рисунку 1.

Одним із основних джерел нормативно-правового регулювання є *Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність».* У цьому законі визначено ключові завдання в галузі геодезії та картографії, окреслено напрями діяльності, повноваження відповідних органів і відомств, а також перелік об'єктів і суб'єктів, які беруть участь у цій сфері [28].

Топографо-геодезична діяльність охоплює наукову, виробничу, управлінську та іншу діяльність фізичних і юридичних осіб, спрямовану на дослідження параметрів форми Землі, створення державної геодезичної мережі, геоінформаційних систем, а також розробку топографічних, кадастрових планів і карт [28].

Основними видами топографо-геодезичних робіт є створення державних геодезичних мереж згущення та забезпечення їх належного функціонування. До цих робіт також належать планово-висотна геодезична основа, точність якої визначає якість топографічних карт і планів, а також вирішення завдань на загальнодержавному рівні.

Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» регламентує метрологічне забезпечення топографо-геодезичної та картографічної діяльності. Цей закон включає в себе систему стандартів, так званих еталонів геодезичних спостережень, а також терміни, режим використання геодезичних приладів. Він є обов'язковим для виконання [26].

Основою для проведення топографо-геодезичних робіт виступає Державна геодезична мережа. Питання щодо неї регламентуються постановою

Кабінету Міністрів України «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»» [6]. Ця Постанова констатує вимоги до побудови, а також удосконалення державної геодезичної мережі України, до якої входить геодезична (планова), нівелірна (висотна) та гравіметрична мережі

Основна система координат в нашій країні – це УСК- 2000. Вона базується на прямому перетворенні, із затвердженими параметрами для трансформації її значень при впровадженні системи ITRF2000 [5].

Дана СК почала розроблятися ще у 1995 році та у 2007 році згідно Постанови КМУ «Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат» стала обов'язковою при виконанні топографо-геодезичних робіт [5].

Основні етапи для впровадження геодезичної референцної системи координат УСК-2000 (з 1995р по 2007р) було:

- створено періодичну та діючу GNSS- мережу, яка на момент запуску складала 16 активних GNSS-станцій.
- виконано супутникові спостереження за активними ШСЗ на пунктах мережі з використанням перманентних GNSS-станцій та обробку отриманих даних;
- моделювання параметрів руху для визначення геодезичної референцної системи координат;
- проведено супутникові вимірювання на пунктах астрономо-геодезичної мережі України, яка налічує понад 800 пунктів GNSS-спостережень та опрацювання їх результатів;
- формування та наповнення інформаційного банку геодезичних даних пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ);
- врівноваження ДГМ, зокрема роботи з каталогізації пунктів;

- визначенно параметри для забезпечення зв'язку між національною геодезичною референцною системою УСК-2000 та іншими діючими референцними системами координат[30].

Координати пунктів мережі GNSS-спостережень і супутникової ДГМ, отримані під час виконання робіт у Міжнародній системі ITRS/ITRF2000, були трансформовані в систему координат УСК-2000 на основі змодельованих параметрів зв'язку. Ці параметри використовувалися як вихідні для опорних пунктів GNSS- спостережень під час урівноваження. У результаті загальне врівноваження ДГМ було виконано в системі координат УСК-2000, при цьому середні квадратичні похибки координат не перевищують допустимі межі 3–5 см [30].

Для забезпечення інтероперабельності різних геопросторових даних на основі єдиної координатної системи України в січні 2013 року було запущено геопортал ДГМ України, створений у Науково- дослідному інституті геодезії і картографії.

Основна мета цього ресурсу – підтримка використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 не лише для геодезичних робіт і топографічного картографування, а й для ведення Державного земельного кадастру.

У зв'язку з російською агресією доступ до сервісів порталу від 2022 року обмежений. Авторизовані користувачи мають доступ до геоінформаційних сервісів, які забезпечують:

- ознайомлення користувачів із Державною геодезичною мережею України;
- доступ до інформації про розташування геодезичних пунктів на обраній території;
- отримання довідок про характеристики пунктів;

- можливість вибору пунктів зі списку для подання заявки на отримання точних координат у встановленому порядку;

- зворотний зв'язок із користувачами для надання додаткової інформації про пункти (наприклад, їхній стан, шляхи під'їзду, фотографії місця розташування тощо).

За Постановою [6], виконання геодезичних робіт можливо за наступними методами:

- традиційний геодезичний метод;

- метод із застосуванням глобальних навігаційних супутникових систем та інформаційних технологій (GNSS) [6].

З метою інтеграції України в світову та європейську економічні системи, запровадження сучасних систем навігації транспортних засобів було прийнято для використання на території України Світову геодезичну систему координат WGS- 84.

Сьогодні метод GNSS, зокрема режим RTK, дедалі частіше застосовується для виконання кадастрових знімань. Однак в Україні майже відсутня нормативна база для регулювання цього методу знімання.

Єдиним нормативним документом, що регламентує використання GNSS-методів, є наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 2 грудня 2016 року №509 « Про порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою». На основі цього документа дозволяється використовувати технологію RTK із перевіркою диференційного поля координатних поправок, що надаються мережами GNSS.

Для перевірки диференційного поля необхідно здійснити контроль щонайменше на двох пунктах Державної геодезичної мережі (ДГМ) або геодезичних мереж згущення (ГМЗ). Координати цих пунктів можна

отримати з банку геодезичних даних. Відповідно до наказу, для обробки супутникових спостережень слід використовувати програмне забезпечення, розроблене виробниками GNSS- приймачів. [18].

Кузишин у своїй роботі [14] досліджував теоретичні та практичні аспекти виконання GNSS- спостережень із прив'язкою до пунктів державної геодезичної мережі України. Основна увага приділена аналізу сучасних технологій GNSS, які забезпечують високу точність визначення координат для різних цілей геодезії та землеустрою. У роботі представлено огляд національної геодезичної референцної системи УСК-2000, описано її особливості та етапи впровадження.

На основі реальних даних виконано проект землеустрою щодо відведення земельної ділянки в м. Сокаль Львівської області для будівництва індивідуального гаражу. Проведено комплекс геодезичних робіт, зокрема рекогностування території, збирання та обробка GNSS-даних, побудова цифрових моделей місцевості, а також створення електронного обмінного файлу для державної реєстрації ділянки. Робота використовує передові технології GNSS, такі як режим реального часу RTK, забезпечуючи точність вимірювань на рівні 1-2 см.

Особливу увагу приділено практичним аспектам реалізації GNSS-спостережень: алгоритмам обробки даних, врівноваженню мережі та прив'язці до державних пунктів геодезичної мережі. У дослідженні проаналізовано результати визначення просторових даних ділянки та вплив застосованих методик на точність кінцевих результатів. Також висвітлено екологічні аспекти та питання охорони праці під час проведення геодезичних робіт.

Результати роботи можуть бути використані як методичний матеріал для організації геодезичних робіт із GNSS- спостереженнями, розробки

проєктів землеустрою та вдосконалення національної геодезичної мережі [14].

Також дисертація Лиска Богдана Олеговича [16] присвячена вирішенню актуальних задач інженерно-геодезичного забезпечення будівництва за допомогою сучасних технологій GNSS та RTN (Real-Time Networks). Метою дослідження є удосконалення процесу винесення в натуру проектних координат, що включає розробку методик комплексного використання електронних тахеометрів і супутникових приймачів для забезпечення нормативної точності і високої швидкості виконання робіт.

Особливу увагу приділено трансформації координат із місцевих систем координат (МСК) у державну систему УСК- 2000. У роботі запропоновано двоетапний алгоритм трансформації, що включає математичну мінімізацію випадкових помилок RTN- рішень і можливість виключення грубих похибок. Цей підхід базується на використанні топоцентричних прямокутних координат і геоцентричної системи, що забезпечує високу точність координатного забезпечення навіть у складних умовах будівельних майданчиків. Запропоновано моделі, які враховують вплив технологічних параметрів, таких як HDOP, HRMS та кількість супутників, що спостерігає приймач, для покращення точності трансформації.

На основі проведених експериментів доведено, що точність визначення довжин ліній методом RTN удвічі перевищує заявлені виробниками GNSS-приймачів показники. Фізико- географічні умови роботи майже не впливають на точність побудови коротких векторів (до 200 м). Це дозволяє використовувати RTN- метод для планових розмічувальних робіт з точністю до 4 мм.

Розроблені програмні рішення для трансформації координат між МСК і УСК- 2000 дозволяють значно зменшити вплив похибок у координатах

геодезичних пунктів, зокрема червоних ліній забудови, та автоматизувати процес розпланувальних робіт. У роботі також надано рекомендації щодо оптимального використання GNSS- методів для винесення головних осей будівель та створення геодезичної розмічувальної основи, що відповідає вимогам чинних нормативів.

Ефективність запропонованих підходів підтверджено під час геодезичного супроводу будівництва складних об'єктів у м. Івано-Франківськ та на експериментальному полігоні. Практичне впровадження результатів здійснено у провідних геодезичних організаціях і навчальних закладах [16].

В роботі [35] проведено дослідження щодо визначення координат і висот за допомогою GNSS у режимі RTK. Результати цих досліджень в котрий раз підтверджують, що режим RTK є альтернативою класичним геодезичним методам як у кадастрових роботах, так і в інженерно-геодезичних завданнях.

На сьогоднішній день розвиток GNSS технологій на території України направлений на доповнення кількості станцій, що працюють за принципами глобальних перманентних станцій системи IGS (International GNSS Service) та регіональних станцій EUREF (Reference Frame Sub-Commission for Europe). Такі станції називають референцними, оскільки їх координати проходять ретельне визначення, уточнення та постійний моніторинг.

На відміну від традиційних перманентних станцій, референцні об'єднуються в локальні або національні мережі, які використовуються для реалізації RTK (Real Time Kinematic) методу. У межах цього способу GNSS-спостережень такі станції функціонують як активні референцні, забезпечуючи в режимі реального часу обмін інформацією з обчислювальним центром, використовуючи дані, отримані від штучних

супутників Землі.

Точність реалізації GNSS- мережі ITRF/IGb для перманентних станцій нині становить 3-5 мм для координат і менш ніж 1 мм на рік для швидкості їх зміни. Досягти такої точності можливо за певних умов, зокрема за рахунок правильного розташування антени приймача та стабільного функціонування GNSS- станції протягом кількох років.

Точність мережі згущення, тобто активних референцних станцій, з урахуванням їх розташування, конфігурації, стабільності кріплення, калібрування антен GNSS-приймачів і тривалості безперервної роботи, має не перевищувати 1- 2 см [35].

Це обумовлено тим, що послуги активних референцних станцій, використовуючи технології RTK і віртуальних референцних станцій, повинні забезпечувати точність визначення координат для топографічних і геодезичних зйомок на рівні 3-5 см. У разі застосування станцій у звичайному статичному режимі ця точність має становити 2- 3 см.

Перша в Україні мережа активних референцних станцій, відома як ZAKPOS [31], була створена у 2009 році в Закарпатській області. Обчислювальний центр мережі розташували у місті Мукачево. Мережу створено на базі апаратного і програмного забезпечення компанії Trimble, із дотриманням принципів і вимог EUPOS, розроблених для європейського регіону.

У період 2009–2011 років мережу ZAKPOS розширили на сусідні області, серед яких Львівська, Волинська, Рівненська, Чернівецька, Івано-Франківська, Тернопільська та Хмельницька.

У 2010– 2011 роках було підписано угоди про обмін даними з прикордонними державами, такими як Румунія, Словаччина, Угорщина, Польща та Молдова. У 2012 році ZAKPOS отримала статус мережі активних

референцних GNSS-станцій Західного регіону України, охопивши майже всю територію країни, за винятком окремих районів північного сходу та Криму.

У 2012 році на території Львівської політехніки з'явилися перші локальні референцні станції, зокрема мережа Geoterrac, компанія « Навігаційно-геодезичний центр» (NGCNet) і група компаній «Є. П.С». Їх діяльність має локальний характер, оскільки вони забезпечують функціонування окремих станцій. За домовленістю більшість із цих станцій було інтегровано в мережу ZAKPOS для надання відповідних послуг користувачам по всій території України.

Починаючи з 2011 року на ринок почала виходити Українсько-Швейцарська компанія «System Solution». Станом на 2012 рік вона охоплювала усю Київську область та налічувала 6 рефенцних станцій. Вже у 2013 році дві станції з`явилося на території Одеської області. Станом на 2024 рік компанія невпинно розширюється, заполонивши вже усі області (окрім тимчасово окупованих територій), та налічує більш ніж 280 референцних станцій [1].

Таким чином До національної мережі референтних GNSS- станцій України двходить кілька приватних мереж активних референцних станцій, а саме: ZAKPOS, TNT-TPI, System Solutions.

На етапі запуску будь- якого з цих операторів необхідно було обрати опорну систему координат для початкового відліку, тобто референцну систему, та забезпечити її інтеграцію з національною системою координат УСК-2000.

Згідно з законодавством, починаючи з 1 січня 2007 року, всі топографо-геодезичні та картографічні роботи повинні виконуватися із застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000. Однак на практиці продовжують використовуватися й інші системи

геодезичних координат. Це створює необхідність дослідження взаємозв'язків між різними системами координат і забезпечення геодезичної підтримки земельного кадастру загалом.

У своїй роботі [40] Шульц Р. В. запропонував методику визначення параметрів зв'язку між державною референцною системою координат та умовною міською системою координат, розроблену на прикладі координатної системи міста Києва. Основну свою увагу він приділяв вирішенню проблем, які виникають у зв'язку з деформаціями міських координатних мереж, що утворилися внаслідок історичних етапів створення та модернізації міських геодезичних мереж. Визначено недоліки традиційних методів, зокрема, перетворення за Гельмертом, які не враховують локальних спотворень і створюють значну кореляцію між параметрами переходу.

Методика включає врахування масштабних коефіцієнтів для вертикальної та горизонтальної складових, що дозволяє компенсувати вплив помилок у висотних параметрах та локальні неточності міської мережі. Також використано адаптацію підходу Молоденського, який дозволяє мінімізувати кореляцію між параметрами та підвищити точність перетворення. Розглянуто алгоритм реалізації перетворень, який включає етапи переходу від проекції Гауса-Крюгера до декартових координат і зворотного перетворення.

Запропонована методика забезпечує точне визначення просторових параметрів переходу між координатними системами, що є необхідним для виконання геодезичних і землевпорядних робіт у межах великих міст, зокрема, для інтеграції даних з різних джерел у єдину картографічну основу. Наведено практичний приклад використання методики для сучасної геодезичної основи м. Києва, яка включає сегменти Української перманентної мережі спостережень GNSS, державні мережі та міські

геодезичні мережі.

У роботі [20] розглядаються можливості сучасних геоінформаційних систем (ГІС) виконувати трансформування координат для растрових і векторних геоданих. Особлива увага приділяється аналізу методів трансформації, таких як метод Гельмерта, афінне перетворення, проективне перетворення, поліноміальна трансформація другого і третього ступенів, трансформація сплайнами, метод « гумового листа» та раціональні поліноми (RPC). Досліджено переваги, недоліки та особливості реалізації цих методів у провідних програмних продуктах: ArcGIS, ENVI, ERDAS IMAGINE, MapInfo, Bentley Descartes, Autodesk Raster Design та інших.

У роботі також обговорюється необхідність інтеграції геоданих різних типів і джерел, таких як скановані картографічні матеріали, супутникові знімки та аерофотозйомка, для їх спільного використання як картографічної основи. Автор акцентує на значенні точності трансформації вихідних даних і описує алгоритми геометричної корекції для забезпечення якісних результатів.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок про функціональні можливості різних ГІС у виконанні завдань трансформування координат. Надано рекомендації щодо вибору програмного забезпечення залежно від специфіки даних і вимог до кінцевої продукції. Зроблено акцент на необхідності подальшого розвитку методів трансформації для підвищення точності та ефективності роботи з геоданими [20].

Методику трансформування координат із архівної системи координат (Вараш- 42), яка є похідною від СК- 42, у сучасну систему координат МСК- 56, похідну від УСК- 2000 в своїй роботі розглядав Кінь Д.О. [15]. Методика реалізується через геоінформаційне середовище QGIS з використанням трансформаційного поля формату NTv2, що базується на афінному

трансформуванні методом скінченних елементів. Основна мета роботи — забезпечення точності та сумісності геопросторових даних для інтеграції архівних координат у сучасні геодезичні системи.

Особливу увагу приділено детальному опису етапів створення трансформаційного поля:

- побудова TIN-моделі (тріангуляційної нерегулярної сітки) для відображення базових контрольних точок;
- формування регулярної GRID-моделі сіткою 200х200 метрів, яка забезпечує високоточне інтерполювання поправок координат;
- обчислення поправок у вузлах сітки методом інтерполяції;
- перевірка точності побудованої моделі через зіставлення координат контрольних точок.

Методика була апробована на території м. Вараш (Рівненська область), де використано контрольні точки, отримані за допомогою сучасних GNSS-спостережень. Встановлено, що середня квадратична похибка трансформації становить ±0, 024 м, що значно менше встановленого допустимого рівня (0,05 м). Це підтверджує придатність розробленого алгоритму для широкого використання в геодезичних роботах.

Робота враховує актуальні нормативи, зокрема постанову Кабінету Міністрів України №1259 та наказ Міністерства аграрної політики №347, які зобов'язують використовувати УСК- 2000 як єдину систему координат для сумісності геопросторових даних. Запропонована методика забезпечує трансформацію shape- файлів, растрових даних та інших форматів у відповідності до вимог сумісності.

Практична значущість полягає у вирішенні проблеми інтеграції даних, збережених у застарілих системах координат, до сучасних систем, що базуються на УСК-2000. Це сприяє підвищенню точності геодезичних

вимірювань у таких галузях, як картографія, землевпорядкування, містобудування, кадастр та моніторинг територій.

Основні результати за данною роботою:

- розроблено алгоритм афінного трансформування з високою точністю для перетворення координат;
- реалізовано інтеграцію трансформаційного поля у QGIS з урахуванням просторової інтероперабельності;
- забезпечено сумісність архівних і сучасних координат для подальшого використання в геопросторових дослідженнях;

запропоновано рекомендації для впровадження методики у виробничих умовах. [15].

Питання точності перетворення двовимірних координат геодезичних пунктів між геоцентричною системою відліку та локальною системою координат було розглянуто у роботі [13]. Основну увагу приділено аналізу параметрів трансформації, їх залежності від довготи осьового меридіана та розмірів поверхні Землі, що використовується для розрахунків. Дослідження базуються на аналізі геодезичної мережі з 28 GPS- пунктів, розташованих у чотирьох зонах проєкції Гаусса-Крюгера.

Результати показали, що параметри трансформації, визначені для однієї зони, не забезпечують адекватної точності для сусідніх зон через геометричні та територіальні особливості. Найменші похибки перетворень (до 5 см) досягнуто при використанні локальних параметрів, обчислених для конкретної зони. Середні похибки, що виникають при використанні універсальних параметрів, можуть досягати 50-60 см для віддалених пунктів, особливо на межах зон.

Встановлено, що точність перетворення залишається задовільною для територій розміром до 1000 км. Використання мінімального числа пунктів

для визначення параметрів трансформації (3-4) забезпечує достатню точність для локальних задач, але є неприйнятним для великих територій через кривизну поверхні Землі.

Практичні рекомендації включають:

- застосування зонально специфічних параметрів трансформації;
- використання оптимально розташованих пунктів для побудови параметрів, зокрема таких, що утворюють дві лінії, які перетинаються під прямим кутом;
- використання різних параметрів для зон із складною геометрією.

Отримані результати мають значення для оптимізації трансформаційних операцій у кадастрових, топографічних роботах, інтеграції GNSS- технологій, а також для розробки геоінформаційних систем, що потребують високоточної координатної інформації. [13].

Державна геодезична мережа України на сьогоднішній день потребує переглядів існуючих підходів до її користування. Військовий стан введений на території країни в 2022 році вимагає внесеннння певних корективів.

Умови військового стану на сьогоднішній день перш за все впливають на спотворення координат отриманих GNSS прйимачем під час повітряної тривоги. Під час ракетної та інших небезпек на території країни активно використовують подавлювач сигналів. Такі пристрої значною мірою впливають на точність визначення координат, шляхом затримки отримання вихідних сигналів з супутників (рис. 1.2).

З рисунку видно, що координати спотворюються. Такі перепони можуть зміщати пікет від декількох метрів до сотень кілометрів.

Також згідно рішенню Ради національної безпеки й оборони України « Про заходи з розвитку та використання вітчизняних систем супутникової навігації в інтересах безпеки і оборони держави» на період воєнного стану

оператори GNSS станцій передають управілння станцій та їх мереж до Національного центру управління та випробуваннь космічних засобів Державного космічного агенства. Через це під час повітрянної тривоги референцні станції взагалі вимкнені.

Потрібно розуміти, що базові станції на окупованих територіях призупинили свою діяльність. Як приклад, на рисунку 1. 3 наведені базові станції від Ukranian GNSS.

Чорним та сірим кольорами на рисунку відображені станції які втрачені, або просто вимкнені на сьогоднішній день. На території Донецької, Луганської, Запорізької областей та Автономної Республіки Крим на сьогодення використовувати послуги даної організації немає можливості.

На деокупованих територіях, де відсутні референтні станції, геодезисти, при вирішенні землевпорядних та інших задач, зустрічаються з замінованими територіями, через що користування Державною геодезичною мережею зводится до неможливості.

Це створює проблему, оскільки з міркувань безпеки часто неможливо отримати доступ до геодезичних пунктів та використовувати їх відповідно до інструкцій для зйомки через замінування або інші обставини, пов’язані з військовими діями. У подальшому порушення вимог чинного законодавства може стати підставою для анулювання сертифіката інженера- геодезиста. На нашу думку, необхідно внести зміни до порядку використання пунктів Державної геодезичної мережі або надати чіткі роз’яснення щодо їх застосування в екстремальних умовах. Таким чином, наразі є потреба в ініціюванні змін до законодавства щодо функціонування Державної геодезичної мережі.

Також, до питання нормативно-правової бази функціонуваня ДГМ України потрібно переглянути чинний порядок обстеження пунктів який

залишився у довоєнному стані й не враховує нові виклики та ризики, що виникли під час воєнного часу. Це може негативно впливати на якість топографічних вишукувань. Наразі необхідно налагодити інформаційну взаємодію між Держгеокадастром та іншими структурами, які займаються протимінною діяльністю під керівництвом Міністерства оборони.

Слід поєднати дані про території, забруднені вибухонебезпечними предметами, зі схемою пунктів ДГМ, а в каталозі позначити ті пункти, які є недоступними через їх розташування на забруднених територіях. Для звільнених територій пункти ДГМ мають бути включені до переліку об'єктів, що підлягають першочерговій перевірці та, за можливості, розмінуванню операторами протимінної діяльності відповідно до планів, затверджених місцевими військовими та ДСНС.

На територіях, де діють системи радіоелектронної боротьби (РЕБ), наприклад, у Харківській області, особливо важливо забезпечити доступ до пунктів ДГМ для виконання землевпорядних та топографо-геодезичних робіт.

Для нормативного врегулювання GNSS-спостережень у воєнний час необхідно законодавчо встановити заборону на виконання спостережень та вишукувань під час повітряних тривог. Якщо роботи були виконані під час тривоги, результати мають вважатися ненадійними. З точки зору організації вишукувань як бізнес- процесів, необхідно закладати у вартість робіт ризики, пов’язані з повітряними тривогами.

Згідно зі статистикою, лідерами за кількістю повітряних тривог є Донецька, Харківська, Запорізька, Дніпропетровська, Миколаївська та Херсонська області. Цей фактор також має враховуватися у вартості виконання робіт.

Саме через це виникає необхідність відновлення повноцінного

функціонування геодезичної мережі, оскільки GNSS сигнал не завжди актуальний, а інструментальна зйомка зараз застосовується все частіша. Альтернативою супутниковій навігації сьогодні може виступати традиційне тахеометричне знімання і лазерне сканування.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ GNSS ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ

2.1. Теоретичні відомості про глобальні навігаційні супутникові системи

Основна мета геодезичних, топографічних та земельно- кадастрових робіт полягає у визначенні координат поворотних точок і меж земельних ділянок. У всіх видах таких робіт широко використовуються сучасні GNSS-технології.

Система глобального позиціонування (GNSS) – це комплексна система, яка забезпечує точне визначення місцезнаходження, часу, швидкості та напрямку руху об'єктів на поверхні Землі. Вона складається з трьох основних сегментів: космічного, наземного та користувача (рис 2.1).

1. Космічний сегмент (Орбітальна група). Космічний сегмент є ключовим елементом будь- якої GNSS. Він складається з мережі супутників, які постійно обертаються навколо Землі на високих орбітах. Кожен супутник оснащений атомним годинником високої точності та передавачем, який постійно випромінює радіосигнали.

На рисунку 2.2 відображені основні функції космічного сегменту.

Супутники передають сигнали, які містять інформацію про точний час передачі та орбітальні параметри супутника. В свою чергу надзвичайно точний час забезпечують атомні годинники. Розміщення супутників на орбіті максимально покриває земну поверхню, дозволяючи приймачам отримувати сигнали від кількох супутників одночасно.

Орбіти можуть бути круговими та еліптичні. Більшість супутників GNSS рухаються по кругових орбітах, що забезпечує стабільне покриття., тим часом еліптичні орбіти використовують в певних регіонах для

збільшення точності.

2. Наземний сегмент (Сегмент управління і контролю). Наземний сегмент відповідає за управління та контроль космічного сегмента. Він складається з мережі наземних станцій, які здійснюють моніторинг супутників, обробляють дані та передають необхідну інформацію на супутники.

До основних функцій даного сегменту можна ввіднести: моніторинг, обробка даних, управління, калібрування.

Наземні станції постійно відстежують орбітальні параметри супутників та їхню роботу. Пілся чого отримані дані обробляються для визначення точного часу і координат супутників. Наземні станції передають на супутники команди для коригування їх орбіт та налаштування обладнання.

3. Сегмент користувачів. Сегмент користувачів складається з різноманітних пристроїв, які приймають сигнали від супутників і обробляють їх для визначення свого місцезнаходження.

Принцип роботи сегмента користувачів наступний: приймач вимірює час, за який сигнал досягає його від кількох супутників. Виходячи з цієї інформації і відомих координат супутників, за допомогою геометричних розрахунків визначаються координати приймача.

Необхідно завуважити що на точність визначення координат впливають деякі фактори:

1. Кількість видимих супутників: Чим більше супутників видно, тим точніше визначення.

2. Атмосферні умови: Атмосфера може спотворювати сигнали, знижуючи точність.

3. Перешкоди: Будівлі, гори та інші перешкоди можуть блокувати сигнали.

4. Точність годинника приймача: Чим точніший годинник у приймачі, тим точніше визначення.

На сьогоднішній день в Україні активно використовують дві GNSS системи:

- Global Positioning System (Сполучені Штати Америки);
- Galileo (Євпропейський Союз).

Космічний сегмент GPS системи США представляє собою 30 активних супутників які знаходяться на кожній з шести кругових орбіт розташованих під кутом 60 градусів одна від одної. Висота такої орбіти становить 20200 кілометрів над поверхнею Землі. Кожен спутник здійснює повний оберт навколо Землі за 12 годин.

Galileo – це європейська супутникова система навігації, розроблена як цивільна альтернатива американській системі GPS. Ця система забезпечує високу точність позиціонування, надійність та доступність, і використовується для широкого спектру застосувань, від навігації автомобілів до наукових досліджень. Для забезпечення повного покриття та високої точності на орбіті постійно перебуває не менше 30 супутників Galileo. Супутники Galileo рухаються по трьох орбітальних площинах.

Глобальні навігаційні системи на сьогоднішній день знаходяться на піку свого розвитку. Сьогоденний стан мереж дає змогу використовувати GNSS технології в легкій доступності на території України.

2.2. Референцні системи координат, які використовуються в Україні

У геодезичних роботах до 1930 року широко застосовувалися системи прямокутних координат Зольднера, Баумана та інші, що використовували еліпсоїд Бесселя як еталонну поверхню. Характерною особливістю цих систем була відсутність єдиного початку координат: для різних районів

геодезичних робіт він обирався довільно.

На початки 30 років 20 століття з'явилася система координат СК-32. Це система прямокутних координат на площині, що базується на використанні конформної проекції Гаусса-Крюгера, з параметрами земного еліпсоїда Бесселя.

На сьогодні ці системи координат вже не використовуються, оскільки їх замінили сучасніші й точніші системи. Проте системи, описані нижче, ще функціонують, хоча їх застосування поступово завершується через впровадження нової, більш досконалої системи відліку.

На початку 40-х років 20 століття почали розробляти нову систему референцних прямокутних координат, яка також заснована на проекції Гаусса- Крюгера.

На той час для цього було виконано масштабні роботи, включно з врівноваженням астрономо- геодезичної мережі, що налічувала 4733 пункти, 87 полігонів і охоплювала близько 60 000 км. Ці результати були використані Науково-дослідним інститутом геодезії, аерозйомки і картографії для визначення параметрів референц-еліпсоїда для території СРСР. Основний внесок у цю роботу зробили М. С. Молоденський і А. А. Ізотов. У цей же період проводилося астрономо- геодезичне нівелювання (М.С. Молоденський) і обчислення висот геоїда.

В результаті даних робіт були визначені нові параметри еліпсоїда, який отримав назву еліпсоїд Красовського. Система координат для всієї території була затверджена у 1946 році, однак у назві використали рік завершення основних робіт – 1942, через що система отримала позначення СК- 42.

Для референц-еліпсоїда Красовського основними вихідними параметрами є: велика піввісь еліпсоїда – 6378245,000 м, мала піввісь

еліпсоїда – 6356863,019 м, стиснення еліпсоїда – 1: 298,3 та додатково – висота геоїда в Пулково над референц- еліпсоїдом дорівнює нулю.

З середини 50- х років новий індустріальний рівень на території радянського союзу вимагав впровадження нової системи координат для забезпечення крупномасштабних знімань території. Таким чином у 1963 році на основі загальнодержавної СК- 42 була створена нова система координат – СК-63, яка отримала поширення на всій території СРСР. Її основою залишилися параметри еліпсоїда Ф.Н. Красовського, затверджені в 1942 році, без внесення змін у вигляді зсувів або поворотів. Як і СК- 42, СК- 63 є системою плоских координат, реалізованою за допомогою зонального циліндричного проектування форми Землі на площину за методом Гаусса-Крюгера.

СК- 63 була розроблена переважно для картографічних цілей, що відображає її основне призначення – створення топографічних карт для цивільного використання. Вона слугувала для вирішення завдань у різних господарських галузях, таких як землевпорядкування, промисловість, сільське господарство тощо. Головною відмінністю СК-63 від СК- 42 стало створення великомасштабних топографічних планів (планшетів) із застосуванням трьохградусних зон, що мали нову систему розграфки та іншу номенклатуру листів.

Згодом для мінімізації спотворення проекції Гауса- Крюгера та забезпечення проведення топографо-геодезичних робіт на території населених пунктів почали вводити місцеві системи координат. Місцева система координат формується на основі державної системи координат 1932 або 1942 років, шляхом застосування спеціальних " ключів" для переходу. Одним із варіантів місцевих систем координат є геологічна система координат.

Для створення нової місцевої системи координат використовують проекцію Гаусса- Крюгера з довільним осьовим меридіаном, який зазвичай проходить через центральну частину або поблизу об'єкта робіт. Перерахунок координат із системи 1942 року здійснюється таким чином, щоб можна було знехтувати поправками за редукування ліній і кутів на площину в цій проекції. У випадках, коли об'єкт робіт розташований на межі триградусної зони або охоплює дві суміжні зони, за довільний осьовий меридіан береться найближчий роздільний меридіан.

Місцева система координат створюється шляхом перерахунку координат системи 1942 року з додаванням " ключа" переходу. При цьому координати в місцевій системі повинні бути зручними для використання: складатися з п'ятизначних чисел у метрах, залишатися додатними, а значення абсцис бути вдвічі більшими за ординати.

З появою GNSS технологій з'явилася потреба у розробці новітньої просторової системи координат з параметрами загальноземного еліпсоїда для провадження їх на території України.

Через це у 2003 році в Україні було ініційовано процес модернізації Державної геодезичної мережі з метою переходу на сучасну геодезичну референцну систему координат. Була розгорнута Українська перманентна мережа глобальних навігаційних супутникових спостережень та розроблена наближена модель квазігеоїда, оптимізована для території України. Кульмінацією цих робіт стало введення в дію з 1 січня 2007 року Державної геодезичної референсної системи координат УСК- 2000.

Дана геодезична референцна система координат, яка за своїми параметрами тісно пов'язана з міжнародною системою координат ITRS/ITRF2000. Осі координат УСК-2000 паралельні осям ITRS/ITRF2000, масштаб обох систем ідентичний, а центр референцної системи УСК-2000

розміщений так, щоб мінімізувати відхилення референцеліпсоїда Красовського від геоїда на території України. Параметри еліпсоїда Красовського, який є поверхнею відліку в системі УСК- 2000, становлять: велика піввісь – 6 378 245 м, стиснення – 1: 298,3.

Система координат УСК-2000 відрізняється від інших тим, що вона базується на постійно діючій мережі станцій, які приймають сигнали від супутників GPS. Головна мета цієї мережі – підтримувати точність координат відповідно до міжнародних стандартів ITRS та ETRS89.

Також на території України, крім єдиної державної системи координат УСК- 2000, існують також місцеві системи координат (МСК II), розроблені для кожної області, Автономної Республіки Крим, міст Києва та Севастополя. МСК пов'язані з УСК-2000 і містять додаткові параметри, необхідні для виконання геодезичних робіт на конкретній території.

Вся інформація про кожну МСК, зокрема її технічні характеристики, зібрана в паспорті МСК і доступна на сайті Державної геодезичної мережі України.

В таблиці 2. 1 наведено порівняння прийнятих в Україні систем координат.

Таблиця 2. 1 **Порівняння систем координат, які використовуються на території України**

№	УСК - 2000	СК- 42	СК- 63	МСК
Повна назва	Українвська система координат 2000 року	Система координта 1942 року	Система координат 1963 року	Місцева система координат
Основа	Базується на загальноприйнятій міжнародній геодезичній системі WGS- 84, яка враховує супутникові вимірювання, зокрема дані GPS.	Базується на параметрах еліпсоїда Красовського (1940 р.), який використовувався для опису форми Землі.		

Геодезична основа	Використовує параметри еліпсоїда GRS-80, який є частиною глобальної референцної системи.	Орієнтується на локальні параметри Землі, що враховують форму регіону.
Точність	Система забезпечує високу точність (до сантиметрів) завдяки використанню супутникових технологій.	Точність обмежена через використання наземних вимірювань і локальних параметрів.

З таблиці стає очевидним, що СК-1942 – застаріла система, яка відображає стан геодезичних знань середини XX століття. УСК-2000 – сучасна, точна, глобально інтегрована система, яка відповідає сучасним вимогам і стандартам.

На рисунку 2. 3 відображене роз'яснення про використання систем координат.

Тобто даний рисунок ще раз підверджує те, що координати СК-63 трансофрмовані з МСК (СК- 42) будуть відрізнятись від тих, що спотворені від УСК-2000.

2.3. Технологія координатного перетворення та трансформування між основними системами координат, що застосовуються в Україні

При розгляді зв'язку між різними референцними системами координат важливо чітко розуміти відповідні терміни. У вітчизняній літературі не завжди акцентували увагу на різниці між поняттями "референцна система координат" і "система координат". Те ж саме стосується і термінів, що стосуються операцій з координатами, таких як " перетворення координат" та "трансформування координат".

Координатні дії охоплюють операції, спрямовані на зміну значень координат однієї референцної системи відносно іншої. Вони поділяються на

два типи:

- Перетворення координат – перехід між координатами різних систем у межах одного датуму.

- Трансформація координат – перехід між координатами референцних систем, які базуються на різних датумах (наприклад, від датуму 1 до датуму 2).

Якщо мова йде про переведення еліпсоїдних координат у просторові прямокутні чи плоскі прямокутні координати певної проекції, то це суто математична задача. Вона розв'язується точно або з заданою точністю за допомогою формул перетворення координатних систем.

Трансформаційне поле – це математична модель або набір параметрів, що дозволяє виконати перетворення координат об'єктів із однієї системи координат в іншу. Такі перетворення є необхідними для узгодження даних, отриманих у різних системах координат, наприклад, під час геодезичних або картографічних робіт.

До основних видів перетворень координат можна віднести:

- афінне перетворення;
- перетворення Гельмерта;
- поліноміальне перетворення;
- трансформація за допомогою параметрів сітки.

Перший вид включає масштабування, обертання та паралельний зсув та застосовується для переходу між локальними системами координат(рис 2.4).

Рисунок 2. 4. Метод афінного перетворення

Перетворення Гельмерта включає параметри зсуву, обертання та масштабування у тривимірному просторі (рис. 2.5). Застосовується для

переходу між системами координат, що базуються на різних еліпсоїдах (наприклад, перехід від СК-42 до WGS- 84).

На рисунках 2. 6 та 2.7 відображений взаємозвязок перетворення та трансформування між основними системами координат, що застосовуються в Україні.

Рисунки приведені вище доводять те, що перехід між системами координат можливий лише за однакового датуму в обох систем. В іншому випадку необхідно трансформувати координати за допомогою трансформаційного поля.

На рисунку 2. 8 запропонована модель трансформаційного поля для перерахунку систем координат з різними параметрами.

Встановлено різниця між перетворенням координат та трансформацією. Якщо системи координат мають однаковий датум то доцільно використовувати перетворення, тобто звичане зміщення та поворотю В інших випадках потрібно трансформувати координати за допомогою трансформаційних параметрів, таких як спотворення.

2.4. Технологія робіт за допомогою GNSS-спостережень

RTK- мережа складається з постійнодіючих перманентних станцій, які об’єднують свої дані для створення RTK-корекцій, що передаються рухомим приймачем. Цей підхід називається "Мережева RTK". Для опису GNSS-мереж, що працюють у реальному часі, широко застосовується термін RTN (Real Time GNSS Network).

Рекомендується, щоб у мережі було щонайменше п’ять базових станцій, хоча кількість станцій не має верхньої межі. Типова відстань між станціями становить приблизно 70 км. Базові станції постійно передають супутникові дані на центральний пульт керування або сервер, де використовується спеціалізоване програмне забезпечення, наприклад GNSS

Spider. Основна мета такої мережі – зменшення впливу помилок, які залежать від відстані між базовими станціями та рухомим приймачем на точність визначення координат приймача всередині мережі.

Ровер підключається до сервера мережі базових станцій через пристрій зв'язку, наприклад, радіомодем, GSM-модем або Інтернет. Після отримання даних у реальному часі ровер визначає свої координати, використовуючи відповідний алгоритм. Вибір алгоритму та зменшення похибок, що залежать від відстані, значною мірою залежать від методу формування корекцій, який застосовується в RTK-мережі.

Як зазначалося раніше, на ринку представлені методи, такі як MAX, FKP та Virtual Reference Station, які по-різному мінімізують або моделюють похибки. Залежно від обраного методу, моделювання похибок може виконуватися як на сервері мережі, так і безпосередньо на ровері. Оскільки взаємодія між ровером і мережею варіюється залежно від методу, це суттєво впливає на ефективність, точність і надійність роботи ровера [12].

Переваги мережі базових станцій RTK:

- відсутня потреба у власній базовій станції.
- постійно висока точність визначення координат ровера.
- точність зберігається навіть на великих відстанях між базовою станцією та ровером.
- менша кількість базових станцій потрібна для охоплення території однакової площі порівняно з режимом одиночної базової станції.
- висока надійність і стабільність системи, оскільки інші станції мережі можуть замінити ту, яка вийшла з ладу.

Недоліком мережі базових станцій RTK є необхідність оплати за користування мережею та отримання корекцій.

Таким чином, можемо сказати, що на сьогоднішній день на території

країни можна користуватися лише одним GPS приймачем, а референсний приймач « брати в оренду».

Методи (режими) GNSS- знімання. Для визначення геодезичних координат за допомогою GNSS- знімання використовуються два режими: статичний і кінематичний.

У статичному режимі під час кожної сесії спостережень як вихідні пункти застосовують щонайменше два пункти державної геодезичної мережі (ДГМ) або перманентні станції GNSS- мережі. Якщо використовується лише один вихідний пункт або одна станція GNSS-мережі, обов'язковим є проведення контрольних спостережень на найближчих пунктах ДГМ. Усі приймачі під час спостережень залишаються нерухомими.

Спостереження на вихідних пунктах і пунктах, координати яких визначаються, виконуються одночасно для отримання сигналів від одних і тих самих супутників. Кожен GNSS- приймач автоматично проводить тестування, виявляє та фіксує всі доступні супутникові сигнали, реєструє дані, створює файл і зберігає всю інформацію про спостереження.

У статичному режимі тривалість GNSS- спостережень на кожній опознаці повинна становити щонайменше 30 хвилин за умови, що відстань до вихідних або базових пунктів ДГМ чи перманентних станцій GNSS-мережі складає 15- 25 км. Під час визначення координат у статичному режимі всі дані про спостереження на кожній опознаці записуються в прилад і заносяться до протоколу GNSS- спостережень [10, 38].

Кінематичне знімання в режимі RTK є високоефективним методом геодезичної GNSS-зйомки, що дозволяє отримувати точні координати з сантиметровою точністю безпосередньо під час виконання робіт. Цей метод особливо зручний у польових умовах і при необхідності швидкого проведення зйомки. Для його реалізації використовуються два приймачі:

один виконує роль базової станції, встановленої на обраному пункті, а інший використовується безпосередньо для зйомки.

Базова станція може бути оснащена UHF-радіомодемом або GSM-модулем, а також іншими зовнішніми пристроями для передачі поправок. Дані можуть надаватися зовнішнім сервісом, що передає їх роверу через модем (рис. 2. 10).

Кінематичне знімання в режимі RTK є високоефективним методом геодезичної GNSS-зйомки, що дозволяє отримувати точні координати з сантиметровою точністю безпосередньо під час виконання робіт.

Цей метод особливо зручний у польових умовах і при необхідності швидкого проведення зйомки. Для його реалізації використовуються два приймачі: один виконує роль базової станції, встановленої на обраному пункті, а інший використовується безпосередньо для зйомки.

Базова станція може бути оснащена UHF-радіомодемом або GSM-модулем, а також іншими зовнішніми пристроями для передачі поправок. Дані можуть надаватися зовнішнім сервісом, що передає їх роверу через модем (рис. 2. 11).

Кінематичне знімання в режимі RTK є високоефективним методом геодезичної GNSS-зйомки, що дозволяє отримувати точні координати з сантиметровою точністю безпосередньо під час виконання робіт. Цей метод особливо зручний у польових умовах і при необхідності швидкого проведення зйомки. Для його реалізації використовуються два приймачі: один виконує роль базової станції, встановленої на обраному пункті, а інший використовується безпосередньо для зйомки.

Базова станція може бути оснащена UHF-радіомодемом або GSM-модулем, а також іншими зовнішніми пристроями для передачі поправок. Дані можуть надаватися зовнішнім сервісом, що передає їх роверу через

модем (рис. 2. 12).

Під час зйомки з постобробкою польове обладнання використовується виключно для запису сирих GNSS- даних, які згодом обробляються програмним забезпеченням для отримання координат із високою точністю.

Для цього застосовуються дві системи: базова станція, яка встановлюється на вибраному пункті, і ровер, який використовується для зйомки. База може бути власною, у такому разі її потрібно правильно розташувати, або базою, що управляється сторонньою організацією.

Для забезпечення необхідного часу спостережень для постобробки дані від сторонніх баз можуть завантажуватися через Інтернет (наприклад, CORS або RGP). Дані з мобільного приймача можуть бути інтегровані з базовими даними (через OPUS), що дозволяє обчислювати координати з сантиметровою точністю (рис. 2.13).

Успішне GNSS- знімання вимагає належної ініціалізації системи. Підтримування ініціалізації протягом всього знімання потрібно завжди. Особливо потрібно бути обережним при кінематичних зйомках, щоб не "закрити видимість" GNSS антени ровера.

Отже практика розвинених країн і досвід України свідчать, що впровадження сучасних супутникових технологій для високоточного визначення координат є необхідною умовою для підвищення ефективності землекористування, збереження земель, організації територій та врегулювання земельних відносин. Це сприятиме переходу до нової моделі земельних відносин із сучасними формами господарювання, власності та використання земельних ділянок.

РОЗДІЛ 3
МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ GNSS ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ

3.1. Загальні відомості про об'єкт та район робіт

Район робіт припадає міста Одеси, яке є обласним центром Одеської області та містом обласного значення. Воно знаходиться на півдні України, на північно- західному узбережжі Чорного моря.

Планувально-функціональна структура міста є складною: райони міської капітальної забудови чергуються з територіями садибно- дачної забудови.

Районування території міста в 2002 році зазнала значних змін. До цього моменту на території міста налічувалося 8 адміністративних районів: Київський, Малиновський, Приморський, Жовтневий, Суворовський, Іллічівський, Ленінський та Центральний, але від 20.01. 03р. відповідно до статті 140 Конституції України, підпункту 41 пункту 1 статті 26, статті 60 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні» враховуючи думку населення щодо зміни адміністративного районування міста шляхом проведення опитування за місцем проживання, було прийнято рішення з 01 січня 2003 року зменшити кількість районів до чотирьох умовно рівних райони з кількістю населення кожного – 250 тис. чоловік. У результаті цієї реформи були створені наступні адміністративні райони:

- *Київський район.* Межі включають територію аеропорту « Центральний» та аеропорту «Шкільний», обмежену такими вулицями: Варненська (від буд. № 27 до № 7), вул. Героїв Крут, вул. Космонавтів (від №17 до №1), Адміральський проспект (від №37 до №1), Фонтанська дорога (від №8 до №56), пров. Ванний (від №2 до №20), узбережжя та межі міста до аеропорту « Центральний».

- *Малиновський район* (з 2023 року – Хаджибейський). Територія обмежена підприємствами на 6- му км Овідіопольської дороги, а також аеропортом «Центральний» разом із санітарно-захисною зоною. До складу входять: вул. Інглезі (обидві сторони разом із стоянками та ринками), парна сторона вул. Варненської (включаючи парк ім. Марка Твена), вул. Героїв Крут, вул. Космонавтів, Адміральський проспект, Фонтанська дорога, вул. Артилерійська, Люстдорфська дорога, 2- й Християнський цвинтар, вул. Водопровідна (від № 13-а), пров. Високий (парна сторона), вул. Мечникова (від №106 до №128), вул. Розумовська (непарна сторона), вул. Михайла Грушевського (непарна сторона), Київське шосе (нині – вул. Інглезі, непарна сторона) і межі міста до підприємств 6- го км Овідіопольської дороги.
- *Приморський район.* Його межі охоплюють територію Одеського морського порту, включаючи Практичну гавань, пров. Газовий, вул. Приморську (від №49 до №61), вул. Балківську (№ 2–4, 54; №1, 7–67), вул. Олексія Водатурського, залізничне полотно до вул. Михайла Грушевського, вул. Розумовську (від № 60 до № 2), вул. Мечникова (від № 51 до № 59), пров. Високий (від № 15 до № 19), вул. Водопровідну (від № 16 до № 28), Люстдорфську дорогу до вул. Артилерійської, вул. Середньофонтанську (№ 12-а), Фонтанську дорогу (від №4- а до № 103), пров. Ванний (від № 3 до № 7-а), а також узбережжя Чорного моря.
- *Суворовський район* (з 2023 року – Пересипський). До району входить частина території морського порту, включаючи Заводську гавань, пров. Газовий, вул. Приморську до вул. Балківської, вул. Балківську (буд. №3 і від № 6 до № 42-а), вул. Маловського (нині – вул. Отамана Головатого, парна сторона), межі міста та узбережжя Чорного моря.

Територія міста має лінійно- витягнуту форму, простягаючись із півдня на захід на 30-35 км. Економічний профіль міста є багатогранним. Найбільш

розвинені галузі промисловості, зовнішнього транспорту (зокрема морського), наукового обслуговування, курортного господарства, туризму та сільського господарства. Провідними напрямами є морський транспорт і промисловість, що сприяє наявності в місті широкої мережі навчальних закладів для підготовки кваліфікованих фахівців у різних сферах.

Одеса, як старовинне місто з багатою історією, що неодноразово переходила під управління різних держав, має значний потенціал завдяки своїм курортологічним, рекреаційним, історико-архітектурним пам'яткам, які охоплюють різні епохи. Це робить місто привабливим для туристів як з України, так і з-за кордону.

У структурі міської економіки важливу роль відіграють підприємства будівельного комплексу, проєктні організації, заклади позаміського значення та установи різного рівня управління.

На сьогоднішній день значна частина підприємств має приватну форму власності або статус товариства з обмеженою відповідальністю. Їх діяльність зосереджена на виробництві, будівництві та наданні широкого спектра послуг для населення.

В якості геодезичного полігону ми обрали Київський район. Він розташований у південно- західній частині міста і межує з Приморським та Хаджибейським районами. З півдня омивається Чорним морем, що формує його прибережний ландшафт і надає значення як курортній зоні (рис. 3. 1).

Клімат району як і в цілому міста відноситься до клімату степів, який характеризується перевагою літніх опадів, достатньо теплою зимою та жарким літом. Це обумовлюється впливом Чорного моря та специфічними циркуляційними умовами.

Режим вітру визначається особливостями циркуляційних процесів. Саме вони визначають кліматичні характеристики вітру. Штилі протягом

року спостерігаються відносно рідко, що пояснюється впливом моря, яке підтримує постійний контраст температури та градієнт тиску.

Досить розвинутою є бризова циркуляція. Дослідження властивостей бризів свідчить про те, що вони є фактором, який формує місцевий клімат прибережної зони. Бризова циркуляція в значній мірі обумовлює стан забруднення атмосферного повітря міста.

У межах міста природні, незмінені ґрунти зберігають типове залягання генетичних горизонтів і зустрічаються на територіях міських лісів, лісопарків, заповідників, а також на інших землях природно-заповідного фонду, нерозораних схилах балок і немеліорованих річкових заплавах. Їх повна класифікація визначається відповідно до національної класифікації.

Ґрунти в урбанізованих зонах належать до класу «Антропогенні ґрунти», який поділяється на дві групи: антропогенно трансформовані ґрунти та антропогенно створені (техногенні) ґрунти [17].

Рельєф району робіт формується переважно як рівнинний із наявністю полого-хвилястих форм, що обумовлено його розташуванням на Причорноморській низовині. Східна частина круто спускається до узбережжя Чорного моря. Приморські схили потребують заходів із запобігання ерозії та зсувам. Також присутні балки та яри, утворені водною ерозією.

3.2 Топографо-геодезична забезпеченність району робіт

Топографо-геодезична забезпеченість – це комплекс заходів, що спрямований на отримання, обробку, збереження та надання топографічних і геодезичних даних, необхідних для планування, проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації об'єктів різного призначення.

До матеріалів топографо- геодезичної забезпеченості можна віднести:

- крупно масштабні топографічні карти;

- каталоги координат пунктів, характер та висоту знаків, опис місць розташування центрів пунктів;
- генеральні, ситуаційні та детальні плани;
- аерофотознімки;
- кадастрові карти;
- геоінформаційні системи.

В нашому випадку матеріалами топографо-геодезичної забезпеченності району робіт виступають відомості комунального підприємства «Одеспроект» та Державного архіву Одеської області. Згідно з якими на території Київського району було закладено 121 геодезичний пункт. Відомості про них наведені нижче в таблиці 3.1.

Таблиця 3. 1. **Характеристика геодезичних пунктів на території міста Одеса**

	Кількість геодезичних пунктів	**з них**		
		4 клас полігонометрії	**1 розряд**	**2 розряд**
Теоретично закладених	112	24	42	46
Наявних на місцевості	72	20	31	41
Візульно придатних до роботи	65	10	23	32

Як можемо бачити з таблиці 3.1 візуально придатних пунктів для проведення топографо- геодезичних робіт в Київському районі міста всього 65. Це становить 65 відсотків до кількості теоретично закладених геодезичних пунктів.

Для забезпечення високої точності визначення координат пунктів місцевої полігонометричної мережі в системі координат 1963 року за допомогою GPS приймачів виникає необхідність в прив’язці до пунктів

державної геодезичної мережі вищого класу, а саме другого. Тому за необхідне було обстежити такі пункти в радіусі не більше 50 км від району робіт. В таблиці 3. 2 наведені пункти державної геодезичної мережі.

Таблиця 3. 2. **Пункти Державної геоедзичної мережі в районі робіт**

№	Індекс ВГД	Назва пункту	Клас пункту	Координати, м (х)	Координати, м (у)	Висота над рівнем моря, м	Клас нівелювання
1	L361343300	Нерубайське	3	5150 985,691	3386 910, 632	59. 721	IV
2	L361321500	Фонтанка	2	5151 127, 385	3402 357,867	51.582	IV
3	L361324100	Райзавод	3	5134 652,250	3395 715, 12	76. 3	Геод. нів.
4	L361335700	Парк Шевченка	3	5140 524, 951	3396 711,08	73.4	Геод. нів.
5	L361323900	Батарея	3	5125 817, 436	3391 462,01	47.02	GPS нів.
6	L361344000	Приміське	3	5134 498, 696	3386 729,75	49.85	GPS нів.

Як можемо бачити з таблиці 3. 2 .в районі робіт знаходяться 6 пунктів Державної геодезичної мережі. Така кількість пунктів дає змогу працювати GPS приймачем в режимі RTK з використанням референтної станції.

Схема розташування даних пунктів наведена на рисунку 3.2.

Пункти ДГМ утворюють свого роду багатокутник, покриваючи своєю площиною увесь Київський район м. Одеси, що в свою чергу надасть більш точніші поправки при визначенні координат за допомогою GPS приймача.

3.3 Створення трансформаційного поля. Практична складова по Одесі

При використанні GPS приймачів на території великих міст в якості створення вихідних закоординованих точок для провадження будь яких геодезичних робіт ускладнюється через вимоги місцевих комунальних підприємств.

На прикладі міста Одеси можемо привести приклад, що комунальне підприємтсво « Одеспроект» затверджує геодезію тільки на підставі

відредагованого планшету масштабу 1: 500, який в свою чергу побудований в місцевій системі координат міста Одеса, через те, що на території міста закладені пункти міської полігонометрії в МСК.

Для трансформування координат з МСК в СК63 Департамент містобудування та архітектури міста Одеси розробив трансформаційне поле. Виходячи з цього координати земельних ділянок в СК- 63, зареєстрованих в ДЗК визначені як похідні від МСК (1942 р.). В свою чергу координати точок визначені за допомогою GPS приймача в СК-63 є трансформованими від УСК- 2000.

Значення середньої квадратичної похибки для планового положення координат із обчислених станцій GNSS мережі не може перевищувати 0, 05 м. GNSS спостереження виконували в режимі реального часу з використанням коригуючої інформації RTK поправок. Розрахунок поправок виконували програмним комплексом GIStar, встановленому на сервері GNSS мережі SystemSolution.

Перед виконанням робіт безпосередньо на об'єкті встановлено референтний GPS приймач на пункті «Батарея».

До позиціювання введено координати пункту в системі 1963 року згідно відомостям банку геодезичних даних.

У свою чергу другим приймачем було визначенно координати пунктів місцевої полігонометрії. Синхронізація з базовим приймачем забезпечує диференціальну корекцію. Важливим фактором при проведені ініціалізації є наявність поблизу приймача металевих предметів, лінії електропередач, крони дерев тощо. Такі елементи досить суттєво впливають на точність визначення координат. Через це ми не мали змоги провести ініціалізацію на деяких пунктах.

Поетапно нами було встановелено координати 82 пункти місцевої

системи полігонометрії в системі координат 1963 року. Точність їх визначення в плані 0.02м, та 0. 03м в « висоті».

Обробку матеріалів польових вимірювань виконано за допомогою програмного забезпечення LendStar на персональному комп'ютері. Сформовано звіт про виконання GPS вимірювань в якому детально можна проаналізувати ініціалізацію по кожній з визначених точок. До звіту включені такі дані як:

- кількість супутників;
- параметричний опис геометричного положення супутників відносно антени приймача;
- період спостереження;
- планову та висотну похибки.

Отже, маючи 55 контрольних точок, координати яких відомі в двох системах (СК-63 та МСК), ми можемо визначити параметри переходу для побудови трансформаційного поля.

Існує велика кількість методів розрахунку параметрів трансформації, які можна поділити на теоретичні та емпіричні. Емпіричні методи розв’язують дану задачу, як класичним методом найменших квадратів, так і з використанням методу нелінійного програмування. Останній дає змогу вирішувати це завдання шляхом не тільки мінімізації суми квадратів похибок, але й мінімізації максимального відхилення. Проте в цих роботах не розглядається проблема відбракування грубих похибок.

В нашому випадку для перерахунку координат застосовується афінна модель, яка дозволяє врахувати масштабні відмінності, обертання та зміщення між двома системами координат.

$$X_{МСК} = a_1 X_{СК63} + a_2 Y_{СК63} + a_3 \qquad (3.\ 1)$$

$$Y_{МСК} = b_1 X_{СК63} + b_2 Y_{СК63} + b_3$$

a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3 – параметри трансформації, які необхідно визначити.

$X_{СК63}$, $Y_{СК63}$ – координати в системі СК- 63.

$X_{МСК}$, $Y_{МСК}$ – координати в місцевій системі координат (МСК).

Параметри моделі:

1. a_1, b_2 – враховують масштаб по осях X та Y.

2. a_2, b_1 – враховують обертання систем координат.

3. a_3, b_3 – враховують зсув (лінійні зміщення між системами)

Вибираємо мінімум три контрольні точки, для яких відомі координати в обох системах.

Для кожної контрольної точки маємо дві рівності:

$$X_{МСК,\,i} = a_1 X_{СК63,i} + a_2 Y_{СК63,i} + a_3 \qquad (3.\ 2)$$

$$Y_{МСК,\,i} = b_1 X_{СК63,\,i} + b_2 Y_{СК63,\,i} + b_3$$

Ці рівняння утворюють систему:

$$A * p = L \qquad (3.\ 3)$$

Де:

- A – матриця вхідних координат (розмір $n\times 3$):

$$A = \begin{bmatrix} X_{СК63,1} & Y_{СК63,1} & 1 \\ X_{СК63,2} & Y_{СК63,2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{СК63,n} & Y_{СК63,n} & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.\ 4)$$

-

- p – вектор параметрів:

$$p = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \qquad (3.\ 5)$$

-

- L – матриця координат у МСК:

$$L = \begin{pmatrix} X_{МСК,1} \\ X_{МСК,2} \\ \vdots \\ Y_{МСК,1} \\ Y_{МСК,2} \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (3.\ 6)$$

Система розв'язується методом найменших квадратів (МНК):

$$p = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (3.\ 7)$$

Для розрахунку точності трансформаційного поля, необхідно узяти еталонні координати контрольних точок та координати, визначені за допомогою афінного перетворення та провести деякі розрахунки за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_{\text{обчисл}} - Y_{\text{контрольн}})^2}{n}} \quad (3.\ 8)$$

В таблиці 3. 3 наведені координати контрольних точок в СК-63, отриманих за допомогою GPS приймача.

Таблиця 3.3. **Відомість координат контрольних точок в СК- 63**

Номер точки	**Координата X**	**Координата Y**
1	2	3
1	5133558. 3908	3393686. 2389
2	5133240.9540	3394610.4454
3	5133772. 8335	3395007. 6244
4	5133730.0568	3394712.2868
5	5133750. 6842	3394855. 1364
6	5133559.4542	3393891.6084
7	5133573. 7225	3393892. 3462

8	5133701.2855	3394521.7707
9	5133240. 9540	3394610. 4454
10	5133730.0568	3394712.2868
11	5133750. 6842	3394855. 1364
12	5133772.8335	3395007.6244
13	5133815. 0830	3395298. 3558
14	5133829.0455	3395510.7823
15	5133564. 5726	3393673. 4636
16	5133556.1338	3393675.3319
17	5133650. 7756	3394312. 8007
18	5133564.5726	3393673.4636
19	5133558. 3908	3393686. 2389
20	5133551.2697	3393651.8521
21	5133623. 9492	3394104. 0540
22	5133542.0114	3394570.6136
23	5131959. 4236	3393769. 7211
24	5131994.0049	3393993.0962
25	5132033. 5804	3394223. 0119
26	5131796.0878	3394968.8664
27	5132081. 5474	3394488. 1187
28	5132111.7491	3394675.1329
29	5131213. 2573	3394383. 8008
30	5131214.6891	3394199.3208
31	5131108. 8794	3393867. 7982
32	5131103.4886	3393702.8814
33	5132083. 1300	3394978. 1999
34	5132813.6325	3394831.5056
35	5132155. 6363	3395103. 8405
36	5132545.3343	3394794.1713
37	5132818. 2225	3394722. 7865
38	5133829.0455	3395510.7823
39	5133635. 2550	3396298. 0828
40	5133650.7756	3394312.8007
41	5133623. 9492	3394104. 0540
42	5133542.0114	3394570.6136
43	5131959. 4236	3393769. 7211
44	5131994.0049	3393993.0962

45	5135060. 2644	3397131. 2286
46	5134954.8534	3397074.4854
47	5134258. 5611	3396483. 6730
48	5134258.5611	3396483.6730
49	5133819. 7059	3396521. 9163
50	5133741.6353	3396650.9140
51	5134577. 6952	3396501. 2402
52	5134790.0800	3395429.4339
53	5129398. 7384	3395075. 0110
54	5129414.5379	3394793.6013
55	5129313. 7201	3394837. 3366

На рисунку 3. 3 відображена блок-схема для середовища Pyton. Використання мови програмування, значною мірою полегшує та автоматизує обчислення.

Рисунок 3. 3

Нижче приведені приклади розрахунків трьох вихідних точок:

Координати в СК-63

$X_1 = 5133558.3908$, $Y_1 = 3393686.2389$

$X_2 = 5133240.9540$, $Y_2 = 3394610.4454$

$X_3 = 5133772.8335$, $Y_3 = 3395007.6244$

Координати в МСК:

$X`_1 = -7398.15$, $Y`_1 = -1417.79$

$X`_2 = -7730.02$, $Y`_2 = -498.664$

$X`_1 = -7204.41$, $Y`_1 = -93.211$

Матриця та вектор правої частини

$$A = \begin{bmatrix} 5133558.3908 & 3393686.2389 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5133558.3908 & 3393686.2389 & 1 \\ 5133240.9540 & 3394610.4454 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5133240.9540 & 3394610.4454 & 1 \\ 5133772.8335 & 3395007.6244 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5133772.8335 & 3395007.6244 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -7398.15 \\ -1417.79 \\ -7730.02 \\ -498.664 \\ -7204.41 \\ -93.211 \end{bmatrix}$$

Ми отримали наступні значення показників для трансформаційного поля:

- масштабування та обертання:

a = 0.999826922a = 0.999826922a = 0.999826922,

b = −0.0156545417b = -0.0156545417b = −0. 0156545417,

c = 0.0155133354c = 0.0155133354c = 0.0155133354,

d = 0.999865994d = 0.999865994d = 0. 999865994.

- зсуви:

e = −5086941.43e = -5086941.43e = −5086941. 43,

f = − 3474287.87f = - 3474287.87f = − 3474287.87.

Використовуючи їх та блок- схему алгоритму з рисунку було проведено ряд обчислень. В таблицю 3.4 внесені трансформовані координати в МСК контрольних точок та еталонні значення цих точок, згідно з відомостями КП « Одеспроект».

Таблиця 3.4. **Відомість обчислених за допомогою трансформаційного поля координат контрольних точок в МСК (1942)**

Номер точки	Перераховані координати		Координати згідно карток пунктів		Відхилення	
	Координата X	Координата Y	Координата X	Координата Y	X	Y
1	2	3	4	5	6	7
1	-7398. 18	-1417. 81	-7398. 15	-1417. 79	-0. 028	-0. 02
2	- 7730	-498. 632	-7730. 02	-498. 664	0. 016	0. 032
3	- 7204.43	- 93.255	- 7204.41	- 93.211	- 0.021	- 0.044
4	-7242. 54	-389. 181	-7242. 57	-389. 18	0. 032	-0. 001
5	- 7224.18	- 246.047	- 7224.17	- 246.027	- 0.003	- 0.02
6	-7400. 33	-1212. 4	-7400. 3	-1212. 43	-0. 023	0. 032
7	- 7386.03	- 1211.51	- 7386.04	- 1211.47	0.011	- 0.044
8	-7268. 37	-580. 124	-7268. 35	-580. 123	-0. 016	-0. 001
9	- 7729.98	- 498.686	- 7730.01	- 498.666	0.027	- 0.02
10	-7242. 57	-389. 148	-7242. 57	-389. 18	0. 002	0. 032
11	- 7224.2	- 246.071	- 7224.17	- 246.027	- 0.028	- 0.044
12	-7204. 4	-93. 231	-7204. 42	-93. 209	0. 016	-0. 022
13	- 7166.74	198.178	- 7166.72	198.146	- 0.021	0.032
14	-7156. 11	410. 721	-7156. 09	410. 767	-0. 021	-0. 046
15	- 7391.77	- 1430.43	- 7391.77	- 1430.47	- 0.003	0.042
16	-7400. 26	-1428. 75	-7400. 24	-1428. 73	-0. 023	-0. 022
17	- 7315.57	- 789.828	- 7315.58	- 789.86	0.011	0.032
18	-7391. 79	-1430. 51	-7391. 77	-1430. 46	-0. 016	-0. 05
19	- 7398.12	- 1417.79	- 7398.15	- 1417.79	0.027	0.001
20	-7404. 75	-1452. 31	-7404. 74	-1452. 28	-0. 014	-0. 022
21	- 7339.11	- 998.969	- 7339.14	- 999.001	0.027	0.032
22	-7428. 39	-533. 825	-7428. 37	-533. 779	-0. 016	-0. 046
23	- 8998.2	- 1359.37	- 8998.23	- 1359.35	0.027	- 0.02

24	-8967. 17	-1135. 42	-8967. 15	-1135. 45	-0. 015	0. 032
25	- 8931.15	- 904.993	- 8931.17	- 904.954	0.027	- 0.039
26	-9180. 33	-162. 866	-9180. 32	-162. 901	-0. 016	0. 035

Продовження таблиці 3. 4

1	2	3	4	5	6	7
27	-8887. 33	-639. 144	-8887. 36	-639. 124	0. 027	-0. 02
28	- 8860.11	- 451.622	- 8860.1	- 451.654	- 0.016	0.032
29	-9753. 89	-757. 063	-9753. 91	-757. 019	0. 027	-0. 044
30	- 9749.61	- 941.453	- 9749.6	- 941.452	- 0.016	- 0.001
31	-9850. 17	-1274. 61	-9850. 2	-1274. 6	0. 027	-0. 016
32	- 9853.03	- 1439.54	- 9853.02	- 1439.57	- 0.016	0.032
33	-8893. 42	-149. 122	-8893. 45	-149. 078	0. 027	-0. 044
34	- 8160.76	- 284.341	- 8160.75	- 284.319	- 0.012	- 0.022
35	-8822. 89	-22. 289	-8822. 92	-22. 321	0. 027	0. 032
36	- 8428.44	- 325.894	- 8428.43	- 325.848	- 0.013	- 0.046
37	-8154. 42	-392. 927	-8154. 45	-392. 955	0. 027	0. 028
38	- 7156.1	410.745	- 7156.09	410.767	- 0.016	- 0.022
39	-7362. 15	1194. 968	-7362. 17	1194. 936	0. 029	0. 032
40	- 7315.6	- 789.904	- 7315.59	- 789.858	- 0.016	- 0.046
41	-7339. 11	-999	- 7339.14	- 999.003	0.027	0.003
42	-7428. 39	-533. 801	-7428. 37	-533. 779	-0. 016	-0. 022
43	- 8998.2	- 1359.31	- 8998.23	- 1359.35	0.029	0.032
44	-8967. 17	-1135. 5	-8967. 15	-1135. 45	-0. 018	-0. 046
45	- 5950.35	2050.263	- 5950.38	2050.283	0.028	- 0.02
46	-6054. 91	1991. 931	-6054. 89	1991. 899	-0. 022	0. 032
47	- 6741.84	1390.215	- 6741.85	1390.252	0.007	- 0.037
48	-6741. 87	1390. 235	-6741. 85	1390. 261	-0. 017	-0. 026
49	- 7181.21	1421.609	- 7181.25	1421.629	0.035	- 0.02
50	-7261. 35	1549. 428	-7261. 33	1549. 396	-0. 014	0. 032
51	- 6423	1412. 775	-6423. 03	1412. 819	0. 026	-0. 044
52	- 6193.92	344.469	- 6193.9	344.473	- 0.017	- 0.004
53	-11579	- 94.313	- 11579	-94. 293	0. 027	-0. 02
54	- 11558.8	- 375.387	- 11558.8	- 375.419	- 0.016	0.032
55	-11660. 3	-333. 313	-11660. 3	-333. 271	0. 027	-0. 042

Таким чином, ми отримали дані для трансформаційного поля, та маємо змогу переводити будь- яку точку в межах Київського району з системи координат 1963 року до Місцевої системи координат (похідної від СК- 1942).

3.4 Практичне застосування GPS на території міста

Дане трансформаційне поле було практично запроваджене на виробництві, під час проведення топографо-геодезичних вишукувань для відведення земельної ділянки в Київському районі міста Одеси по вул. Сергія Шолухіна, 59.

Теодолітний хід для складання топографічного плану М 1:500 має вихідні точки, координати яких були визначені GPS приймачем та згодом переведені в місцеву систему координат за допомогою трансформаційного поля.

В таблиці 3.5 наведені координати вихідних точок, отримані GPS приймачем та трансформовані до місцевої системи координат.

Таблиця 3.5. **Координати вихідних точок, отримані GPS приймачем**

Назва точки	**СК-63**		**МСК**	
	X	**Y**	**X**	**Y**
Т1	5135060.2644	3397131.2286	- 7332.100	170.080
Т2	5134954. 8534	3397074. 4854	-7342. 180	104. 150

На рисунку 3. 4 відображена схема даного ходу.

Точки Т1 та Т2 є знімальними точками, координати яких визначені за допомогою GPS приймача. Даний хід замкнений на пункт місцевої полігонометрії 2 розряду (РР8653) для порівняння координат згідно каталогу від КП « Одеспроект» (рис. 3.5).

В таблиці 3.6 відображена відомість врівноваження теодолітного ходу.

Таблиця 3.6. **Відомість врівноваження теодолітного ходу**

Назви пункті в	Вимірені кути	Дирекційні кути	Виміре ні лінії	Прирости координат		Координати пунктів	
				X	Y	X	Y
T1		261° 18'26.6"					
T2	267° 13'40.1"					- 7342.1800	104.1500
		348°32'06. 7"	144. 39	141. 509 0	-28. 6998		
T3	96°53'51. 0"					-7200. 6710	75. 4502
		265° 25'57.7"	151.95	- 12.0998	- 151.4675		
T4	180° 43'41.5"					- 7212.7708	- 76.0173
		266°09'39. 1"	170. 41	-11. 4098	- 170. 0276		
PP8653	176°31'45. 9 "					-7224. 1720	-246. 0320
		262° 41'25.1"	- 175.094 8				

Як можемо бачити з таблиці 3. 6**,** обчислені координати замикаючої точки наступні - 7224,172м; - 246,032м. Маючи еталонні координати даної точки розраховуємо відхилення:

Вісь X = -7224. 178-(-7224. 172) = 0. 006 м.

Вісь Y = - 246.039-(- 246.032) = 0.007 м.

Таким чином, можемо прийти до висновку, що навіть з урахуванням похибки при прокладанні ходу, ми маємо відхилення в 13 мм.

ВИСНОВОК

Виконана кваліфікаційна робота є важливим внеском у розвиток сучасних методів проведення топографо-геодезичних робіт у міських умовах із застосуванням GNSS технологій. Основною метою дослідження було створення трансформаційного поля для перерахунку координат із системи координат СК-63 до місцевої системи координат на прикладі міста Одеса. У ході роботи були досягнуті всі поставлені завдання, що дозволяє зробити кілька ключових висновків.

Проаналізувавши нормативно- правове забезпечення та спеціальну літературу за темою роботи було встановлено, що процес запровадження системи координат УСК- 2000 сприяло ефективному використанню GNSS-технологій у топографо- геодезичному виробництві, які мають значні переваги над традиційними геодезичними методами. Система УСК- 2000 була створена шляхом сумісного зрівнювання пунктів Української перманентної мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем і Державної геодезичної мережі 1- 4 класів, а також закріплена пунктами цієї мережі.

Проте, навіть сьогодні у геодезичних роботах, зокрема для потреб земельного кадастру, використовуються різні системи координат, такі як СК-42/СК- 63, УСК- 2000 та місцеві системи. Виявлені розбіжності між даними Публічної кадастрової карти України та інформацією про місцезнаходження і площі земельних ділянок, зазначеними у кадастровій документації, свідчать про недосконаліть механізму відображення геодезичних даних. У зв’язку з цим необхідно проаналізувати процеси їх формування та обробки.

Звичайно, використання єдиної системи геодезичних координат, як передбачено законодавством, сприятиме уникненню багатьох помилок,

суперечностей та зловживань у сфері земельних відносин. Хоча в Україні використовуються різні системи координат, офіційно затвердженими залишаються УСК-2000 і міські системи координат.

Детальний аналіз сучасного стану використання GNSS технологій показав, що ці інструменти є невід'ємною частиною геодезичних досліджень у XXI столітті. GNSS приймачі забезпечують високу точність, мобільність і швидкість проведення вимірювань, що особливо важливо в умовах щільної міської забудови та складної інфраструктури.

Сучасна методика виконання геодезичних вимірювань із використанням GNSS технологій дозволила досягти високої точності результатів. Це було досягнуто завдяки використанню сучасного обладнання, точних математичних методів і відповідного програмного забезпечення. Застосування GNSS дозволило мінімізувати помилки, які могли виникнути при використанні традиційних методів геодезичних вимірювань.

Головним результатом проведеної роботи є створенне трансформаційне поле для Київського району, міста Одеси. Виконані розрахунки і побудоване поле дали можливість ефективно перераховувати координати між системою СК- 63 і місцевою системою координат. Це має велике практичне значення для управління містобудівною діяльністю, планування інфраструктури та створення геоінформаційних систем міста.

Оцінка точності та ефективності використання GNSS технологій на конкретних прикладах роботи на території міста показала, що ця технологія не лише відповідає сучасним вимогам, але й значно перевершує традиційні підходи за низкою параметрів. Висока точність, економія часу та ресурсів, а також можливість роботи в різних умовах роблять GNSS технології перспективними для подальшого розвитку геодезії.

Результати роботи мають практичне значення для спеціалістів у сфері

геодезії, картографії та управління міською інфраструктурою. Створене трансформаційне поле може бути використане як основа для розробки подібних проєктів в інших населених пунктах, що потребують адаптації координатних систем до місцевих умов.

У перспективі впровадження GNSS технологій і розробленої методики вимірювань може сприяти подальшому розвитку геоінформаційних систем, які забезпечать ефективне управління територіями, покращення інфраструктури та інтеграцію даних у загальнонаціональні геодезичні бази.

Проведена робота підтверджує актуальність і ефективність використання GNSS технологій у топографо-геодезичних роботах і демонструє їх потенціал для вирішення завдань у міських умовах. Отримані результати відкривають нові перспективи для подальших досліджень і практичного застосування сучасних геодезичних технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. SystemNET. URL: https://systemnet.com.ua/ua/.
2. Артамонов Б.Б., Штангрет В.П. Топографія з основами картографії: навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2006. 248 с.
3. Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика.- Пер. з англ. під ред. Я.С. Яцківа.- Київ: Наук. думка, 1995.- 380 с.
4. Глобальні навігаційні системи URL: https://defenceua.com/army_and_war/globalni_navigatsijni_sistemi_rol_v_suchasnih_vijskovih_konfliktah-2538.html (дата звернення 12.11.2024)
5. Деякі питання застосування геодезичної референцтної системи координат: Постанова КМУ від 22.09.2004 р. №1259. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF Text (дата звернення 12.11.2024)
6. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність”: Постанова КМУ від 07.08.2013 р. №646. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF Text (дата звернення 12.11.2024)
7. Земельний кодекс України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14їText. (дата звернення 12.11.2024)
8. Інструкція з виконання топографо-геодезичного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500: Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 56 від 09.04.1998 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98їText. (дата звернення 12.11.2024)
9. Інструкція про встановлення, відновлення меж земельних ділянок в натурі або на місцевості та їх закріплення межовими знаками: Наказ

Державного комітету України із земельних ресурсів № 376 від18.05.2010 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0391-10їText. (дата звернення 12.11.2024)

10. Інформаційний сайт System.net URL: https://systemnet.com.ua/paketi-pidpisok-na-poslugi/ (дата звернення 12.11.2024)

11. Керасименко К. В. Аналіз способів подавлення сигналів супутникових радіонавігаційних систем навмисними перешкодами. *Системи озброєння і військова техніка.* Львів, 2015. №44. С. 61-63.

12. Карпінський Ю.О. Афінне трансформування координат методом скінченних елементів. *Вісник геодезії та картографії*. Полтава, 2002. No4 (27). С. 23-27.

13. Карпінський Ю. Кучер О. Заєць І. Обгрунтування методу та побудова трансформаційного поля перетвоерння координат між системами СК-42 та УСК-2000. *Геодезія, картографіч і аерофотознімання.* 2013. №78. С. 169-172.

14. Кузишин Д.Я. Технологія виконання GNSS-спосетрежень з прив'язкою до пунктів Деравжної геодезичної мережі : квал. робота. Львів. 2021. 43 с.

15. Кінь Д.О. Куриляк І.С. Ротачов Н.Ю. Методика трансформування координат з архівної системи (Вараш-42) у діючу (МСК-56) за допомогою Qgis. *Геодезія та землевпорядкування.* 2024. №86. С. 397-410.

16. Лиско Б.О.. Використання сучасних технологій для підвищення ефективності розпланувальних робіт : дис. … канд. тех. наук : 05.24.01/ Івановфранківський національний технічний університет нафти і газу. Львів. 2020. 199 с.

17. Михайлюк В. І. Грунти міста Одеси : монографія. Одеса : ОДАУ, 2020. 370 с.

18. Налаштування GNSS-приймача South S82t для роботи в мережі System.NET в режимі RTK. URL: https://systemnet.com.ua/nalashtuvannya-gnss-prijmacha-south/. (дата звернення 12.11.2024)

19. Основи охорони довкілля в Україні. URL: https://www.bsmu.edu.ua/blog/4413-osnovi-ohoroni-dovkillya-v-ukraini/. (дата звернення 12.11.2024)

20. Постельняк А.А. Методи трансформування координат в різних геоінформаційних системах. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №47. С. 496-505.

21. Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84: Поставнова КМУ від 22.02.1999 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2359-99-%D0%BF Text (дата звернення 12.11.2024)

22. Про затвердження Порядку обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі: Постанова Кабінету Міністрів України від 08.11.2017р No8636. URL: http: //zakon. rada. gov. ua. (дата звернення 12.11.2024)

23. Про затвердження Порядку щодо використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при виконанні робіт із землеустрою: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 509 від 02.12.2016 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16їText. (дата звернення 12.11.2024)

24. Про заходи з розвитку та використання вітчизняних систем супутникової навігації в інтересах безпеки і оборони держави: Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23.02.2022 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0024525-22їn2 (дата звернення 12.11.2024)

25. Про землеустрій: Закон України № 858-IV від 22.05.2003 р. URL:

https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15їText. (дата звернення 12.11.2024)

26. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 05.06.2014р. No1314-VII. Дата оновлення: 01.05.2019. URL: https://zakon.rada.gov.ua. (дата звернення 12.11.2024)

27. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України № 3038-IV від 17.02.2011 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17 Text.

28. Про топографо-геодезичну, картографічну діяльність: Закон України № 353-XIV від 23.12.1998 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14їText. (дата звернення 12.11.2024)

29. Рижок З.Р. Застосування систем координат у структурі геопросторових даних. Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: *матеріали XXII Мінар. наук.-практ. форум*. (м. Львів, 5-7 жовтня 2021 р.). Львів, 2021. С. 22-25.

30. Савчук С.Г. Основи формування геодезичної референцної системи України : дис... д-ра техн. наук: 05.24.01. 2015. № 1 (48). С. 4-6.

31. Стаття з даними геодезичної мережі перманентних пунктів Європи. (в С.Г.Савчука)

32. Супутникова навігація : основні принципи роботи. Проблеми та методи їх вирішення URL: https://xn--j1ahb.xn--j1amh/articles/GPS_GLONASS_AGPS_RTK/ (дата звернення 12.11.2024)

33. Тельков В.Г. Геодезія : навч. посіб. Дніпро. НТУ Дніпровська політехніка : Дніпро, 2019. 317 с.

34. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 3 серпня 2001 р., No 295.- 232 с.

35. Холодюк О. В. Глобальні навігаційні супутникові системи та їх роль у технологіях точного землеробства. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. –

Вінниця, 2020. № 2 (109). С. 71–87.

36. Цюпак І.М., Бойчук Я.Д., Джаман В.С. Визначення параметрів зв'язку між Державною та місцевою системами координат за допомогою GPS вимірів. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технологій.* Львів, 2006.- С. 36 – 39.

37. Цюпак І.М., Дульцев А.Т., Третяк К.Р., Савчук С.Г. Точність перетворення просторових координат пунктів. *Сучасні досягнення геодезії, геодинаміки та геодезичного виробництва*. Львів, 2000. С. 45-50.

38. Черняга П. Г., Бялик І. М., Янчук Р. М. Супутникова геодезія: навч. посібник (2-ге вид.). Рівне: НУВГП, 2014. 222 с.

39. Шевченко Т.Г. Геодезичні прилади : Видавництво Нац. ун-т « Львівська політехніка». 2006. - 459 с.

40. Шульц Р.В. Тарнопольський Є. А. Визначення простових параметрів переходу між міською та державною системами координат. *Містобудування та територіальне планування*. 2010. №37. С. 599-606.

41. Шумаков Ф. Т. Конспект лекцій з дисципліни «Супутникова геодезія» (для студентів 4 курсу денної форми навчання, спеціальності 7.070900 «Геоінформаційні системи та технології»). Харків, 2009. 88 с.

42. Що таке VRS і як це працює? URL: https://ipit.ooo/pl/what-is-vrs-and-how-does-it-work. (дата звернення 12.11.2024)