

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

Е. С. Штерндок, М. А. Кухар, М. О. Пілічева

ДОСЛІДНИЦЬКІ МЕТОДИ ТА СУЧАСНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Штерндок Е. С. Дослідницькі методи та сучасні технології геодезії : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / Е. С. Штерндок, М. А. Кухар, М. О. Пілічева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 102 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. Е. С. Штерндок,
канд. техн. наук, доц. М. А. Кухар,
канд. техн. наук, доц. М. О. Пілічева

Рецензент

С. Г. Нестеренко, кандидат технічних наук, доцент, 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

© Е. С. Штерндок, М. А. Кухар,
М. О. Пілічева, 2025

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Змістовий модуль 1 Інноваційні технології в геодезії.....	6
1 Напрями розвитку та основні форми наукових досліджень в геодезії.....	6
1.1 Суспільна роль та місце геодезії в сучасному світі.....	6
1.2 Новітні сфери застосування геодезичних вимірювань.....	9
1.3 Геодезичні методи та їх застосування в інших суміжних галузях.....	11
1.4 Огляд ринку геодезичного обладнання та програмного забезпечення...	12
1.5 Напрями розвитку технологій отримання геопросторових даних.....	15
1.6 Наукові дослідження в геодезії.....	19
1.7 Класифікація інженерно-геодезичних вишукувань, методи та технології, які використовуються при геодезичних роботах.....	21
2 Геопросторові дані в геодезії, проблемні питання та особливості цифровізації, якість даних.....	29
2.1 Перехід до цифрових моделей місцевості та об'єктів.....	29
2.2 Ключові законодавчі акти, стандарти та рекомендації щодо впровадження цифрових технологій в геодезії.....	30
2.3 Геопросторові дані.....	34
2.4 Проблематика цифрових карт та масштабів.....	37
2.5 Доступність та якість даних.....	39
2.6 Міжнародні стандарти, національні нормативи та правові аспекти, що стосуються проведення геодезичних робіт, обробки даних та забезпечення якості результатів.....	40
2.7 Національна інфраструктура геопросторових даних.....	44
3 Інноваційні методи та засоби збору геопросторових даних, огляд передових розробок.....	47
3.1 Інноваційні розробки та технології в геодезії і картографії.....	47
3.2 Принципи та методи інформаційного моделювання будівель (BIM).....	54
4 Сучасні методи та технології проведення інженерно-геодезичних вишукувань	55
4.1 Державна геодезична мережа, сучасні методи побудови та моніторингу пунктів ДГМ.....	55
4.2 Мережа референтних базових станцій.....	59

4.3 Побудова мереж спеціального призначення та знімальних мереж.....	61
4.4 Особливості GNSS вимірювань в умовах воєнного стану.....	63
4.5 Сучасні аспекти використання GNSS технологій при проведенні інженерно-геодезичних вишукувань.....	64
4.6 Методи топографічного знімання.....	66
4.7 Топографічна зйомка підземних комунікацій.....	69
5 Комбіновані технології проведення геодезичного моніторингу будівель та споруд.....	71
5.1 Застосування БПЛА, тахеометрів, лазерних скануючих систем.....	71
5.2 Методи геодезичного моніторингу будівель і споруд.....	75
5.3 Приклад програми геодезичного моніторингу.....	78
6 Проблемні аспекти створення цифрових карт та планів, масштаби та точність відображення геоданих.....	80
6.1 Види геопросторових даних та поширені формати.....	80
6.2 Точність геопросторової інформації.....	83
6.3 Топологія.....	86
7 Збереження, оформлення, реєстрація та доступ до електронних топографо-геодезичних матеріалів.....	87
7.1 Технології зберігання даних та принципи їх застосування.....	87
7.2 Принципи забезпечення надійності, доступності та безпеки даних.....	89
7.3 Державний картографо-геодезичний фонд України.....	89
7.4 Валідація та перевірка матеріалів топографо-геодезичних та картографічних робіт.....	92
Список використаних джерел.....	93

ВСТУП

Конспект лекцій «Дослідницькі методи та сучасні технології геодезії» розроблений для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій. Метою цього навчального матеріалу є ознайомлення здобувачів з основними методами та інструментами, що використовуються в геодезії для проведення наукових досліджень та практичних робіт.

У конспекті лекцій підкреслюється важливість розуміння основних засобів та методів застосування інструментів дослідницької діяльності в геодезії. Здобувачі повинні ознайомитися з напрямками розвитку та основними видами наукових досліджень у геодезії, а також з проблемними питаннями та особливостями цифровізації геопросторових даних. Особлива увага приділяється інноваційним методам та засобам збору геопросторових даних, сучасним методам та технологіям проведення інженерно-геодезичних вишукувань, комбінованим технологіям проведення геодезичного моніторингу будівель та споруд, а також проблемним аспектам створення цифрових карт та планів.

Метою викладання навчальної дисципліни «Дослідницькі методи та сучасні технології геодезії» є формування у майбутніх науковців вищої кваліфікації знань та практичних навичок щодо сучасних методів та технологій збору геопросторових даних, їх обробки, трансформації та застосування для виконання прикладних задач та наукових досліджень у сфері геодезії та землеустрою. Завданнями вивчення дисципліни є оволодіння сучасними технологіями та практичними навичками їх застосування в геодезії для побудови, аналізу та дослідження просторових моделей об'єктів місцевості.

Конспект лекцій рекомендовано для студентів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ

1 НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТА ОСНОВНІ ФОРМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГЕОДЕЗІЇ

1.1 Суспільна роль та місце геодезії в сучасному світі

Геодезія як наука займає важливе місце в сучасному світі, її значення важко переоцінити. Вона надає точні дані про форму та розміри Землі, координати об'єктів на її поверхні, що необхідно для різних сфер діяльності, включаючи будівництво, інженерію, картографію, навігацію, а також для вирішення екологічних та природоохоронних задач.

Основним нормативно-правовим документом, який регламентує проведення геодезичних робіт є Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» [1]. Відповідно Закону об'єктами проведення геодезичних робіт, тобто топографо-геодезичних та картографічних робіт є:

- територія України, в тому числі водні об'єкти, міста та інші населені пункти, системи промислових, гідротехнічних та інших інженерних споруд і комунікацій, континентальний шельф і виключна (морська) економічна зона України;
- територія земної кулі, включаючи Антарктиду, Світовий океан, космічний простір, небесні тіла.

Топографо-геодезичні та картографічні роботи поділяються на загальнодержавного та спеціального призначення.

До загальнодержавних топографо-геодезичних і картографічних робіт належать [1]:

- вивчення і визначення параметрів фігури Землі та гравітаційного поля для цієї мети;
- створення та оновлення державних топографічних карт і планів у графічній, цифровій, фотографічній та інших формах, точність і зміст яких забезпечують вирішення загальнодержавних, оборонних, науково-дослідних та інших завдань, видання цих карт і планів;

- створення, розвиток і підтримка в робочому стані державної геодезичної і висотної геодезичної мереж, у тому числі гравіметричної фундаментальної і першого класу, щільність і точність яких забезпечують створення державних топографічних карт і планів, вирішення загальнодержавних, оборонних, науково-дослідних та інших завдань;

- створення та оновлення кадастрових карт (планів), надання їх, а також необхідної топографо-геодезичної інформації користувачам для ведення Державної реєстраційної системи землі та іншого нерухомого майна, ведення банку даних;

- визначення сталих географічних об'єктів на території України;

- дистанційне зондування Землі повітряними та наземними засобами, а також використання даних дистанційного зондування Землі із космосу з метою використання в топографо-геодезичній і картографічній діяльності, геодинамічні дослідження на основі результатів геодезичних вимірювань;

- формування і ведення державного та регіональних картографо-геодезичних фондів;

- створення і розвиток національної інфраструктури геопросторових даних;

- створення геоінформаційних систем;

- проектування, складання і видання загальногеографічних, політико-адміністративних, науково-довідкових та інших тематичних карт і атласів міжвідомчого значення, навчальних картографічних посібників;

- топографо-геодезичне, картографічне та гідрографічне забезпечення делімітації, демаркації і перевірки державного кордону України;

- картографування, включаючи створення топографічних карт Антарктиди, континентального шельфу, Світового океану і зарубіжних країн;

- здійснення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері геодезії, картографії, дистанційного зондування Землі та інших планет, метрологічне та нормативне забезпечення топографо-геодезичних і картографічних робіт;

- організація серійного виробництва геодезичної і картографічної техніки.

До топографо-геодезичних і картографічних робіт спеціального призначення належать:

– роботи із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення кадастрової діяльності – створення, розвиток і підтримка в робочому стані геодезичних мереж спеціального призначення, створення і оновлення картографічної основи державного кадастру, створення місцевих систем координат, порядок ведення яких встановлюється спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин;

– роботи із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення містобудівної діяльності - створення геодезичних та картографічних матеріалів і даних для планування території, проектування, будівництва і реконструкції об'єктів капітального будівництва, створення інженерної та транспортної інфраструктури, а також проведення необхідних для цього інженерних вишукувань;

– роботи із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення містобудівної діяльності не потребують отримання замовниками та/або виконавцями таких робіт дозволу органів виконавчої влади та/або місцевого самоврядування на їх проведення;

– матеріали, складені за результатами виконання робіт із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення містобудівної діяльності, не підлягають погодженню органами державної влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами та організаціями, затверджуються замовниками таких робіт та включаються до складу геопросторових даних містобудівного кадастру, один примірник результатів таких робіт підлягає передачі до Державного картографо-геодезичного фонду України в обов'язковому порядку;

– створення географічних інформаційних систем спеціального (тематичного) призначення;

– створення тематичних карт, планів і атласів спеціального призначення в графічній, цифровій та іншій формах, видання таких карт, планів і атласів;

– геодезичні, топографічні, аерозйомочні та інші спеціальні роботи під час інших вишукувань і спеціальних робіт;

– виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у зазначених вище напрямках.

1.2 Новітні сфери застосування геодезичних вимірювань

Сучасні геодезичні вимірювання застосовуються у різних новітніх сферах, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА), мобільне картографування, 3D-сканування, лазерне сканування та супутникові системи. Наприклад, технології БПЛА використовуються для швидкого і точного знімання територій, що дозволяє зменшити витрати на традиційні методи знімання. Мобільне картографування дозволяє здійснювати зйомку в умовах, коли використання стаціонарного обладнання неможливе або неефективне.

3D-сканування та лазерне сканування дозволяють створювати високоточні тривимірні моделі об'єктів та територій, що використовуються у будівництві, архітектурі, археології та інших галузях. Супутникові системи надають можливість отримувати дані в режимі реального часу для великої кількості завдань, від моніторингу зміни клімату до управління транспортними потоками.

Дослідження у галузі геодезії є основою для розвитку нових методик, що застосовуються в різних напрямках, таких як картографування, моніторинг земельних ресурсів, обчислення деформацій земної кори та вивчення змін клімату.

Використання сучасних геодезичних приладів, таких як GPS-системи високої точності, лазерні сканери (LiDAR), а також фотограмметричні методи та дронів, дозволяє значно підвищити точність вимірювань і зменшити час, необхідний для збору даних. Це відкриває нові можливості для роботи з великими територіями та складними географічними умовами.

За допомогою лазерних сканерів можна створювати тривимірні моделі територій з високою деталізацією, що дозволяє не тільки проводити вимірювання поверхні, але й оцінювати потенційні зміни в її структурі з часом. Інтеграція GPS-даних з іншими геопросторовими технологіями дозволяє створювати більш точні карти та моделі земної поверхні, що є надзвичайно важливим для управління природними ресурсами, прогнозування катастроф та інженерного планування.

Прикладні дослідження в геодезії мають важливе значення для розвитку різних секторів економіки та інфраструктури. Вони спрямовані на вирішення задач, що безпосередньо пов'язані з практичним застосуванням геодезичних даних для створення та управління інженерними об'єктами, моніторингу

природних та антропогенних змін, а також для забезпечення ефективного управління земельними ресурсами. Далі наведено приклади конкретних напрямків, де геодезія відіграє ключову роль:

Топографічні карти є основним інструментом для планування, проектування та прийняття рішень у багатьох галузях, таких як будівництво, сільське господарство, транспорт, екологія та інші. Геодезичні дослідження, пов'язані з їх створенням, включають високоточні вимірювання рельєфу, водних об'єктів, штучних споруд і природних елементів. Для цього використовуються методи лазерного сканування, фотограмметрії, а також GNSS-спостереження, що дозволяє отримувати точні координати та детальні тривимірні моделі місцевості.

Кадастрові роботи спрямовані на збір, обробку та облік інформації щодо земельних ділянок, їх меж, площ, правового статусу та інших характеристик. Геодезичні дослідження використовуються для створення точних кадастрових планів та карт, що є основою для ведення земельного кадастру, укладення договорів купівлі-продажу земель, а також для вирішення спірних ситуацій щодо меж земельних ділянок.

Моніторинг деформацій земної поверхні є важливим для виявлення змін, що можуть призвести до руйнувань або деформацій інженерних споруд, таких як мости, будівлі, дамби та інші об'єкти. Це необхідно для забезпечення їх стабільності і безпеки. Сучасні методи моніторингу включають використання GPS-технологій, інтерферометрії синтетичної апертурної радарної системи (InSAR), лазерного сканування та інших технологій для визначення навіть найменших змін у земній поверхні.

Геодезичні дослідження є важливою складовою на всіх етапах проектування та будівництва інженерних споруд. Вони забезпечують точні дані про рельєф місцевості, геологічні умови та інші характеристики, необхідні для проектування, вибору місця для будівництва та планування інженерних систем. Наприклад, перед будівництвом мостів, доріг, тунелів і великих будівель здійснюються комплексні геодезичні дослідження, що включають вимірювання, аналіз та моделювання умов будівництва.

Геодезичні методи також використовуються для моніторингу природних змін, таких як землетруси, повені, ерозія ґрунтів, зміни клімату, а також антропогенних впливів, зокрема, внаслідок будівництва, видобутку корисних копалин, сільського господарства і промисловості. Наприклад, за допомогою

геодезичних технологій можна відстежувати зміни рівня води в річках, зміщення ґрунтів або зсуви в гірських районах, що дозволяє своєчасно вживати заходів для зменшення ризиків.

Геодезія є важливим інструментом для ефективного управління природними ресурсами, такими як ліси, водні ресурси, сільськогосподарські угіддя. Наприклад, в сільському господарстві геодезичні дослідження використовуються для точного визначення меж земельних ділянок, організації зрошувальних систем, управління водними ресурсами та контролю за ефективністю використання земель.

Геодезичні методи активно застосовуються для моніторингу стану навколишнього середовища, зокрема для визначення рівня забруднення ґрунтів, води, повітря та вивчення впливу різних антропогенних факторів на екосистеми. За допомогою геодезичних інструментів та технологій можна визначати точні зміни в екологічних параметрах, що дає змогу своєчасно реагувати на потенційні екологічні загрози.

1.3 Геодезичні методи та їх застосування в інших суміжних галузях

Геодезичні методи знаходять широке застосування у багатьох суміжних галузях. Наприклад, в археології геодезичні знімання допомагають визначити точне розташування археологічних об'єктів, їх розміри та форму. У медицині геодезичні методи використовуються для створення високоточних 3D-моделей анатомічних структур, що допомагає у плануванні хірургічних операцій та виготовленні індивідуальних протезів.

У транспортній інженерії геодезичні методи дозволяють здійснювати точні вимірювання та моніторинг стану дорожніх покриттів, мостів та тунелів, що забезпечує безпеку руху та тривалість експлуатації інфраструктурних об'єктів. У гірничій справі геодезичні методи застосовуються для визначення обсягів видобутку корисних копалин, контролю стану гірничих виробок та забезпечення безпеки працівників.

1.4 Огляд ринку геодезичного обладнання та програмного забезпечення

Сучасна геодезія активно інтегрує інноваційні технології для підвищення точності, ефективності та автоматизації процесів збору та обробки геопросторової інформації. Поєднання передових технічних засобів, таких як дрони, лазерні сканери, роботизовані тахеометри та GNSS-приймачі, з потужним програмним забезпеченням відкриває нові можливості для геодезистів та суміжних спеціалістів [2, 3].

Якщо казати про дослідження за тенденціями технологічного розвитку приладової бази, то можна звернути свою увагу на INTERGEO [4].

Конгрес INTERGEO – це світовий геодезичний форум, який об'єднує престижну глобальну наукову конференцію та потужну і найбільшу у світі фахову виставку нового геодезичного і фотограмметричного обладнання (мобільні комплекси, моніторингові та інші системи, прилади, дрони тощо) сучасних програмних продуктів, цифрових і IT-технологій з багатьох країн [5, 6].

Головний організатор конгресу – Німецьке товариство геодезії, геоінформатики і землеустрою (DVWe.V); забезпечує діяльність конгресу і фахової виставки підрозділ DVW Hinte Messe GmbH. Конгреси INTERGEO відбуваються щороку у великих містах Німеччини.

Розглянемо найцікавіші розробки, які були представлені на конгресі [6]:

- «Розумна віха» Leica AP20 AutoPole – унікальна інтелектуальна система, яка підвищує продуктивність праці на об'єкті, дає змогу виконувати точкові вимірювання із нахиленою віхою, автоматично визначаючи її висоту, а також здійснювати пошук та прив'язку до об'єкта. Підвищує ефективність завдяки компенсації нахилу, тому не потрібне вирівнювання віхи. Функція PoleHeight заощаджує час та усуває помилки, які виникають під час зчитування висоти та ручного введення даних у прикладне програмне забезпечення. За кожної зміни висоти віхи автоматична функція PoleHeight оновлює налаштування висоти для забезпечення надійності та точності вимірювань. Функція TargetID. Автоматичний пошук, ідентифікація та блокування запобігають вимірюванням сторонніх цілей і дають змогу уникнути переривань, можливих на жвавому будівельному чи вимірювальному майданчику із кількома бригадами.

- Мобільна лазерна сканувальна система Leica Pegasus TRK 700 Neo використовує можливості штучного інтелекту для трансформації мобільного

картографування. Удосконалена система динамічного лазерного сканування та розширюваних зображень для запису, вимірювання та візуалізації середовища підвищує продуктивність завдяки автоматизованим інтелектуальним робочим процесам. Pegasus TRK має камеру з розширеним штучним інтелектом і автоматичним калібруванням. AI може ідентифікувати людей і транспортні засоби у режимі реального часу. Pegasus TRK підключається до нового потужного програмного забезпечення Leica Pegasus FIELD для повністю автономного та безпечного збирання даних і планування маршруту в польових умовах. Вона також підключається до Leica Cyclone Pegasus OFFICE для безпроблемного введення в робочі процеси постобробки та публікації.

- Лазерний 3D-сканер Leica RTC360 поєднує продуктивний лазерний 3D-сканер, мобільний додаток Leica Cyclone FIELD 360 для периферійних обчислень, наприклад, для автоматичної реєстрації сканованих даних у реальному часі. Із програмним забезпеченням (ПЗ) Leica Cyclone REGISTER 3 легко можна впровадити отриману 3D-модель у робочий процес. Забезпечує: захоплення сканів, зокрема ефектних HDR-зображень, менш ніж за дві хвилини; автоматичний запис переміщень між точками знімання для реєстрації даних сканування на місці без ручного втручання; доповнення зібраних даних інформативними тегами з підказками щодо оптимального планування та відомостями про реальні умови на об'єкті, які допоможуть повніше уявити обстановку.

- Leica T-Probe – це портативний безманіпуляторний бездротовий пристрій для вимірювань щупом прихованих, важкодоступних точкових зон. Призначений для одночасного вимірювання параметрів до дев'яти об'єктів з однієї позиції за мінімального часу налагодження, десятикратного збільшення темпу збирання точкових даних. Користувачеві забезпечено можливість налаштування та застосування багатофункціональних клавіш керування на вимогу. Із застосуванням сучасних подовжувачів щупів T-Probe забезпечує досяжність до 60 м.

- Георадар Stream DP (IDS) – революційне рішення із багатоканальним георадарним масивом для 3D-картографування підземних комунікацій і функцій у режимі реального часу, яке забезпечує сучасний рівень підземних досліджень. Завдяки новій радикальній технології Equalized Scrambled – EstT від IDS GeoRadar Stream DP виводить виявлення підземних об'єктів на найглибший

рівень. Основний недолік цього георадара – порівняно невелика глибина сканування до 3 м (із 5 м, які заявили розробники).

– RTK-ровер GS18T ідеально взаємодіє із комплексним програмним забезпеченням Leica Captivate, реалізуючи зручний та ефективний робочий процес. З Leica Captivate можна одним дотиком перемикатися між завданнями та функціями, незалежно від того, чи працює користувач з ГНСС-приймачем, тахеометром, чи використовує обидва прилади. Опції зменшення багатоканальності та придушення перешкод у Captivate поліпшують якість відстеження сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) у складних умовах, що підвищує доступність та точність RTK. Крім того, набір інструментів для боротьби з перешкодами дасть змогу виконувати фільтрацію для видалення внутрішньосмугових та позасмугових спотворень для ще надійнішого відстеження сигналів ГНСС. Система компенсації нахилу GS18T, основана на поєднанні датчиків IMU та ГНСС, несприйнятлива до магнітних перешкод і працює відразу без необхідності калібрування. З GS18T геодезисти можуть вимірювати точки за допомогою вертикальної віхи, зберігаючи значення нахилу кожного вимірювання. Також у системі ГНСС поєднана з фотограмметрією. За допомогою вбудованої камери можна створювати хмари точок важкодоступних об'єктів, передаючи координатну прив'язку кожній з них.

– Квадрокоптер BV4– безпілотний літальний апарат високого класу, створений внаслідок альянсу між двома лідерами галузі у своїх сегментах. Наукові розробки та високоінтегровані технології виробництва походять від CHCNAV – світового виробника, що спеціалізується на ефективних технологіях геопросторових вимірювань – та повністю автоматизованої системи управління польотом від DJI, піонера у виробництві комерційних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). BV4 може перевозити сканери CHCNAV з різними камерами DSRL. 3D фотограмметрія можлива за допомогою системи косих камер. Користувачі можуть також встановлювати мультиспектральні камери. BV4 оснащений подвійними DJI A3 IMU та GNSS-пристроями, які працюють спільно з передовим рішенням CHCNAV для позиціонування, що складається з високоякісного GNSS-приймача та провідного в галузі IMU для задоволення високих вимог до точності геодезії та картографії.

– БПЛА CHCNAV P300PRO (VTOL). Тривалість польоту до 150 хв та покриття до 20 км² за політ. Подвійна система GNSS, потрібна система IMU,

позиціонування та орієнтація подвійної антени, п'ять методів безпечного повернення на базу та дев'ять етапів перевірки безпеки гарантують безпечні польоти та надійні результати аерознімання. У P330 Pro вбудований високоточний модуль GNSS RTK/PPK із частотою оновлення диференціальних даних до 100 Гц. Завдяки передовому програмному забезпеченню опрацювання даних GNSS PPK та фотограмметрії точність остаточних результатів картографування – до сантиметра. Відмова від встановлення наземних контрольних точок може заощадити до половини часу, необхідного для проєкту. Швидше отримання даних із меншою польовою командою істотно збільшує окупність інвестицій.

1.5 Напрями розвитку технологій отримання геопросторових даних

З огляду на сучасні тенденції в першу чергу сучасна геодезія спрямована на автоматизацію обробки геодезичних даних. Вона стає невід'ємною частиною сучасних технологічних процесів завдяки впровадженню штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН). Основні переваги використання цих технологій включають обробку великих обсягів даних, що зібрані за допомогою GPS, супутникових знімків та інших технологій. ШІ та МН дозволяють автоматично аналізувати ці великі масиви інформації, виявляючи кореляції та тренди. Завдяки МН можливе прогнозування змін у геологічних умовах, таких як тектонічні рухи, що дозволяє завчасно оцінювати ризики для будівельної інфраструктури. Використання алгоритмів ШІ допомагає визначати взаємозв'язки між різними геодезичними параметрами, що сприяє більш точному розумінню природних процесів та їх впливу на об'єкти [7].

Сучасні геодезичні проєкти вимагають обробки величезної кількості даних, які можуть бути отримані з різних джерел, таких як аерофотозйомка, лазерне сканування та інші методи дистанційного зондування. Використання ШІ дозволяє автоматизувати процеси класифікації та інтерпретації цих даних, що значно знижує людський фактор і збільшує точність результатів. Наприклад, алгоритми згорткових нейронних мереж можуть розпізнавати та класифікувати об'єкти на супутникових знімках, визначаючи різні типи ландшафтів, будівель та інфраструктурних об'єктів.

Ще одним важливим аспектом є використання ШІ для автоматичного виявлення аномалій у геодезичних даних. Це дозволяє своєчасно виявляти потенційні проблеми, такі як зсуви ґрунту або деформації будівель, що може бути критично важливим для забезпечення безпеки. Крім того, прогнозування змін у геологічних умовах допомагає планувати майбутні будівельні проекти з урахуванням можливих ризиків.

Застосування машинного навчання дозволяє оптимізувати процеси обробки даних, зменшуючи час і витрати на аналіз. Алгоритми можуть автоматично коригувати помилки вимірювань, що виникають через технічні обмеження або вплив зовнішніх факторів, таких як погодні умови. Це забезпечує більш точні результати та підвищує надійність геодезичних досліджень.

Інтеграція даних з різних джерел, таких як геоінформаційні системи (ГІС), бази даних земельних ресурсів та інші інформаційні системи, є ще одним важливим напрямом розвитку. ШІ допомагає ефективно поєднувати ці дані, забезпечуючи цілісне уявлення про територію і дозволяючи приймати більш обґрунтовані рішення у галузі землекористування, планування та управління ресурсами.

Важливо також зазначити, що автоматизація обробки геодезичних даних сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню витрат на реалізацію проектів. Це дозволяє скоротити час виконання завдань і зменшити кількість помилок, що виникають через людський фактор. Автоматизовані системи можуть працювати безперервно, обробляючи великі обсяги даних у реальному часі, що забезпечує оперативність і актуальність інформації.

Незважаючи на численні переваги, автоматизація обробки геодезичних даних зіштовхується з певними викликами. Забезпечення точності даних є критично важливим для геодезичних процесів. Проблеми можуть виникати через помилки вимірювань, вплив атмосферних умов та технічні недоліки обладнання. Обробка великих обсягів даних вимагає значних обчислювальних ресурсів і ефективних алгоритмів для аналізу. Часто геодезичні дані необхідно інтегрувати з іншими джерелами інформації, такими як геоінформаційні системи (ГІС) і бази даних. Це може бути складним завданням через відмінності у форматах і методах отримання даних. Захист персональних та комерційних даних є важливою складовою, що потребує дотримання високих стандартів безпеки.

Однією з головних проблем є забезпечення точності та надійності даних. Вимірювання можуть бути піддані впливу різних факторів, включаючи атмосферні умови, такі як вологість, температура та тиск, що можуть спотворювати результати. Крім того, технічні недоліки обладнання, такі як зношеність чи некоректна калібровка, можуть призводити до систематичних помилок. Для забезпечення високої точності необхідно регулярно проводити перевірку та налаштування геодезичних приладів.

Іншим значним викликом є обробка великих обсягів даних, яка вимагає потужних обчислювальних ресурсів. Геодезичні проекти часто включають аналіз даних, отриманих з різних джерел, таких як аерофотозйомка, лазерне сканування та супутникові знімки. Це створює потребу у високопродуктивних серверах та спеціалізованому програмному забезпеченні для обробки та аналізу інформації. Алгоритми машинного навчання можуть значно спростити цей процес, автоматизуючи обробку та аналіз великих масивів даних.

Інтеграція різних джерел даних є ще одним викликом. Геодезичні дані часто повинні бути поєднані з інформацією з геоінформаційних систем (ГІС), земельних кадастрів та інших баз даних. Цей процес може бути ускладнений через різницю у форматах даних, методах їх збору та зберігання. Для ефективної інтеграції потрібні стандартизовані протоколи обміну даними та інтерфейси, що дозволяють безперебійно обмінюватися інформацією між різними системами.

Захист даних є ще одним важливим аспектом. Геодезичні дані можуть містити конфіденційну інформацію, таку як координати приватних володінь, стратегічні об'єкти або інші сенситивні дані. Тому забезпечення безпеки даних є критично важливим завданням. Необхідно використовувати сучасні методи шифрування, а також системи контролю доступу для запобігання несанкціонованому доступу до даних.

Важливо також враховувати правові аспекти обробки даних. Відповідність нормативним вимогам, таким як Загальний регламент захисту даних (GDPR) в ЄС або інші регіональні стандарти, є обов'язковою умовою для роботи з геодезичними даними. Компанії та організації, які займаються збором і обробкою таких даних, повинні дотримуватися високих стандартів конфіденційності та безпеки, щоб уникнути юридичних проблем і забезпечити довіру клієнтів.

Застосування ШІ у геодезії включає різноманітні методи для покращення точності та ефективності обробки даних. Використання методів класифікації, таких як згорткові нейронні мережі (CNN), дозволяє автоматично розпізнавати об'єкти на аерофотознімках і супутникових зображеннях. Це включає ідентифікацію будівель, доріг, річок та інших елементів. Технології сегментації, як-от сітки U-Net, допомагають розділити зображення на різні класи або області, визначаючи контури об'єктів і їх межі.

Машинне навчання використовується для обробки хмар точок, отриманих за допомогою лазерного сканування або 3D моделювання, дозволяючи класифікувати і групувати точки для подальшого аналізу. Це важливо для створення детальних цифрових моделей місцевості та виявлення змін у ландшафті. Використання рекурентних нейронних мереж (RNN) або моделей Long Short-Term Memory (LSTM) дозволяє прогнозувати геодезичні деформації, базуючись на історичних даних про рухи земної поверхні. Це особливо корисно для моніторингу зон з високою сейсмічною активністю або інших природних явищ, які можуть впливати на стабільність територій.

Алгоритми машинного навчання можуть автоматично виявляти та виправляти помилки вимірювань, що виникають через технічні обмеження або вплив зовнішніх факторів, таких як погодні умови. Це забезпечує більш точні результати та зменшує ймовірність систематичних помилок. Використання таких методів дозволяє значно підвищити ефективність обробки даних і скоротити час, необхідний для аналізу великих обсягів інформації.

Крім того, автоматизація обробки геодезичних даних дозволяє інтегрувати різні джерела інформації, такі як супутникові знімки, дані з дронів та наземні вимірювання, створюючи єдину картину місцевості. Це дає змогу більш точно оцінювати стан території, планувати будівництво та інші інфраструктурні проекти. Завдяки використанню інтелектуальних алгоритмів можна виявляти аномалії та потенційні ризики, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо управління земельними ресурсами.

Загалом, автоматизація обробки геодезичних даних за допомогою ШІ та МН відкриває нові горизонти для розвитку галузі. Це дозволяє не лише покращити точність і ефективність обробки даних, але й забезпечити більш глибоке розуміння природних процесів, що впливають на навколишнє середовище та інфраструктуру. У перспективі це сприятиме розвитку більш

стійких та безпечних будівельних і інфраструктурних проєктів, а також допоможе у швидкому реагуванні на природні катастрофи і зміни клімату.

Сучасні технології не лише впливають на загальний розвиток індустрії, але й активно трансформують підходи до виконання геодезичних робіт, забезпечуючи високоточні та ефективні інструменти для вимірювань та збору даних.

1.6 Наукові дослідження в геодезії

Геодезія як наука також має певні шляхи розвитку та досліджень:

– Теоретичні дослідження в геодезії спрямовані на розробку нових теорій, моделей та методів, які пояснюють явища та процеси, що відбуваються на земній поверхні. Ці дослідження включають математичне моделювання, аналіз існуючих даних та розробку нових підходів до вирішення геодезичних задач. Наприклад, вивчення форми та розмірів Землі, а також гравітаційного поля планети є важливими аспектами теоретичних досліджень у геодезії [8, 9]. Математичне моделювання є важливим інструментом у теоретичних дослідженнях геодезії. Використання математичних моделей дозволяє описувати складні геодезичні процеси та явища, а також прогнозувати їх поведінку в різних умовах [10].

– Експериментальні дослідження у галузі геодезії передбачають здійснення комплексних польових вимірювань для перевірки точності та ефективності теоретичних моделей. Ці дослідження є основою для розвитку нових методик, що застосовуються в різних напрямках, таких як картографування, моніторинг земельних ресурсів, обчислення деформацій земної кори та вивчення змін клімату. У процесі експериментальних досліджень важливо враховувати вплив різноманітних факторів, таких як атмосферні умови, порушення в роботі технологій або змінні фізичні характеристики земної поверхні. Це дозволяє вдосконалювати існуючі методи, а також розробляти нові алгоритми обробки даних, що підвищують точність прогнозів і визначень.

– Прикладні дослідження в геодезії мають важливе значення для розвитку різних секторів економіки та інфраструктури. Вони спрямовані на вирішення

задач, що безпосередньо пов'язані з практичним застосуванням геодезичних даних для створення та управління інженерними об'єктами, моніторингу природних та антропогенних змін, а також для забезпечення ефективного управління земельними ресурсами.

– Методологія наукових досліджень у геодезії є основою для розробки нових підходів до вимірювань і аналізу даних, що забезпечує високу точність та надійність результатів. Вона включає низку етапів і принципів, що дозволяють досягти оптимальних результатів при виконанні різноманітних геодезичних завдань. Перш за все, методологія наукових досліджень у геодезії починається з розробки основних методів і підходів до вимірювань, які включають теоретичні методи побудови математичних моделей, що описують фізичні процеси, що відбуваються під час геодезичних вимірювань, а також чисельні методи для обробки і аналізу великих обсягів даних. Це можуть бути методи фільтрації, корекції та аналізу вимірів, які дають можливість оцінити точність результатів. Додатково важливим є використання математичних і статистичних методів для оцінки похибок вимірювань, а також для перевірки гіпотез, корекції даних і аналізу точності вимірювань. Методи статистики дозволяють оцінити кореляцію між різними параметрами, а також застосовувати методи максимального правдоподібності для оцінки параметрів моделей. Використання гібридних методів, таких як поєднання традиційних геодезичних методів з новітніми технологіями, зокрема GNSS, LiDAR, фотограмметрія, дозволяє досягти високої точності при мінімізації похибок. Важливою складовою є інтеграція даних з різних джерел, таких як GPS, лазерне сканування, супутникові знімки, для створення точних тривимірних моделей місцевості. Методологія наукових досліджень передбачає також постійну розробку нових технологій, таких як використання дронів для створення точних карт, а також лазерного сканування для точнішого визначення рельєфу місцевості. Інтеграція геодезії з іншими науками, зокрема з геологією та геофізикою, сприяє кращому розумінню підземних умов, а також використанню геодезії в екологічних дослідженнях для моніторингу змін навколишнього середовища. Крім того, сучасні технології

дозволяють інтегрувати геодезичні дані з інформаційними технологіями, такими як великі дані та штучний інтелект, для автоматизації процесів обробки та аналізу. Перевірка та валідація результатів є важливими етапами наукових досліджень, зокрема через проведення польових перевірок для оцінки точності теоретичних моделей і даних, отриманих за допомогою різних методів. Використання еталонних даних допомагає забезпечити достовірність і точність результатів. Таким чином, методологія наукових досліджень у геодезії постійно розвивається, поєднуючи традиційні методи з новітніми технологіями для вирішення складних задач і досягнення високих результатів у вимірюваннях та аналізі просторових даних.

1.7 Класифікація інженерно-геодезичних вишукувань, методи та технології, які використовуються при геодезичних роботах

Інженерна геодезія є прикладною наукою, що вивчає методи і способи виконання геодезичних робіт під час вишукування, проектування, будівництва, експлуатації інженерних споруд та вивчення технологічних процесів.

Основними завданнями інженерної геодезії є [11]:

- збирання геодезичних матеріалів для розроблення проєктів інженерних споруд;
- розмічування на місцевості осей і меж споруд відповідно до проєкту;
- забезпечення геометричних параметрів споруди та її елементів у плані, за висотою та по вертикалі у процесі виконання будівельних робіт;
- визначення відхилень споруди та її елементів від проєктного положення;
- забезпечення монтажу технологічного устаткування;
- визначення осідань та деформацій споруд на стадіях зведення та експлуатації.

Простежимо, як зміни геодезичної галузі (застосування нових засобів вимірювання та строго зрівнювання результатів, автоматизація вимірювань) відобразились на основних завданнях інженерної геодезії.

Збирання геодезичних матеріалів для розроблення проєктів інженерних споруд. Точність інженерно-геодезичних вишукувань дає змогу використовувати вимірювальні засоби невисокої точності. Використання ГНСС абсолютно

змінити підхід до створення геодезичних мереж. За наявності мережі постійнодіючих станцій визначення координат станцій знімання взагалі виконують без створення мереж у режимі RTK або PPP. За відсутності ГНСС мережі створюють, використовуючи електронні тахеометри способом лінійно-кутових побудов, причому навіть тахеометри найнижчої точності дозволяють створювати мережі без обмежень на відстані й кути з дотриманням необхідної точності.

Розглядаючи технології топографічного знімання, відзначимо збільшення кількості методів, якими виконують знімання. Серед них: електронна тахеометрія, наземне лазерне сканування, знімання з безпілотних літальних апаратів, ГНСС-знімання, мобільне фотографічне/лазерне знімання тощо. Важливо, що ці та інші методи можна використовувати окремо або в комбінації, створюючи нові технології топографічного знімання.

Окремо необхідно сказати про знімання підземних комунікацій. Істотно зросла точність та особливо надійність визначення положення підземних комунікацій. При цьому технологія знімання підземних комунікацій значно спростилась, а її інформативність підвищилась. Наприклад, сучасний трасошукач, обладнаний ГНСС-апаратурою, дає змогу, за наявності мережі перманентних станцій, без розвинення геодезичної мережі отримувати просторові координати підземних комунікацій одразу в заданій системі координат з одночасним їх внесенням до бази даних підземних комунікацій. Новий тип обладнання – георадар дає змогу визначати не тільки положення комунікацій, а й отримувати характеристики ґрунту на глибині до 4 м.

Під час гідрографічних робіт одержують не набір дискретних точок за заданими створами, а, використовуючи комбіновану систему ГНСС/ехолот, одразу отримують прив'язаний до заданої системи координат підводний рельєф у вигляді цифрової моделі місцевості (ЦМР).

Проблеми. Відзначимо передусім повну відсутність нормативного забезпечення цього розділу інженерної геодезії. Не встановлено характеристики геодезичних мереж для вишукувань під час їх створення з використанням ГНСС та електронних тахеометрів, окремо або в комбінації. Розглянуті методи топографічного знімання не досліджувались з технологічної позиції: швидкість виконання робіт, ефективність методів, доцільність використання залежно від різних топографічних умов та різних типів інженерних споруд. Варто зосередити

увагу на комбінуванні різних методів, наприклад наземного лазерного сканування та БПЛА. При цьому завжди треба враховувати, що для вишукувань велике значення має швидкість та здешевлення виконання робіт. Тому, наприклад, доцільним є встановлення умов використання одностотних та багаточастотних ГНСС-спостережень. Сьогодні результатом інженерних вишукувань є ЦМР та ЦМС. Формування вимог до цих продуктів залежно від типу споруд, для проєктування яких вони будуть використовуватись, залишається також невирішеним завданням.

Розмічування на місцевості осей і меж споруд відповідно до проєкту. Щільність пунктів геодезичних мереж сьогодні значно вища. За необхідності додаткових пунктів згущення не виконують, а використовують ГНСС-спостереження для визначення координат додаткових пунктів, від яких виконують розмічування, застосовуючи електронні тахеометри.

Проблеми. З технологічного погляду це завдання є найменш трудомістким. Варто звернути увагу на використання ГНСС для розмічування, враховуючи, що розмічування виконують у різних системах координат.

Забезпечення геометричних параметрів споруди та її елементів у плані, за висотою та по вертикалі у процесі виконання будівельних робіт. Широке впровадження ГНСС та особливо електронних тахеометрів, що працюють у режимі без відбивача, докорінно змінили технологію геодезичного забезпечення будівництва. Завдяки використанню тахеометрів основним методом розмічування став метод вільної станції. За таких умов знизилась вимога до кількості пунктів геодезичної розмічувальної мережі, а її конфігурація може бути довільною. За допомогою одного приладу з високою точністю, достатньою для вирішення більшості геодезичних завдань, розмічування виконують одразу в просторі. Розмічувальне креслення як таке сьогодні не використовується. Цифрова модель проєкту завантажується в тахеометр або ноутбук і безпосередньо на будівництві геодезист отримує розмічувальні елементи. Істотно спрощують розмічувальні роботи вбудовані в тахеометр програми розмічування та лазерні вказівники. Сьогодні найефективнішою технологією є застосування роботизованих електронних тахеометрів. Розмічувальні роботи для відстаней до 50 м ефективно з точністю 1–3 мм виконують з використанням багатонапрямних лазерних приладів (до п'яти напрямків).

Окремо відзначимо ефективне використання лазерних приладів для розмічування підземних комунікацій. Окремим напрямом у сучасних розмічувальних роботах є застосування автоматизованих геодезичних комплексів. Під час будівництва лінійних споруд (автомобільних доріг, залізниць, каналів тощо) використовують автоматизовані системи керування будівельною технікою. До складу таких систем входять: ГНСС, лазерні прилади, електронний тахеометр, датчики нахилу. Інформація від різних засобів вимірювання обробляється у комплексі в режимі реального часу, порівнюється з проектом і виводиться на дисплей системи керування. У тунелебудуванні використовують подібні комплекси.

Проблеми. Нормативне забезпечення цього розділу інженерної геодезії також є недостатнім.

Головне завдання сьогодні – розроблення нових алгоритмів та засобів комунікації геодезистів і будівельників для миттєвого аналізу результатів вимірювань у режимі реального часу. Сучасні засоби комунікації дають змогу співпрацювати в режимі реального часу проектувальникам, будівельникам і геодезистам. В результаті такої взаємодії в режимі реального часу істотно підвищиться ефективність будівельно-монтажних робіт, а геодезичні роботи стануть повністю інтегрованими в будівельний процес.

На методи і способи ведення розмічувальних робіт істотно впливають технологія виконання будівельних робіт та види конструктивних схем інженерних споруд. Складність сучасних інженерних споруд вимагає у ході виконання розмічувальних робіт враховувати навантаження, що впливають на споруду під час її зведення. До таких навантажень належать вплив від власної ваги, вплив коливань температури конструкцій і навколишнього середовища, вплив вітрового навантаження, вплив силового навантаження. Такі впливи необхідно враховувати, встановлюючи точність розмічувальних робіт та під час розмічувальних робіт безпосередньо.

У кожному напрямі будівництва виникають специфічні проблеми. Наприклад, у висотному будівництві завдання передавання координат на монтажний горизонт в умовах впливу наведених вище факторів не вирішується традиційними методами вертикального проектування. Аналогічні проблеми виникають під час будівництва наддовгих підземних тунелів, мостів на високих опорах з довгими прогінними конструкціями тощо.

Визначення відхилень споруди та її елементів від проектного положення.

Відхилення від проектного положення визначають здебільшого методом вільної станції від пунктів зовнішньої або внутрішньої розмічувальної мережі. Найсучаснішою є технологія, за якою з використанням нових засобів вимірювань та засобів комунікації у режимі реального часу геодезисти співпрацюють з проектувальниками. В світі під час будівництва найсучасніших споруд геодезисти працюють за такою схемою: геодезист вимірює відхилення від проекту і одразу через Інтернет передає ці відхилення до офісу проектувальників, де після розрахунків приймають рішення про доцільність усунення відхилення. За необхідності одразу ж через засоби комунікації передається величина необхідного коригування будівельникам і геодезистам. Так створюється замкнений ланцюг, завдяки якому зростає ефективність будівельних процесів.

Ефективним, але недостатньо обґрунтованим є застосування методів ГНСС, наземного лазерного сканування, цифрової наземної фотограмметрії.

Наведені міркування стосуються контрольного знімання інженерних споруд, точність зведення яких або їх окремих елементів характеризується величинами 1–10 мм. Під час контрольного знімання споруд або елементів споруд, точність місцеположення яких є нижчою, широко застосовують знімальні системи. Для автомобільних доріг і залізниць використовують мобільні картографічні системи та безпілотні літальні апарати. Для контрольного знімання ліній електропередач, трубопроводів використовують повітряне лазерне сканування, останнім часом безпілотні літальні апарати обладнують одночасно лідаром і цифровою камерою. Для знімання каналів, штучних водойм, контролю наливних робіт використовують інтегровану систему ГНСС/ехолот.

Нарешті, значно змінилася технологія контрольних зніманих під час виконання маркшейдерського знімання. На перше місце вийшли технології безпілотного аерофотознімання, наземної цифрової фотограмметрії та наземного лазерного сканування.

Проблеми. Наведена технологія інтегрування геодезії у будівельний процес поки що у зародковій фазі й потребує глибшого дослідження. Якщо ми вже звикли, що інженер-геодезист повинен володіти базовими поняттями з технології будівельного виробництва, будівельної механіки, інженерних

конструкцій, то у цьому випадку геодезістам, окрім таких знань, необхідні знання із теорії надійності, теорії інформації, засобів зв'язку та комунікацій, систем будівельного проектування. За таких умов можна здійснити дослідження і розробити рекомендації щодо використання інтегрованої технології контрольного геодезичного знімання.

Попри поширеність ГНСС, цифрової фотограмметрії, наземного лазерного сканування, до їх безпроблемного використання у контрольному зніманні ще дуже далеко. Визначення умов застосування, необхідної точності, технології виконання робіт має стати предметом досліджень у найближчі роки.

Варто не забувати, що від того, з якою точністю необхідно виконати контрольне знімання, залежатиме і технологія, і вибрані засоби вимірювань. Тому питання дослідження мобільних картографічних систем, повітряного лазерного сканування та фотознімання з безпілотних літальних апаратів, засобів батиметричного знімання є вкрай актуальним.

Для контрольного геодезичного знімання складних інженерних споруд залишається актуальним, як і у випадку розмічувальних робіт, врахування впливу різних навантажень на зведену споруду (вітру, снігу, температури, додаткової ваги тощо).

Забезпечення монтажу технологічного устаткування. Загалом відомо, що монтаж технологічного устаткування є видом робіт, що потребує найвищої точності. В останнє десятиріччя на допомогу інженерам-геодезістам прийшли прилади з неймовірною вимірювальною точністю: лазерні трекери, координатні вимірювальні системи, високоточні лазерні системи. У такому напрямі, як контроль точності виготовлення конструкцій, ці засоби вимірювань не мають конкурентів.

Якщо йдеться про точність монтажу конструкцій на рівні 0,5–1 мм, то високоточні електронні тахеометри дають змогу забезпечити таку точність монтажу і застосовуються найчастіше. Традиційні методи продовжують використовуватись, але останнім часом їх витісняють точніші, автоматизовані засоби вимірювання.

Як і у випадку розмічувальних робіт і контрольних знімань, геодезичне забезпечення монтажу устаткування ведуть у режимі реального часу, безпосередньо порівнюючи виміряне розташування устаткування із його

проектним положенням на цифровій моделі, яка завантажена у контролер тахеометра або роботизованого тахеометра.

Проблеми. За певних умов завдання розроблення нових засобів вимірювань залишається актуальним. Вказані нові засоби вимірювань досліджують тільки з метрологічного погляду. Але основне питання – розроблення методик застосування електронних тахеометрів, лазерних трекерів тощо під час монтажу технологічного устаткування (обертові печі, установки для вироблення паперу, напрямні ліфтових шахт, реакторні відділення АЕС, антени радіотелескопів). До проблематики монтажу технологічного устаткування та використання для цього електронних тахеометрів, лазерних трекерів і систем лазерних датчиків напрямів також можна зарахувати геодезичне забезпечення суднобудування та літакобудування.

Визначення осідань та деформацій споруд на стадіях зведення та експлуатації. Сучасний геодезичний моніторинг ґрунтується на трьох положеннях: це одночасне визначення просторового переміщення, автоматизація вимірювань та використання складних моделей інтегрування вимірювань та прогнозування.

Для фіксації абсолютних просторових переміщень використовують: ГНСС-спостереження, наземну цифрову фотограмметрію, наземне лазерне сканування, електронну тахеометрію, наземну радарну інтерферометрію. Фіксацію відносних просторових переміщень виконують за допомогою систем багатокоординатних датчиків, космічного радарного знімання.

Основною тенденцією під час виконання геодезичного моніторингу складних інженерних споруд є розроблення та застосування автоматизованих систем геодезичного моніторингу. Сьогодні такі системи можуть містити будь-які засоби вимірювань, все залежить тільки від правильності математичних алгоритмів інтегрування даних, які закладено в програмне забезпечення системи. Найвідоміші в світі системи геодезичного моніторингу – Leica GeoMos, Trimble 4D, DC3 Topcon, GOCA.

У програмному забезпеченні систем автоматизованого геодезичного моніторингу використовують складні математичні алгоритми прогнозування. Зокрема, за отриманими переміщеннями методом скінченних елементів розраховують допустимі напруження в конструкціях і порівнюють їх із допустимими. Розроблено та запроваджено нові методи моделювання

переміщень: калманівську та вінерівську фільтрацію, нейронні мережі, фур'є-аналіз.

Проблеми. Попри численні дослідження ГНСС-технологій, наземного лазерного сканування, цифрової фотограмметрії, можливості цих засобів у завданнях геодезичного моніторингу повністю не вичерпані. Актуальними, як і для контрольного геодезичного знімання, залишаються питання умов застосування, необхідної точності, технології виконання робіт. Окремо додається питання інтервалів спостережень.

Самі по собі автоматизовані системи геодезичного моніторингу потребують детальних досліджень, їх сертифікація та нормування точнісних і технічних характеристик залишаються відкритим питанням. Вибір складу та точності елементів системи моніторингу – питання практично не досліджене. Якою буде точність та надійність системи у схемах інтегрування, наприклад, ГНСС/електронний тахеометр, ГНСС/датчики, ГНСС/датчики/система гідродинамічного нівелювання або, навпаки, електронний тахеометр/датчики/система гідродинамічного нівелювання?

Головні проблеми очікують на геодезистів під час комплексного оброблення геодезичної та негеодезичної інформації. Об'єднання отриманих переміщень з результатами вимірювання температури конструкцій і ґрунту, вологості, напружень в конструкціях і ґрунті є завданням, вирішення якого все ще на початковій стадії. А з цього випливає ще одна проблема геодезичного моніторингу – розроблення адекватних математичних моделей прогнозування деформаційних процесів. Навіть перераховані вище математичні моделі потребують детального дослідження. Дотепер не вироблено єдиного підходу до того, як, в яких випадках і які моделі застосовувати: статичні, кінематичні або динамічні. Все залежить від видів навантажень, конструктивної схеми, матеріалів конструкцій, виміряних величин. Навіть за наявності вихідних даних постає питання: якою моделлю описати деформаційний процес: параметричною (система звичайних диференціальних рівнянь, система рівнянь у часткових похідних, метод скінченних елементів) чи непараметричною (нейронні мережі, регресійні моделі). Тобто тут перед геодезистами постають не тільки завдання, що потребують розв'язання, а й просто цікаві наукові проблеми, вирішення яких може привести до появи нових знань.

Кожне з проаналізованих завдань інженерної геодезії потребує вирішення вказаних проблем. Одночасно сучасний стан інженерно-геодезичних робіт, висвітлений вище, та його проблеми формують нові напрями наукових досліджень в інженерній геодезії, яких, як бачимо, дуже і дуже багато.

Серед проблем, характерних для будь-яких завдань інженерної геодезії, – метрологічне забезпечення засобів вимірювання та нормативне забезпечення вимірювань і технологій. Якщо із метрологічним забезпеченням окремих засобів вимірювань є певний прогрес, то атестація вимірювальних систем навіть не розглядається ані в Україні, ані у світі. Те саме стосується і нормативного забезпечення.

2 ГЕОПРОСТОРОВІ ДАНІ В ГЕОДЕЗІЇ, ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ, ЯКІСТЬ ДАНИХ

2.1 Перехід до цифрових моделей місцевості та об'єктів

Термін «цифрове моделювання» використовується при використанні можливостей математичних методів і програмних засобів для моделювання об'єктів земної поверхні. Основним елементом даного моделювання є *цифрова модель місцевості* (ЦММ), яка отримується за допомогою різноманітних технологій. Цифрові моделі зберігаються двома способами: в базах даних або у вигляді незалежних файлових структур.

Цифрові моделі оперують з різними типами інформації. Метрична інформація визначає вимірювальні характеристики об'єктів, тобто координати, розміри. Ця інформація відносно проста і однорідна по структурі, в силу чого вона стає сильно типізованою. Атрибутивна інформація включає в себе атрибутивні дані та метадані. Вона може поділятися на семантичну, технологічну та інші види. Даний тип інформації визначає приналежність об'єктів до певного класу, описує властивості об'єктів та їх частин, задає взаємозв'язки і умови обробки, умови відтворення тощо. Синтаксична інформація визначає послідовність роботи при коректуванні чи оновленні цифрових моделей, правила їх побудови і представлення.

Під *цифровою моделлю рельєфу* (ЦМР) розуміють цифрове подання топографічної поверхні у вигляді регулярної мережі комірок заданого розміру

або нерегулярної трикутної мережі. Ці дві форми подання цифрових моделей рельєфу є в наш час взаємно конвертованими і мають практично однакові можливості щодо подання і аналізу рельєфу. В поєднанні з даними про топологію місцевості створюється ЦММ.

Рельєф може бути зображеним засобами геоінформаційних систем (ГІС) у растрових або векторних системах. У векторних системах зображення поверхні провадиться за допомогою моделі нерегулярної триангуляційної мережі, що є лише одним із способів подання Z-величин, які утворюють групу «цифрових моделей рельєфу».

Моделі зображення рельєфу у векторних системах бувають двох типів: основані на точках і на лініях. Моделі створені на основі ліній – майже графічний еквівалент традиційного методу карт ізоліній. У багатьох випадках такі моделі створюються методом цифрування існуючих ізоліній. Після введення ці дані подаються або як лінійні об'єкти, або як полігони з визначеною висотою.

Оскільки на даних цього типу незручно проводити такі операції, як визначення ухилу, експозиції або створювати відмивку рельєфу, звичайно її перетворюють у растрову модель. У результаті отримуємо дискретну матрицю висот, яка відповідає методу растрового зображення рельєфу: кожна точка несе лише одне значення висоти.

Найчастіше висотні дані подані у вигляді регулярної чи нерегулярної мережі. Якщо регулярна сітка достатньо дрібна, то можна легко перетворити значення висоти в кожній її вершині безпосередньо в значення висот пікселів растра. Коли дані подані у формі нерегулярної мережі, виникає потреба оцінювати або проєктувати всі відсутні значення. Цей процес, так звана інтерполяція, дає можливість кожному пікселю растра надати розраховане значення висоти.

2.2 Ключові законодавчі акти, стандарти та рекомендації щодо впровадження цифрових технологій в геодезії

Сьогодні в сфері геодезії все більше уваги приділяється впровадженню цифрових технологій. Згідно Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» від 4 вересня 2013 р. № 661 [12] топографічні матеріали

рекомендовано представляти як цифрові топографічні карти або плани. Цифровими топографічними карти є цифрові картографічні моделі, які відповідають змісту аналогової карти певного типу та масштабу, є базами геопросторових даних та метаданих, створюються за допомогою спеціалізованих програмно-технічних засобів з урахуванням класифікації топографічних об'єктів та явищ шляхом кодування їх розміру, форми, розташування та метаданих (якісних, кількісних та структурних характеристик) у прийнятих системах координат, висот, розграфлення, масштабах, проєкціях.

Процедура зберігання та валідації цифрових карт і планів регламентовано Постановою Кабінету Міністрів України «Деякі питання функціонування Державного картографо-геодезичного фонду України» від 19 січня 2024 р. № 67 [13]. Ведення Державного картографо-геодезичного фонду України (Держкартгеофонду) здійснюється шляхом функціонування геоінформаційної системи та відповідних геоінформаційних сервісів, які забезпечують приймання, облік, зберігання, аналіз і оброблення матеріалів та даних, що надходять на зберігання, а також оприлюднення метаданих про них на національному геопорталі національної інфраструктури геопросторових даних.

Ураховуючи неефективне використання ресурсів – коштів, людської праці на збір, обробку, зберігання, оновлення інформації та з метою подолання проблем, пов'язаних із міжгалузєвою взаємодією під час збирання, використання, інтегрування даних із різних джерел, у більшості країн світу запроваджуються національні інфраструктури геопросторових даних, які об'єднують усі ланки та види забезпечення вироблення, постачання і використання геоінформаційних ресурсів.

14 березня 2007 р. була ухвалена Директива Європейського парламенту і Ради 2007/2/ЄС про створення Інфраструктури просторової інформації у Європейському Співтоваристві (INSPIRE), метою якої було створення інфраструктури геопросторових даних, пов'язаних з охороною навколишнього середовища Європейського Союзу (ЄС), для цілей реалізації екологічних політик чи політичних заходів, які можуть мати вплив на довкілля [14].

З положень Директиви INSPIRE можна виділити принципи, які покладено в основу створення Інфраструктури просторової інформації в Європейському Співтоваристві, а саме:

- дані необхідно збирати тільки один раз і зберігати там, де це буде найбільш рентабельно;

- цільні блоки просторової інформації з різних джерел щодо Європи потрібно об'єднати, щоб надавати її користувачам та поширювати різними додатками;

- інформацію, зібрану на одному рівні / одному масштабі, варто поширювати на всіх рівнях / усіх масштабах: деталізовану для поглибленого вивчення, а загальну – у стратегічних цілях;

- географічна інформація, необхідна для ефективного врядування на всіх рівнях, повинна бути доступна в готовому та прозорому вигляді;

- необхідно забезпечити доступність географічної інформації та рекомендацій щодо того, як вона може задовольняти конкретні потреби та на яких умовах її можна отримувати та використовувати.

Базове законодавство України в сфері національної інфраструктури геопросторових даних складає [15]:

- Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13 квітня 2020 р. № 554-IX [16];

- Постанова Кабінету Міністрів України «Про утворення Ради з національної інфраструктури геопросторових даних» від 9 вересня 2020 р. № 812 [17];

- Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних» від 26 травня 2021 р. № 532 [18];

- Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження технічних вимог до геопросторових даних, метаданих і геоінформаційних сервісів національної інфраструктури геопросторових даних» від 10 листопада 2021 року № 347 [19], яким затверджені:

- Технічні вимоги до метаданих для наборів геопросторових даних і геоінформаційних сервісів національної інфраструктури геопросторових даних;

- Технічні вимоги до специфікацій геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних;

- Технічні вимоги до геоінформаційних сервісів геопорталів національної інфраструктури геопросторових даних;

- Технічні вимоги та методи забезпечення інтероперабельності і сумісності наборів геопросторових даних та геоінформаційних сервісів.

Стандартизація в національних інфраструктурах геопросторових даних практично всіх країн ґрунтується на комплексі міжнародних стандартів ISO 19100 – «Географічна інформація/геоматика» [20, 21].

В комплексі стандартів ISO 19100 за призначенням та спільністю тематики можна виділити шість основних груп [15]:

- Інфраструктурні стандарти. Встановлюють концептуальні основи, загальні вимоги і правила, які застосовують до всіх складників комплексу ISO 19100. Вони визначають інфраструктуру для розвитку стандартів і для розроблення прикладних схем та профілів.

- Стандарти моделювання даних. Ця група стандартів ґрунтується на еталонній моделі предметної сфери з ISO 19101. Вона подається сукупністю абстрактних концептуальних схем для опису основних компонентів просторових об'єктів як елементів географічної інформації.

- Стандарти на метадані та адміністрування даних. Ця група стандартів також основана на еталонній доменній моделі з ISO 19101. Але на відміну від стандартів моделювання даних, що сфокусовані на просторових об'єктах та їх характеристиках, ці стандарти орієнтовані на опис наборів даних, що містять інформацію про один або (набагато частіше) про множину екземплярів просторових об'єктів.

- Стандарти на геоінформаційні сервіси. Визначають специфікації сервісів географічної інформації різного призначення та схеми доступу до геопросторових даних мережі Інтернет. Предметно стандарти охоплюють сферу веб-картографування, веб-ГІС та Геопорталобудування.

- Стандарти кодування географічної інформації. За еталонною моделлю архітектури із ISO 19101, стандарти кодування потрібні для підтримання ефективного обміну геопросторовими даними і метаданими між системами та послідовно визначають принципи й схеми використання мови XML для кодування геоінформаційних ресурсів різного призначення.

- Стандарти для тематичних сфер та функціональні стандарти. Спочатку робота ISO/TC 211 була зосереджена на розробленні стандартів, що підтримують широкий діапазон можливостей, потрібних для всіх прикладних сфер застосування географічної інформації. По завершенню цієї роботи почалася

діяльність з розроблення стандартів для підтримання специфічних тематичних сфер. До однієї з таких сфер належить отримання й опрацювання аерофото- та космічних матеріалів (зображень), а їхнє унормування розглядається в стандартах, уже згаданих у відповідних групах, ISO/TS 19101-2 «Еталона модель – Зображення» та ISO 19115-2 «Метадані – Частина 2: Розширення для зображень та сіткових даних». Інші тематичні сфери, для яких ведеться розроблення стандартів: класифікація об'єктів землекористування, земельний кадастр і системи адресації.

В Україні діють такі стандарти для формування інфраструктури геопросторових даних: ДСТУ ISO 19101:2009 Географічна інформація. Еталонна модель та ДСТУ 8774:2018 Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних.

ДСТУ 8774:2018 включає [15]:

- Загальні правила подання моделей з використанням UML (за ISO 19103:2015 Conceptual schema language);
- Правила для прикладних схем (за ISO 19109:2015 Rules for application schema);
- Просторові схеми (за ISO 19107:2003 Spatial schema);
- Часові схеми (за ISO 19108:2002 Temporal schema);
- Схеми для геометрії та функцій покриття (за ISO 19123:2005 Schema for coverage geometry and functions);
- Каталоги геопросторових об'єктів (за ISO 19110:2016 Methodology for feature cataloguing);
- Просторова прив'язка за географічними ідентифікаторами (за ISO 19112:2003 Spatial referencing by geographic identifiers);
- Кодування та обмін даними (за ISO 19118:2011 Encoding).

2.3 Геопросторові дані

Геопросторові дані є основою геодезичних досліджень та практики, оскільки вони забезпечують точну інформацію про місцезнаходження, форму та розміри об'єктів на земній поверхні.

В Україні створена національна інфраструктура геопросторових даних (НІГД), яка забезпечує доступ до геопросторової інформації та її обробку. НІГД

включає в себе базові та тематичні геопросторові дані, метадані, геоінформаційні сервіси та інші компоненти, що дозволяють ефективно використовувати геопросторову інформацію в різних галузях діяльності. В статті на основі аналізу досвіду створення НІГД в розвинених країнах обґрунтовано доцільність законодавчого визначення в організаційній структурі НІГД України.

У практичному застосуванні геопросторові дані використовуються для створення карт та планів, моделювання місцевості, моніторингу та управління ресурсами, а також підтримки прийняття рішень. Розвиток тематичної складової інфраструктури геопросторових даних в Україні сприяє підвищенню ефективності використання геопросторової інформації в різних галузях діяльності.

З розвитком технологій та збільшенням обсягів геопросторових даних виникає потреба в удосконаленні методів їх збору, обробки та аналізу. Особливо важливим є інтеграція різних джерел даних та забезпечення їх доступності для широкого кола користувачів. Розвиток інфраструктури геопросторових даних та впровадження сучасних технологій дозволить підвищити ефективність геодезичних досліджень та практики в Україні.

Геопросторові дані класифікуються на базові та тематичні, кожен з яких має свої підкатегорії та особливості.

Базові геопросторові дані – загальнодоступні геопросторові дані, що складають уніфіковану цифрову координатно-просторову основу для виробництва, інтеграції та провадження іншої діяльності з різними геопросторовими даними.

Базові геопросторові дані визначаються як загальнодоступні геопросторові дані, що складають уніфіковану цифрову координатно-просторову основу для виробництва, інтеграції та провадження іншої діяльності з різними геопросторовими даними.

Набір базових геопросторових даних утворює ядро геоінформаційних ресурсів інфраструктури, завдяки якому просторово і тематично об'єднуються всі інші геопросторові та негеопросторові: атрибутивні, профільні, тематичні дані, що спільно виробляються та використовуються в інтегрованому геоінформаційному середовищі інфраструктури.

Базові геопросторові дані формуються на загальнодержавному, регіональному та місцевому рівнях.

Очевидно, що базові геопросторові дані описують об'єкти реального світу, тобто топографічні об'єкти, а інформаційним ресурсом для їх формування є топографічні карти, плани та ортофотоплани. Базові геопросторові дані виробляються, оновлюються, обробляються, зберігаються та постачаються у вигляді векторних моделей об'єктів, цифрових моделей рельєфу і цифрових моделей поверхонь та растрових моделей цифрових ортофотокарт та ортофотопланів.

До складу базових геопросторових даних віднесено: системи відліку координат і висот; державний кордон України; адміністративно-територіальні одиниці; гідрографічні об'єкти, гідротехнічні споруди; населені пункти, їх вулично-дорожню мережа; будівлі та споруди; автомобільні дороги; залізниці; інженерні комунікації; аеропорти, річкові та морські порти; рослинний покрив та ґрунти; земельні ділянки; реєстри вулиць та адреси об'єктів; географічні назви; цифрова модель рельєфу і ортофотоплани.

До тематичних наборів геопросторових даних належать всі види геопросторових даних, що створюються на основі базових геопросторових даних або як самостійні набори даних і відповідають вимогам стандартів на географічну інформацію та метадані, розміщені в інформаційному середовищі інфраструктури з дотриманням принципів і правил доступу та використання геоінформаційних ресурсів. Такі набори можуть створюватися органами державної влади та місцевого самоврядування, підприємствами та громадянами.

Черговість створення наборів тематичних геопросторових даних визначається з урахуванням першочергових потреб суспільства, органів державної та місцевого самоврядування для забезпечення сталого розвитку, раціонального використання природних ресурсів та охорони навколишнього природного середовища.

Склад наборів геопросторових даних гармонізований з вимогами Європейської інфраструктури геопросторових даних (INSPIRE).

Метадані визначаються як відомості про геопросторові дані та/або сервіси, що надають можливість їх пошуку та використання.

Метадані містять упорядковані формалізовані набори спеціальних даних: «даних про дані», в яких описуються структура та властивості елементів географічної інформації, що зберігається і пропонується в цифровому і нецифровому виді.

Метадані призначені для ведення каталогів геоінформаційних ресурсів та для забезпечення процесів автоматизованого пошуку й оцінки придатності геопросторових даних потенційними користувачами і системами.

Наявність метаданих є необхідною умовою створення ринку геопросторових даних та сталого функціонування інфраструктури геопросторових даних. Організація формування, зберігання і доступу до метаданих є державним завданням.

2.4 Проблематика цифрових карт та масштабів

Якість геопросторових даних є критично важливою для забезпечення точності та надійності геодезичних вимірювань та аналізів. Неналежна точність, неповнота або застарілість даних можуть призвести до серйозних помилок у прийнятті рішень, що базуються на цих даних.

Однією з головних технічних проблем є складність і неоднорідність геопросторових даних. Вони надходять з різних джерел, таких як супутники, аерофотозйомка та засоби наземного спостереження, кожен з яких має різні формати, роздільну здатність і точність. Інтеграція цих розрізнених наборів даних у цілісну систему вимагає передових методів обробки і стандартизації даних, які можуть бути технічно складними і ресурсоемними.

Економічні бар'єри теж відіграють значну роль у впровадженні геоінформаційних технологій. Початкові витрати на придбання обладнання та програмного забезпечення для геоінформаційних технологій (ГІТ), а також витрати на навчання персоналу можуть бути занадто великим тягарем для багатьох територіальних громад, особливо в регіонах, що розвиваються. Поточні витрати, пов'язані зі збором даних, обслуговуванням системи та оновленням програмного забезпечення, також можуть бути значними.

Правові та регуляторні питання теж створюють проблеми у впровадженні ГІТ. Збір, зберігання і використання геопросторових даних підпадають під дію різних правових обмежень і правил, які можуть суттєво відрізнятися в різних юрисдикціях. Орієнтування в цьому складному регуляторному ландшафті вимагає ретельного вивчення та дотримання відповідних законів, що може зайняти багато часу та ресурсів. Права інтелектуальної власності та питання власності на дані можуть ще більше ускладнити впровадження ГІТ.

Забезпечення високої якості геопросторових даних є основою для ефективного управління територіями, планування розвитку та прийняття обґрунтованих рішень у різних галузях діяльності.

Перехід від традиційних паперових карт та планів до цифрових форматів у галузі геодезії є важливим кроком у напрямку цифровізації, що вимагає адаптації існуючих процесів та технологій. Цифрові дані повинні бути сумісні з сучасними інформаційними системами та стандартами, щоб забезпечити ефективне використання та обмін інформацією.

В Україні одним із ключових кроків у цьому напрямку стало створення Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД). Згідно з Законом [16] НІГД є розгалуженою мережею геопорталів, що забезпечують зберігання, обмін, моніторинг та оновлення просторових даних між різними рівнями управління територіями. Геопортали надають органам місцевого самоврядування можливість візуалізувати дані громади та ефективно з ними працювати для прийняття управлінських рішень.

Для забезпечення сумісності цифрових даних з інформаційними системами та стандартами важливо дотримуватися принципів інтероперабельності. Це передбачає використання загальних організаційних та методичних засад при створенні геопросторових даних, що дозволяє забезпечити їх взаємодію та обмін між різними системами.

Для ефективного обміну та використання геопросторових даних у галузі геодезії необхідно дотримуватися міжнародних стандартів, таких як ДСТУ ISO 19101:2009. Цей стандарт забезпечує єдину концептуальну основу для географічної інформації, що є критично важливим для забезпечення інтероперабельності між різними інформаційними системами та платформами.

Дотримання таких стандартів дозволяє забезпечити сумісність даних, що є основою для ефективного обміну та використання геопросторової інформації. Це особливо важливо в умовах глобалізації та інтеграції різних інформаційних систем, де необхідно забезпечити безперешкодний доступ та обробку даних з різних джерел.

В умовах воєнного стану в Україні необхідно переглянути підходи до публічності геопросторових даних, оскільки деяка інформація може бути використана агресором для планування військових операцій. Особливо це

стосується ортофотопланів, топографічних карт та кадастрових карт з детальними відомостями про інфраструктури.

2.5 Доступність та якість даних

Категорія якості є однією з визначальних для оцінювання споживчих властивостей будь-якої продукції. За міжнародним стандартом ДСТУ ISO 9000-2001 якість визначається як ступінь, до якого сукупність власних характеристик продукції задовольняє вимоги.

Компоненти якості мають різну інтерпретацію залежно від стадії життєвого циклу (ЖЦ) геопросторових даних [15].

На етапі підготовки виробництва на основі аналізу потреб користувача розробляються технічні вимоги та вхідна модель якості на рівні типів (класів) геопросторових даних, визначених у специфікації.

На етапі виробництва формується масив документів з історією виробництва даних, здійснюється ретельний контроль результатів кожної технологічної операції виробництва даних. Завершується виробництво оцінювання якості набору даних в сенсі його відповідності вимогам виробничої специфікації даних. Об'єктами оцінювання є екземпляри типів об'єктів з усіма їх атрибутами. За результатами оцінювання якості набору даних формуються відповідні метадані та звіт про якість даних. Ці компоненти надаються виробником даних разом із даними в складі дата-продукту.

На етапі використання оцінюється ступінь відповідності даних, що постачаються, вимогам предметної сфери або прикладної задачі використання даних.

Розподіл помилок в геопросторових даних можна розглядати за фазами ЖЦ НГД:

- збирання даних: неточності польових вимірювань, неточність приладів, неточність ведення записів, помилки при аналізі даних, отриманих дистанційно;
- введення даних: помилки цифрування, нечіткість природних контурів об'єктів;
- збереження даних: числова неточність, просторова неточність (для растрових даних);

- опрацювання даних: неправильні класифікаційні інтервали, помилки при створенні контурів, помилки при геометричних побудовах, помилки в узгодженні топології;
- формування кінцевої продукції: похибки масштабування (для растрових даних), обмеження кінцевого формату даних;
- використання даних: неправильне розуміння структури та вмісту, некоректне використання даних, неадекватне застосування методів моделювання. Наприклад, використання показника густоти населення (людей на 1 кв. км) для розрахунку ймовірної чисельності населення для довільної частини території, обмеженої заданим контуром.

Згідно з міжнародним стандартом якість геопросторових даних подається із використанням кількісних та описових елементів якості. Описові елементи якості даних надають загальну не кількісну інформацію про якість. Вони дозволяють додатково оцінити придатність набору даних для конкретного застосування. Кількісні елементи якості геопросторових даних дають змогу оцінити, наскільки той чи інший набір даних відповідає критеріям, вказаним у специфікації дата-продукту. До кількісних елементів належать: повнота даних, логічна узгодженість, позиційна точність, тематична точність, часова точність і застосовність даних.

2.6 Міжнародні стандарти, національні нормативи та правові аспекти, що стосуються проведення геодезичних робіт, обробки даних та забезпечення якості результатів

Законодавство у сфері геодезії в Україні включає в себе численні нормативно-правові акти, які регламентують як технічні аспекти проведення геодезичних робіт, так і організаційні, а також забезпечують захист прав і інтересів громадян, підприємств та організацій у цій сфері.

Оскільки галузь геодезії постійно інтегрує нові технології, такі як супутникові навігаційні системи, геоінформаційні системи (ГІС), дронів технології та інші інновації, законодавство повинно оперативно реагувати на ці зміни та запроваджувати нові правила. Цей процес охоплює різні аспекти діяльності, від визначення стандартів якості та вимог до точності, до розвитку нових методів контролю та нагляду.

Основними нормативно-правовими актами в сфері геодезії є:

1. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV [1]. Цей закон визначає правові основи топографо-геодезичної та картографічної діяльності в Україні. Він регулює порядок виконання геодезичних та картографічних робіт, встановлює вимоги до їх якості та точності, а також визначає права та обов'язки суб'єктів цієї діяльності. Закон також встановлює порядок використання та зберігання геодезичних та картографічних матеріалів, що є основою для різних галузей економіки та державного управління.

2. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення державного обліку топографо-геодезичних і картографічних робіт» від 1 вересня 2023 р. № 938 [23]. Цей нормативно-правовий акт встановлює процедуру ведення державного обліку топографо-геодезичних та картографічних робіт в Україні, що дозволяє забезпечити їх доступність та використання для державних органів, підприємств та громадян. Постанова також встановлює вимоги до документування та зберігання результатів геодезичних та картографічних робіт, що є важливим для забезпечення їх достовірності та доступності.

3. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання функціонування Державного картографо-геодезичного фонду України» від 19 січня 2024 р. № 67 [13]. Цей нормативно-правовий документ визначає процедуру ведення Державного картографо-геодезичного фонду України, зокрема надходження, ведення обліку, зберігання, використання та ведення переліку топографо-геодезичних і картографічних матеріалів, що передаються до Держкартгеофонду, процедуру їх валідації. Поширюється на суб'єктів топографо-геодезичної і картографічної діяльності, які виготовляють, зберігають та використовують результати виконання загальнодержавних та спеціальних топографо-геодезичних і картографічних робіт, результати яких мають міжвідомче значення, для використання їх органами державної влади та органами місцевого самоврядування, а також фізичними та юридичними особами.

4. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 5 квітня 2007 р. № 877-V [24]. Цей закон встановлює основні засади державного нагляду та контролю у сфері

господарської діяльності, включаючи топографо-геодезичну та картографічну діяльність. Він визначає органи, які здійснюють нагляд та контроль, їх повноваження та процедури проведення перевірок. Закон також встановлює вимоги до суб'єктів господарювання щодо дотримання законодавства та стандартів у сфері геодезії та картографії.

5. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 7 серпня 2013 р. № 646 [25]. Постанова затверджує Порядок побудови Державної геодезичної мережі, а порядок в свою чергу визначає механізм побудови Державної геодезичної мережі із застосуванням сучасних глобальних навігаційних супутникових систем, строгих математичних методів оброблення даних та інформаційних технологій, а також традиційних геодезичних методів.

6. Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України «Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» від 9 квітня 1998 р. № 56 [26]. Цей наказ встановлює вимоги та методику проведення топографічного знімання в зазначених масштабах, визначає порядок виконання знімальних робіт, вимоги до точності та якості отриманих матеріалів, а також процедури їх обробки та використання. Інструкція є основним документом для виконання топографічних знімальних робіт в Україні. Також інструкція встановлює норми побудови геодезичної основи для виконання великомасштабних знімань.

7. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку охорони геодезичних пунктів» від 8 листопада 2017 р. № 836 [27]. Цей нормативно-правовий акт регулює порядок охорони геодезичних пунктів в Україні. Він встановлює вимоги до збереження та захисту геодезичних пунктів, що є основою для проведення геодезичних вимірювань та забезпечення точності геодезичних даних. Постанова також визначає органи, відповідальні за охорону геодезичних пунктів, та процедури їх відновлення у разі пошкодження або знищення.

8. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Порядку обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі» від 3 листопада 2014 р. № 435 [28]. Цей наказ встановлює порядок обстеження та оновлення геодезичних пунктів, що є основою для проведення

точних геодезичних вимірювань. Він забезпечує підтримку актуальності та точності геодезичних мереж в Україні.

9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» від 4 вересня 2013 р. № 661 [12]. Цей документ регулює порядок проведення загальнодержавного топографічного та тематичного картографування в Україні. Він визначає процедури планування, виконання та контролю за виконанням картографічних робіт, а також вимоги до якості та точності картографічних матеріалів. Постанова також встановлює порядок використання та поширення картографічної продукції, що є важливим для різних сфер діяльності.

10. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) за топографо-геодезичною і картографічною діяльністю Державною службою з питань геодезії, картографії та кадастру» від 19 вересня 2018 р. № 765 [29]. Ця постанова визначає критерії, за якими оцінюється ступінь ризику в провадженні господарської діяльності в сфері топографо-геодезичних та картографічних робіт. Вона також встановлює періодичність перевірок і планових заходів державного нагляду, що забезпечує ефективний контроль за виконанням стандартів у цих сферах.

11. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Вимог до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт» від 11 лютого 2014 р. № 65 [30]. Цей наказ встановлює вимоги до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт, зокрема щодо застосування обладнання, програмного забезпечення та методик. Він забезпечує високі стандарти якості виконуваних робіт.

12. Постанова Кабінету Міністрів України «Про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру» від 14 січня 2015 р. № 15 [31]. Ця постанова визначає основні функції та повноваження Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру, яка здійснює контроль і регулювання в цих сферах. Вона також визначає організаційну структуру служби.

13. ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва» [32] визначають основні положення, етапи, склад та загальні технічні вимоги

проведення інженерно-геодезичних вишукувань, але детально не регламентують методи і технології проведення інженерно-геодезичних вишукувань – вони є предметом розгляду спеціальних інструкцій і посібників.

14. ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [33] встановлює склад та зміст проектної документації на нове будівництво, реконструкцію та капітальний ремонт будівель і споруд будь-якого призначення, їх комплексів та частин.

15. ДБН В.1.3-2:2010 «Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві [34]. Геодезичні роботи у будівництві» встановлюють загальні правила проектування, виконання та приймання геодезичних робіт, які потрібно виконувати під час будівництва, реконструкції, технічного переоснащення об'єктів будівництва будь-якого призначення.

Основні стандарти та законодавство в сфері розвитку національної інфраструктури геопросторових даних наведено у попередніх розділах.

2.7 Національна інфраструктура геопросторових даних

Національна інфраструктура геопросторових даних (НІГД) формується як взаємопов'язана сукупність організаційної структури, технічних і програмних засобів, базових та тематичних наборів геопросторових даних, метаданих, сервісів, технічних регламентів, стандартів, технічних специфікацій, необхідних для виробництва, оновлення, оброблення, зберігання, оприлюднення, використання геопросторових даних та метаданих, іншої діяльності з такими даними.

В інфраструктурі геопросторових даних визначаються такі компоненти [15]:

- нормативно-правове та інституційне забезпечення;
- набори базових геопросторових даних;
- набори тематичних геопросторових даних;
- метадані та каталоги метаданих для забезпечення пошуку і доступу до геопросторових даних;
- технічні регламенти і стандарти на геопросторові дані, метадані та геоінформаційні сервіси;

– програмно-технологічні засоби формування і актуалізації геопросторових даних, WEB-картографування – Геопортали (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Загальна структура НІГД [15]

Геоportал визначається як комплекс програмно-технічних засобів, мережевих сервісів та сервісів геопросторових даних, що забезпечують відображення в мережі Інтернет геопросторових даних та метаданих, а також доступ користувачів до таких даних. Організаційно-технологічну основу функціонування НІГД складають геоportали, що за допомогою геоінформаційних сервісів взаємодіють в мережі Інтернет:

- національний геоportал
- геоportали органів виконавчої влади (галузеві геоportали)
- геоportали органів місцевого самоврядування
- геоportали підприємств та локальних територій.

Національний геоportал – офіційний геоportал національної інфраструктури геопросторових даних, що забезпечує оприлюднення та доступ до геопросторових даних та метаданих.

Національна інфраструктура геопросторових даних включає мережу геоportалів, причому характерною особливістю такої мережі є інформаційна взаємодія на основі спеціальних геоінформаційних сервісів, які підтримують федерацію систем баз геопросторових даних, що можуть бути географічно децентралізовані, але об'єднані в єдину мережу (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Мережа геоportalів НІГД

На національному геоportalі забезпечується доступ користувачів до наборів базових геопросторових даних в масштабах 1:10 000 та 1:50 000 і тематичних геопросторових даних про геопросторові об'єкти загальнодержавного значення та метадані про геопросторові дані і сервіси у складі національної інфраструктури геопросторових даних.

На галузевих геоportalах забезпечується доступ користувачів до наборів тематичних геопросторових даних і метаданих, держателями яких є органи виконавчої влади.

На геоportalах органів місцевого самоврядування – територіальних громад забезпечується доступ користувачів до деталізованих наборів базових геопросторових даних в масштабах 1:2000 та 1:500 і тематичних геопросторових даних і метаданих про геопросторові об'єкти, що розташовані на території районів, міст, селищ або сіл, держателями яких є органи місцевого самоврядування.

На геоportalах підприємств та локальних територій забезпечується доступ користувачів до деталізованих наборів базових і тематичних геопросторових даних і метаданих про геопросторові об'єкти, що розташовані на території підприємств або інших територіальних об'єктів, виділених за природоохоронними, ландшафтними, планувальними або іншими ознаками, держателями яких є установи, підприємства та організації відповідно до закону.

На Держателя геопросторових даних покладена відповідальність за достовірність, повноту, точність і актуальність геопросторових даних та метаданих.

Що стосується забезпечення доступу до геопросторових даних, то:

- держателі даних, у тому числі органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування, мають право створювати та розвивати доступ до даних один одного без застосування сервісів національного геопорталу;
- доступ користувачів до геопросторових даних та метаданих забезпечується через геопортали держателів даних та офіційний веб-сайт національної інфраструктури геопросторових даних;
- доступ до геопросторових даних та метаданих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування забезпечується безоплатно для всіх користувачів, якщо інше не встановлено законом.

Органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування, юридичні особи публічного права, суб'єкти природних монополій зобов'язані оприлюднювати за допомогою сервісів національного геопорталу метадані, які є у їх володінні, а фізичні та інші юридичні особи мають право оприлюднювати за допомогою сервісів національного геопорталу метадані, які є у їх володінні.

3 ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗБОРУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ, ОГЛЯД ПЕРЕДОВИХ РОЗРОБОК

3.1 Інноваційні розробки та технології в геодезії і картографії

Геодезія та картографія активно інтегрують інноваційні технології, що значно підвищують точність, ефективність та швидкість виконання робіт. Ось деякі з ключових інноваційних розробок у цих галузях.

Геоінформаційні системи (ГІС) є потужними інструментами для збору, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних, що є основою для прийняття обґрунтованих рішень у плануванні територій, управлінні земельними ресурсами та моніторингу навколишнього середовища.

ГІС дозволяють створювати детальні карти та моделі територій, що включають інформацію про землекористування, інфраструктуру, природні

ресурси та екологічні умови. Це дає змогу ефективно планувати розвиток населених пунктів, розміщення об'єктів інфраструктури та оцінювати вплив планованих змін на навколишнє середовище. Наприклад, у плануванні та управлінні територіями населених пунктів ГІС використовуються для аналізу фізико-географічних, екологічних та соціально-економічних умов, що сприяє більш ефективному управлінню ресурсами та розвитку інфраструктури.

ГІС забезпечують інтеграцію та аналіз даних про земельні ділянки, включаючи інформацію про власників, орендарів, статус земель, нормативну грошову оцінку та терміни дії договорів оренди. Це дозволяє органам влади та підприємствам ефективно управляти земельними ресурсами, здійснювати моніторинг використання земель та приймати обґрунтовані рішення щодо їх використання та охорони. Наприклад, геоінформаційна система управління земельними ресурсами містить відомості про власників та орендарів земельних ділянок, їх статус, нормативну грошову оцінку, терміни дії договорів оренди та багато іншої інформації, що сприяє ефективному управлінню земельними ресурсами.

ГІС використовуються для збору та аналізу даних про стан навколишнього середовища, включаючи якість повітря, води, ґрунтів, а також моніторинг біорізноманіття та природних ресурсів. Це дозволяє своєчасно виявляти екологічні проблеми, оцінювати ризики та розробляти заходи щодо охорони навколишнього середовища. Наприклад, геоінформаційна система природоохоронної території є сучасним інструментом управління розвитком об'єкта та підтримки прийняття рішень у вигляді багатоваріантної карти, що забезпечує фахівців актуальними просторовими даними та сприяє розвитку екологічно орієнтованих видів туризму.

Завдяки можливості інтеграції різноманітних даних та проведення просторового аналізу, ГІС є потужним інструментом для підтримки прийняття рішень у різних галузях діяльності. Вони дозволяють візуалізувати інформацію, оцінювати різні сценарії та прогнози, що сприяє більш обґрунтованому та ефективному управлінню територіями та ресурсами. Наприклад, у галузі управління територіями ГІС дозволяють по-новому, більш глибоко поглянути на проблему територіального планування та управління територією, що сприяє більш ефективному управлінню ресурсами та розвитку інфраструктури.

Лазерне сканування та 3D-моделювання є важливими інструментами в геодезії та картографії, що дозволяють створювати точні тривимірні моделі об'єктів та місцевості.

Лазерні сканери використовують лазерні промені для вимірювання відстаней до об'єктів, створюючи детальну хмару точок, яка відображає геометрію сканованого об'єкта або місцевості. Цей метод дозволяє швидко та точно збирати дані про складні структури, включаючи будівлі, інженерні споруди та природні ландшафти. Завдяки високій точності та швидкості лазерного сканування, цей метод широко використовується для створення тривимірних моделей складних інженерних споруд і технологічного обладнання з високим ступенем деталізації та точності.

Отримані з лазерного сканування дані у вигляді хмари точок обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для створення 3D-моделей. Ці моделі можуть бути використані для різних цілей, таких як аналіз деформацій будівель, планування реконструкцій, моніторинг стану інженерних споруд та збереження пам'яток культурної спадщини.

Переваги використання лазерного сканування та 3D-моделювання:

- висока точність: лазерне сканування забезпечує високу точність вимірювань, що дозволяє створювати детальні та точні 3D-моделі;
- швидкість збору даних: цей метод дозволяє швидко збирати великі обсяги даних, що особливо корисно при скануванні великих територій або складних об'єктів;
- безконтактність: лазерне сканування є безконтактним методом, що знижує ризик пошкодження об'єктів під час зйомки;
- універсальність: отримані 3D-моделі можуть бути використані для різних цілей, таких як аналіз, планування, реконструкція та збереження культурної спадщини.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали важливим інструментом у геодезії та картографії, забезпечуючи ефективний та точний збір геопросторових даних.

БПЛА оснащені високоточними камерами, що дозволяє здійснювати аерофотозйомку з висоти, необхідної для отримання детальних зображень місцевості. Ці зображення обробляються для створення ортофотопланів — геопросторових зображень, які враховують геометричні спотворення та мають

точні географічні координати. Ортофотоплани використовуються для аналізу території, планування забудови, моніторингу навколишнього середовища та інших цілей.

Зображення, отримані за допомогою БПЛА, дозволяють створювати цифрові моделі рельєфу місцевості. Ці моделі відображають висотні характеристики території та використовуються для аналізу ландшафтних особливостей, планування інфраструктури, оцінки ризиків повеней та інших природних явищ.

БПЛА ефективно використовуються для моніторингу стану інженерних споруд, таких як мости, дамби, лінії електропередач. Регулярні аерофотозйомки дозволяють виявляти деформації, пошкодження або зношеність конструкцій, що сприяє своєчасному вжиттю заходів щодо їх ремонту або реконструкції.

У гірничодобувній промисловості БПЛА використовуються для оцінки обсягів видобутку корисних копалин відкритим способом. Завдяки високій точності зйомки можна визначати обсяги видобутих матеріалів, планувати подальші роботи та оцінювати вплив на навколишнє середовище.

У сільському господарстві БПЛА використовуються для моніторингу стану посівів, виявлення хвороб та шкідників, оцінки врожайності та планування внесення добрив. Це дозволяє фермерам ефективно управляти ресурсами та підвищувати продуктивність.

Використання БПЛА в оперативній картографії дозволяє швидко отримувати актуальні карти та моделі місцевості, що є особливо важливим у випадках, коли необхідно оперативно реагувати на зміни або надзвичайні ситуації.

Використання БПЛА в навчальних процесах дозволяє студентам та фахівцям здобувати практичні навички збору та обробки геопросторових даних, що підвищує якість підготовки кадрів у галузі геодезії та картографії.

MultiStation – це високотехнологічний геодезичний прилад, який поєднує функції тахеометра, 3D-лазерного сканера, GNSS-приймача та цифрової камери в одному пристрої. Таке поєднання дозволяє здійснювати точні вимірювання та створювати детальні 3D-моделі місцевості, що значно підвищує ефективність та точність геодезичних робіт.

Використання MultiStation в геодезії та картографії дозволяє значно скоротити час на виконання польових робіт, підвищити точність вимірювань та забезпечити більш детальне та точне відображення місцевості в 3D-моделях.

Технологія SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) дозволяє пристроям одночасно визначати своє місцезнаходження та створювати карту навколишнього середовища. Це особливо корисно в умовах відсутності GNSS-сигналу, таких як підземні приміщення, тунелі або густі міські райони. SLAM широко використовується в робототехніці, автономних транспортних засобах та мобільному картографуванні.

У мобільному картографуванні SLAM інтегрує дані з різних сенсорів, таких як лазерні сканери, камери та інерціальні вимірювальні одиниці, для створення точних 3D-карт місцевості. Це дозволяє швидко та ефективно збирати дані про навколишнє середовище без необхідності встановлення фіксованих точок вимірювання. Наприклад, компанія FARO представила мобільний сканер Orbis Premium, оснащений технологією SLAM, який здатний створювати деталізовані кольорові 3D-дані та панорамні зображення.

Використання SLAM у мобільному картографуванні значно покращує швидкість, точність та охоплення робочого процесу, дозволяючи створювати детальні карти та моделі місцевості в реальному часі. Це особливо важливо для таких застосувань, як моніторинг інфраструктури, планування міського розвитку та оцінка стану будівель.

Завдяки своїй здатності працювати без GNSS-сигналу, SLAM є незамінним інструментом у сучасних геодезичних та картографічних дослідженнях, забезпечуючи високу точність та ефективність збору просторових даних.

Сучасні глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) забезпечують високоточне глобальне позиціонування, що є критично важливим для геодезичних вимірювань, картографії та навігації. Використання GNSS дозволяє отримувати точні координати в реальному часі, підвищуючи ефективність польових робіт.

Основні сучасні GNSS:

- GPS (Global Positioning System): розроблена Міністерством оборони США, GPS є однією з найвідоміших та широко використовуваних систем. Вона забезпечує глобальне покриття та доступна для цивільного використання.

- Galileo: європейська супутникова система навігації, створена як альтернатива американській GPS. Вона перебуває під контролем цивільних відомств і забезпечує високу точність позиціонування.

- BeiDou: китайська система супутникової навігації, яка забезпечує глобальне покриття та високу точність позиціонування.

- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System): японська система супутникової навігації, яка забезпечує покриття в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Сучасні GNSS використовують багаточастотні сигнали, що дозволяє підвищити точність позиціонування та зменшити вплив атмосферних явищ. Наприклад, перехід від односмугових до двосмугових діапазонів GNSS дозволяє досягти більш високої точності визначення координат.

Для підвищення точності позиціонування використовуються додаткові системи, такі як:

- SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems): системи, які використовують геостаціонарні супутники для передачі корекційних даних, підвищуючи точність позиціонування.

- RTK (Real-Time Kinematic): метод, який використовує базові станції для передачі корекційних даних в реальному часі, забезпечуючи точність до сантиметрів.

Використання сучасних GNSS та додаткових систем дозволяє досягти високої точності позиціонування, що є критично важливим для геодезичних вимірювань, картографії та навігації.

Лідарні технології (LiDAR) використовує лазерне сканування для збору даних про поверхню землі, що дозволяє створювати детальні 3D-моделі місцевості.

Однією з ключових особливостей LiDAR є його здатність працювати в різних умовах освітлення та погоди. На відміну від оптичних методів, LiDAR не залежить від природного освітлення та може ефективно працювати в умовах туману, дощу або вночі.

Крім того, LiDAR здатний проникати крізь рослинний покрив, що дозволяє отримувати дані про підлісок та ґрунт, навіть у густих лісах.

Завдяки своїй точності та здатності працювати в різних умовах, LiDAR є потужним інструментом для збору та аналізу геопросторових даних, що сприяє розвитку науки, технологій та ефективному управлінню природними ресурсами.

Цей метод є надзвичайно корисним, наприклад:

- Геодезія та картографія: LiDAR дозволяє швидко та точно створювати цифрові моделі рельєфу, що є основою для розробки карт та планів територій. Це особливо важливо для моніторингу змін ландшафту та планування інфраструктури.

- Моніторинг навколишнього середовища: Завдяки здатності проникати крізь рослинний покрив, LiDAR використовується для оцінки структури лісів, визначення обсягів деревини та моніторингу змін у рослинності. Це допомагає в дослідженнях екосистем та оцінці впливу змін клімату.

- Сільське господарство: LiDAR застосовується для моніторингу стану посівів, оцінки вологості ґрунту та планування зрошення. Це дозволяє фермерам оптимізувати використання ресурсів та підвищити врожайність.

- Безпілотні літальні апарати (дрони): LiDAR інтегрується в дрони для збору даних про місцевість, що особливо корисно для картографії, моніторингу лісів та оцінки лавинної небезпеки.

- Автономні транспортні засоби: LiDAR використовується в системах автономного водіння для створення детальних 3D-карт навколишнього середовища, що дозволяє транспортним засобам орієнтуватися та уникати перешкод.

- Археологія: LiDAR допомагає виявляти приховані під землею структури та аналізувати ландшафт, що є корисним для дослідження стародавніх цивілізацій.

- Охорона природи: LiDAR використовується для моніторингу стану природних територій, виявлення змін у ландшафті та оцінки впливу людської діяльності на навколишнє середовище.

Цифрові технології значно трансформують процеси планування територій, забезпечуючи більш точне та ефективне управління земельними ресурсами. Використання цифрових моделей місцевості, рельєфу та ортофотопланів дозволяє створювати детальні 3D-моделі, що полегшують аналіз та прийняття рішень у проектуванні та розвитку територій.

3.2 Принципи та методи інформаційного моделювання будівель (BIM)

Однією з ключових технологій у цьому контексті є інформаційне моделювання будівель (BIM). BIM передбачає створення цифрових моделей будівель та інфраструктури, які містять не лише геометричні дані, але й інформацію про матеріали, технічні характеристики та інші важливі аспекти. Цей підхід дозволяє оптимізувати процеси проектування, будівництва та експлуатації об'єктів, знижуючи витрати та підвищуючи ефективність.

В Україні впровадження BIM-технологій активно підтримується на державному рівні. Наприклад, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України акцентує увагу на необхідності інтеграції цифрових технологій у процеси планування та розвитку територій, що відповідає вимогам ЄС. Застосування BIM у плануванні територій дозволяє створювати інтегровані інформаційні моделі, які об'єднують дані про земельні ресурси, інфраструктуру, екологічні умови та інші важливі фактори. Це сприяє більш ефективному управлінню територіями, зменшенню ризиків та підвищенню якості прийнятих рішень.

Аналіз передових технічних засобів отримання геопросторової інформації з кожним роком досягає нових вершин.

Сучасний напрямок розвитку будівельної галузі рухається до об'єднаної парадигми архітектурної та конструктивної форми – алгоритмічної архітектури.

Наразі всі провідні розробники будівельних САПР – Autodesk, Nemetschek, Graphisoft та ін. – підтримують у своїх продуктах технологію BIM. Для сумісності різних програм був розроблений спеціальний формат обміну даним – IFC. Початково запроваджений для комплексів Autodesk Revit та Tekla, IFC поступово став буфером обміну повних даних без втрати найціннішого – інформаційного наповнення [35].

BIM є сумою технологій, наслідком еволюції систем імітаційного моделювання. Це відповідь на зростаючу складність функції та підсистем її обслуговування у будівлях, на вимоги сучасності до форми конструкцій як з архітектурної, так і конструктивної точки зору. Сучасні BIM укрупнюють підсистеми будівлі в один супероб'єкт, що вже реалізовано у деяких комплексах. Вочевидь укрупнення і взаємointegraція BIM не може залишитися у межах будівлі. Наразі системи BIM кожної споруди органічно виходять на рівень

інтеграції у міське середовище. Це зумовлює перехід BIM-технологій у 4D та SD-системи. 4D вже широко застосовується у локальних BIM, дозволяючи моделювати монтаж елементів каркасу та огороження. SD-системи мають на увазі накопичення якісних даних BIM. Таким чином, сучасні BIM-системи є частиною інформаційних систем (I-Model), які накопичують і несуть інформацію щодо явищ природи, з якими ми взаємодіємо, соціально-економічну історію життя людей.

BIM виходить за межі проєктування і нерозривно застосовується для виробництва, експлуатації, діагностики будівель, слугує інформаційним кластером наповнення відомостями щодо взаємодії між системами будівлі, моделей їх деградації у реальних умовах, даних щодо ергономіки, екології при експлуатації та утилізації – так утворюється Цифрове Місто. Джерелами наповнення при цьому виступають автоматизовані системи моніторингу із стаціонарними датчиками отримання інформації у реальному часі, а також люди, які є кінцевими експлуатантами будівлі та мають датчики у мобільних пристроях. Неминуха інтеграція BIM із іншими глобальними інформаційними інструментами, такими як соціальні мережі, GPS, системами моніторингу даних щодо навантажень та впливів на будівлю, її взаємодії із середовищем.

4 СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ

4.1 Державна геодезична мережа, сучасні методи побудови та моніторингу пунктів ДГМ

Побудова Державної геодезичної мережі (ДГМ) в Україні визначається Порядком побудови Державної геодезичної мережі, який затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646 [25].

Державна геодезична мережа складається з мережі геодезичних пунктів, рівномірно розміщених на території держави, що забезпечує поширення систем координат і висот та гравіметричної системи і є вихідною для створення інших мереж.

Структура ДГМ представлена на рисунку 4.1. Складовими ДГМ є геодезична (планова), нівелірна (висотна) та гравіметрична мережі, пункти яких повинні бути суміщені або мати між собою надійний геодезичний зв'язок.

Геодезична (планова) мережа поділяється на:

- Українську постійно діючу (перманентну) мережу спостережень глобальних навігаційних супутникових систем;
- геодезичну (планову) мережу 1 класу;
- геодезичну (планову) мережу 2 класу;
- геодезичну (планову) мережу 3 класу.



Рисунок 4.1 – Структура ДГМ [36]

Геодезичні пункти Державної геодезичної мережі є вихідними пунктами для побудови геодезичних мереж спеціального призначення.

Геодезична (планова) мережа забезпечує поширення на території країни Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000, яка застосовується як єдина система координат.

Геодезична (планова) мережа 1 класу (ГМ-1) будується у формі однорідної за точністю просторової геодезичної мережі, яка складається із системи рівномірно розміщених по території країни геодезичних пунктів, віддалених

один від одного на 30-50 кілометрів. Довкола великих міст і промислових районів відстань між геодезичними пунктами ГМ-1 становить 20-40 кілометрів.

Просторове положення геодезичних пунктів ГМ-1 визначається винятково методами супутникових геодезичних спостережень у загальноземній, європейській та референційній системах координат з відносною похибкою $\Delta p/p = 1:10^{-6}$.

Кожний геодезичний пункт ГМ-1 повинен бути зв'язаний геодезичними вимірюваннями не менш як з трьома суміжними пунктами зазначеної мережі.

Нормальні висоти пунктів ГМ-1 визначаються геометричним нівелюванням або GPS-нівелюванням. GPS-нівелювання виконується відносними методами супутникової геодезії з урахуванням висот квазігеоїда, визначених за результатами супутникових геодезичних спостережень, з урахуванням результатів гравіметричних вимірювань, які забезпечують середню квадратичну похибку взаємного положення пунктів за висотою не більше 0,05 метра.

Геодезична (планова) мережа 2 класу (ГМ-2) розміщуються на відстані 8–12 кілометрів один від одного, а на території міських населених пунктів, великих промислових об'єктів – 5–8 кілометрів, їх положення визначається, як правило, відносними методами супутникових геодезичних спостережень, а також традиційними лінійно-кутовими методами (тріангуляції, трилатерації та полігонометрії).

Нормальні висоти геодезичних пунктів ГМ-2 визначаються геометричним нівелюванням або GPS-нівелюванням. GPS-нівелювання виконується відносними методами супутникової геодезії з урахуванням висот квазігеоїда, визначених за результатами супутникових геодезичних спостережень з урахуванням результатів гравіметричних вимірювань, які забезпечують середню квадратичну похибку взаємного положення пунктів за висотою не більше 0,05 метра.

Геодезична (планова) мережа 3 класу (ГМ-3) будується з метою збільшення кількості геодезичних пунктів до щільності, яка забезпечує створення знімальної основи великомасштабних топографічних та кадастрових зйомок, і включає наявні геодезичні (планові) мережі 3 та 4 класу, побудовані згідно з вимогами Основних положень про державну геодезичну мережу СРСР 1954-1961 років з подальшим перевизначенням та переведенням геодезичних пунктів 4 класу у 3 клас, а також нові геодезичні пункти 3 класу визначені

методами супутникових геодезичних спостережень і традиційними лінійно-кутовими методами.

Нормальні висоти геодезичних пунктів ГМ-3 визначаються геометричним нівелюванням або GPS-нівелюванням. GPS-нівелювання виконується відносними методами супутникової геодезії з урахуванням висот квазігеоїда, визначених за результатами гравіметричних вимірювань, які забезпечують середню квадратичну похибку взаємного положення пунктів за висотою не більше 0,05 метра.

Нівелірні (висотні) мережі I та II класу є висотною основою країни, яка забезпечує поширення єдиної системи висот на всій її території, а також використовується для визначення вертикальних рухів земної кори. Нівелірні (висотні) мережі III і IV класу створюються з метою згущення висотної основи для забезпечення топографічної зйомки всіх масштабів та розв'язання інженерних задач. Нівелювання IV класу може виконуватися також методом GPS нівелювання із застосуванням відносних методів супутникової геодезії з урахуванням висот квазігеоїда.

Вимоги до побудови ДГМ визначаються Порядком побудови Державної геодезичної мережі [25].

Геодезичний моніторинг Державної геодезичної мережі включає:

- моніторинг стану та стабільності геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі;
- спостереження за горизонтальними і вертикальними деформаціями земної поверхні, зміною величин прискорення у вільному падінні на території країни.

Моніторинг геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі проводиться Держгеокадастром шляхом забезпечення систематичного та періодичного обстеження їх стану.

Систематичне обстеження та оновлення геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі здійснюються виконавцями геодезичних робіт на окремих територіях під час проведення топографо-геодезичних робіт, земельно-кадастрової зйомки, інженерно-геодезичних вишукувань, пов'язаних з використанням геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі. Результати обстеження геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі заносяться до банку геодезичних даних.

Періодичне обстеження та оновлення геодезичних, гравіметричних пунктів і нівелірних реперів проводяться у міру потреби але не рідше ніж один раз на 10 років, а на території міст і зон активної господарської діяльності – не рідше ніж один раз на п'ять років.

Спостереження за деформаційними процесами та складення карти сучасних рухів земної поверхні проводяться з метою отримання достовірної інформації про рухи земної поверхні, спричинені високим техногенним навантаженням, та оцінки їх впливу на просторову стабільність геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі. Періодичні спостереження за сучасними рухами земної поверхні території країни проводяться методами супутникових геодезичних спостережень, геометричного нівелювання I, II класу, а також у ході відносних гравіметричних спостережень у геодезичних пунктах Державної геодезичної мережі.

Періодичність спостережень на локальних ділянках, на яких можлива активізація небезпечних геологічних процесів, та на територіях інтенсивного техногенного навантаження визначається з урахуванням спеціальних геодезичних, маркшейдерських та геологічних даних і проводиться в рамках окремих технічних проєктів.

4.2 Мережа референтних базових станцій

Українська постійно діюча (перманентна) мережа спостережень глобальних навігаційних супутникових систем забезпечує безперервне відтворення загальноземної та європейської геодезичної систем координат і редукування результатів спостережень, координатних визначень на єдину епоху з урахуванням релятивістських ефектів припливних та інших рухів земної кори.

Функціонування української постійно діючої (перманентної) мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем забезпечується в результаті скоординованої діяльності відповідних органів виконавчої влади та Національної академії наук з використанням технічних засобів спостереження за орбітальними угрупованнями навігаційних систем типу NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, Galileo з метою задоволення потреб національної економіки і населення держави.

Українська постійно діюча (перманентна) мережа спостережень глобальних навігаційних супутникових систем включає:

- постійно діючі станції спостережень глобальних навігаційних супутникових систем, на яких безперервно проводяться комплексні супутникові, астрономо-геодезичні, гравіметричні та геофізичні спостереження;
- періодично діючі станції спостережень глобальних навігаційних супутникових систем, на яких не рідше одного разу на п'ять років проводяться комплексні супутникові, астрономо-геодезичні, гравіметричні та геофізичні спостереження;
- центри оброблення інформації (Центр геодезичних досліджень Науково-дослідного інституту геодезії і картографії, Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук та Центр контролю навігаційного поля ДКА).

Просторове положення станцій української постійно діючої (перманентної) мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем визначається методами супутникових геодезичних спостережень в загальноземній системі координат з відносною похибкою $\Delta p/p = 1:10^{-8}$ (Δp – середня квадратична похибка визначення вектора p) за середньої відстані між ними 100–300 кілометрів.

Частина станцій української постійно діючої (перманентної) мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем включена у Європейську перманентну мережу – European Permanent Network (EPN) та мережу станцій Міжнародної служби геодинаміки – International GPS Geodynamics Service (IGS).

Мережі референтних базових станцій GNSS (Global Navigation Satellite System) в Україні є критично важливими для забезпечення високої точності геодезичних вимірювань та навігаційних застосувань. Ці мережі складаються з постійно діючих станцій, які отримують сигнали від супутників GNSS і передають корекційні дані користувачам у реальному часі.

Принцип роботи мережі референтних базових станцій полягає в тому, що кожна станція отримує сигнал від супутників і передає свої координати разом із корекціями на основі даних з інших базових станцій або супутникових систем.

Отримання супутникових сигналів: кожна базова станція постійно отримує сигнали від супутників GNSS, таких як GPS, ГЛОНАСС, Galileo та інших. До функцій мережі референтних базових станцій відносяться:

- обчислення похибок – порівнюючи отримані сигнали з відомими координатами своєї позиції, станція визначає похибки, зумовлені різними факторами, такими як атмосферні умови, мультипасування сигналів та інші джерела помилок;

- генерація корекційних даних – на основі обчислених похибок станція генерує корекційні дані, які дозволяють зменшити або усунути ці помилки у вимірюваннях;

- передача корекційних даних – корекційні дані передаються користувачам через різні канали зв'язку, такі як мобільні мережі, Інтернет або спеціалізовані радіоканали;

- використання корекцій користувачами – користувачі, оснащені GNSS-приймачами, отримують ці корекції та застосовують їх до своїх вимірювань, що дозволяє досягти високої точності позиціонування.

Переваги використання таких мереж:

- підвищена точність – завдяки корекціям, наданим базовими станціями, точність GNSS-вимірювань може досягати сантиметрового рівня;

- реальний час – корекційні дані передаються в реальному часі, що дозволяє здійснювати точне позиціонування без необхідності в постобробці даних;

- широке покриття – мережі базових станцій забезпечують покриття на значних територіях, що особливо важливо для великих країн, таких як Україна;

- економія ресурсів – користувачі можуть отримувати корекції без необхідності встановлення власних базових станцій, що знижує витрати на обладнання та обслуговування.

4.3 Побудова мереж спеціального призначення та знімальних мереж

Побудова геодезичних мереж спеціального призначення та знімальних мереж визначається Інструкцією з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500 [37]. У зв'язку з тим, що згадана інструкція була прийнята у 1998 р. і вже застаріла, то зараз проходить обговорення Проект Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 [38].

До геодезичних мереж спеціального призначення належать:

- геодезичні мережі згущення 4 класу та 1 і 2 розряду, 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.

Складовими геодезичних мереж спеціального призначення є:

- геодезична (планова) мережа;
- нівелірна (висотна) мережа;
- мережа постійно діючих станцій спостережень глобальних навігаційних супутникових систем (станції ГНСС).

Пункти геодезичних мереж спеціального призначення повинні бути суміщені або між ними встановлено надійний геодезичний зв'язок.

Планові геодезичні мережі спеціального призначення створюють методами: ГНСС-спостережень; лінійно-кутових побудов; полігонометрії; комбінованого з поєднанням цих методів. Висотні геодезичні мережі спеціального призначення створюють методами: геометричного нівелювання III, IV класів; технічного нівелювання; тригонометричного нівелювання.

Знімальні геодезичні мережі є основою для виконання топографічних зйомок усіх масштабів та інших топографо-геодезичних робіт. Знімальні геодезичні мережі поділяються на планові і висотні. Планові знімальні геодезичні мережі створюють методами: ГНСС-спостережень; лінійно-кутових побудов; комбінованого з поєднанням цих методів. Висотні знімальні геодезичні мережі створюють методами: технічного нівелювання; тригонометричного нівелювання.

Координати пунктів знімальних геодезичних мереж визначають побудовою теодолітних ходів, прямими, оберненими та комбінованими засічками, методом супутникових геодезичних спостережень. Висоти пунктів знімальної мережі визначають геометричним нівелюванням, тригонометричним нівелюванням та методом супутникових геодезичних спостережень з використанням моделі квазігеоїда (ГНСС-нівелювання).

Розвиток знімальних геодезичних мереж для створення топографічних планів у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 може виконуватись теодолітними ходами або методом супутникових геодезичних спостережень, зокрема у режимі реального часу (RTK) у мережі активних станцій ГНСС.

Під час використання супутникових геодезичних приймачів для визначення точок знімальної геодезичної мережі із застосуванням технологій RTK перевіряється диференційне поле координатних поправок, які задаються мережами станцій ГНСС. Контроль диференційного поля координатних поправок під час роботи з використанням технологій RTK здійснюється не менш ніж на двох найближчих пунктах ДГМ або геодезичних мереж спеціального призначення, координати яких отримують в адміністратора банку геодезичних даних.

4.4 Особливості GNSS вимірювань в умовах воєнного стану

У контексті збройної агресії Російської Федерації питання точності геодезичних вимірювань набуває особливої актуальності через ризик спуфінгу та джемінгу GNSS (Global Navigation Satellite System) систем. Спуфінг передбачає передачу підроблених сигналів, що змушує приймачі GNSS обчислювати неточне положення та/або час, в той час як джемінг полягає в глушінні або завадженні GNSS сигналів, що призводить до втрати навігаційної інформації.

В умовах збройної агресії російської федерації проти України такі методи можуть бути використані для дезорієнтації навігаційних систем, що критично важливо для безпеки та ефективності операцій. Наприклад, спуфінг може призвести до того, що безпілотні літальні апарати або інші автономні системи отримуватимуть хибні координати, що може вплинути на їхню здатність виконувати завдання або навіть призвести до втрати контролю над ними.

Для протидії цим загрозам розробляються нові методи інтеграції різних навігаційних технологій, таких як інерціальні навігаційні системи (INS) та радіолокаційні системи, що дозволяє забезпечити більш надійне позиціонування навіть у разі втрати GNSS сигналу або його спотворення. Такі гібридні системи можуть компенсувати недоліки окремих технологій та підвищити стійкість до спуфінгу та джемінгу.

Крім того, застосування спеціальних антен та фільтрів допомагає зменшити вплив спуфінгу та джемінгу. Наприклад, антенні системи з високою спрямованістю можуть знижувати ймовірність прийому підроблених сигналів, а фільтри – відфільтровувати небажані частоти, що зменшує вплив джемінгу.

Враховуючи важливість точності геодезичних вимірювань у військових умовах, постійно ведеться робота над удосконаленням методів протидії спуфінгу та джемінгу, що включає розробку нових алгоритмів обробки сигналів, вдосконалення апаратного забезпечення та інтеграцію з іншими навігаційними системами для забезпечення надійності та точності позиціонування.

4.5 Сучасні аспекти використання GNSS технологій при проведенні інженерно-геодезичних вишукувань

Технології мульти-системного прийому – використання мульти-системного прийому сигналів GNSS, зокрема поєднання GPS та Galileo, значно підвищує надійність та точність навігаційних даних, особливо в умовах наявності перешкод або складних навколишніх умов.

Поєднання сигналів з різних супутникових систем дозволяє приймачам одночасно отримувати сигнали від більшої кількості супутників, що підвищує точність позиціонування та зменшує ймовірність втрати сигналу.

Використання сигналів з різних частотних діапазонів та супутникових систем дозволяє зменшити вплив перешкод, таких як багатопроменевість або глушіння сигналів, оскільки різні системи можуть бути менш чутливими до різних типів перешкод.

У районах з обмеженим оглядом неба, таких як міські каньйони або густі ліси, наявність сигналів від різних супутникових систем збільшує ймовірність отримання достатньої кількості сигналів для точного позиціонування.

Мульти-системні приймачі оснащені спеціалізованими антенами та фільтрами, які дозволяють одночасно приймати сигнали з різних супутникових систем, таких як GPS, Galileo. Ці пристрої здатні обробляти сигнали з різних частотних діапазонів, що забезпечує більшу гнучкість та точність навігаційних даних. Наприклад, антенні системи з високою спрямованістю та багаточастотні фільтри дозволяють знижувати вплив небажаних сигналів та перешкод, що підвищує надійність навігаційної інформації.

Використання мультисистемного прийому сигналів GNSS широко застосовується в різних галузях, включаючи авіацію, морське судноплавство, сільське господарство та транспорт. Наприклад, у цивільній авіації мультисистемні приймачі забезпечують високу точність та надійність навігаційних даних, що є критично важливим для безпеки польотів.

Резервування GNSS сигналів передбачає використання додаткових каналів або систем для забезпечення надійної навігації у разі порушення основних GNSS сигналів. Це особливо важливо в умовах, коли основні супутникові системи можуть бути недоступні або зазнавати перешкод.

Інтеграція з іншими навігаційними системами: поєднання GNSS з іншими навігаційними технологіями, такими як інерціальні навігаційні системи (INS), дозволяє забезпечити безперервність позиціонування навіть при втраті GNSS сигналів. INS використовують датчики руху для визначення положення, що особливо корисно в умовах обмеженого огляду неба або при глушінні GNSS сигналів.

Використання радіомаяків та інших корекційних сигналів: встановлення радіомаяків або використання корекційних сигналів від наземних станцій може забезпечити додаткові дані для корекції позиціонування, особливо в регіонах з обмеженим доступом до супутникових сигналів. Наприклад, морські радіомаяки типу «beacon» можуть забезпечити субметрову точність позиціонування навіть без GNSS корекцій.

Використання резервних каналів зв'язку: для передачі корекційних даних та забезпечення зв'язку в разі порушення основних каналів зв'язку можуть використовуватися резервні канали, такі як стільникові мережі, радіочастоти або інші комунікаційні канали. Наприклад, приймачі можуть бути оснащені вбудованими стільниковими модемами для отримання корекційних даних через інтернет або SMS повідомлення..

Сучасне обладнання може здійснювати більш точну фільтрацію сигналів і корекцію на основі мультисенсорних даних (наприклад, інерціальні вимірювальні одиниці або інші навігаційні технології).

4.6 Методи топографічного знімання

Виконання топографічної зйомки здійснюється з використанням цифрових методів, технічних засобів, геоінформаційних систем і технологій, що забезпечують необхідну точність вимірювань, отримання якісних, актуальних та достовірних геодезичних, топографічних і картографічних матеріалів, даних та продукції відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та нормативно-технічної документації у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності [39].

Топографічна зйомка виконується такими методами:

- тахеометрична зйомка;
- зйомка методами спостережень глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС-спостереження);
- аерозйомка;
- лазерне сканування;
- комбінована топографічна зйомка шляхом поєднання декількох методів
- топографічної зйомки.

Продукція топографічної зйомки може бути виготовлена в результаті застосування різних методів виконання топографічної зйомки, а також поєднанням декількох з них. Вибір методів виконання топографічної зйомки залежить від:

- виду продукції, яку необхідно отримати в результаті виконання топографічної зйомки, та вимог до неї;
- можливості застосування певних технологій, обладнання, програмного забезпечення тощо під час здійснення топографічної зйомки;
- площі та фізико-географічної характеристики території, на якій здійснюється топографічна зйомка;
- строків, за які необхідно виконати топографічну зйомку, та погодних умов, за яких це можливо;
- виду, якості та актуальності вихідних даних.

Топографічна зйомка здійснюється у три етапи: підготовчий, польовий та камеральний.

Топографічні плани надаються у формі та форматах, визначених технічним завданням, у такому комплекті:

– топографічні плани у форматах GeoJSON/GML, GPKG, GDB, DMF, DWG, SHP, GeoTIFF. Додатково за вимогою замовника топографічні плани ожуть виготовлятися також у паперовій формі;

- метадані;
- технічний звіт.

Цифрова модель місцевості складається із цифрової моделі контурів та цифрової моделі рельєфу.

Цифрова модель контурів складається з планової цифрової моделі штучних та природних об'єктів та їх характеристик відповідно до Класифікатора та умовних знаків для топографічних планів відповідних масштабів.

Подання цифрової моделі контурів може здійснюватися в аналоговій, цифровій або електронній формі.

Зміст цифрової моделі контурів повинен відповідати змісту топографічного плану.

Цифрова модель рельєфу може подаватися такими моделями:

- картографічна модель рельєфу;
- триангуляційна модель рельєфу (TIN-модель);
- регулярна сіткова модель рельєфу (GRID-модель);
- хмари точок висот.

Середні квадратичні похибки в положенні на плані предметів та контурів місцевості із чіткими контурами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0,6 мм, а в гірських та лісових районах – 0,9 мм у масштабі плану. На територіях з капітальною і багатоповерховою забудовою середні квадратичні похибки у взаємному положенні на плані точок найближчих контурів (капітальних споруд, будинків тощо) не повинні перевищувати 0,5 мм.

Тахеометричну зйомку виконують електронними тахеометрами, що забезпечують вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів із середньою квадратичною похибкою, яка не перевищує 10", а ліній – із середньою квадратичною похибкою, яка не перевищує 10 мм на кілометр.

Зйомка методами ГНСС-спостережень виконується відносними методами супутникових геодезичних спостережень на точках місцевості з подальшим обробленням результатів спостережень та обчисленням координат і висот точок відносно відомих пунктів геодезичних мереж або постійно діючих станцій ГНСС.

Координати та висоти пікетних точок визначаються:

- у кінематичному режимі від окремого пункту ДГМ, геодезичної мережі спеціального призначення, знімальної геодезичної мережі або відносно станції ГНСС з подальшим камеральним обробленням виконаних супутникових геодезичних спостережень;
- у кінематичному режимі реального часу (RTK) від окремого пункту ДГМ, геодезичної мережі спеціального призначення, знімальної геодезичної мережі або відносно станції ГНСС за допомогою радіо-модемів або каналами GPRS та інтернет-зв'язку;
- у кінематичному режимі реального часу (RTK) відносно станції ГНСС за допомогою сервісів мережі.

Під час виконання супутникових геодезичних спостережень у кінематичному режимі (RTK) з постобробкою від окремого відомого пункту геодезичної мережі (або постійно діючої станції) максимальна допустима відстань від вихідного пункту / станції до об'єкта зйомки не повинна перевищувати для одночастотних приймачів 20 км, а для двочастотних або мультичастотних приймачів – 35 км.

Під час виконання супутникових геодезичних спостережень у режимі реального часу (RTK) від окремого відомого пункту геодезичної мережі (або постійно діючої станції) максимальна допустима відстань від вихідного пункту / станції до об'єкта зйомки не повинна перевищувати для одночастотних приймачів 20 км, а для двочастотних або мультичастотних приймачів – 35 км.

Під час виконання супутникових геодезичних спостережень у режимі реального часу (RTK) від постійно діючих станцій мережі максимально допустима відстань від вихідної станції до об'єкта зйомки не повинна для одночастотних приймачів 20 км, а для двочастотних або мультичастотних приймачів – 35 км.

Виконання аерозйомки складається з таких етапів:

- розроблення технічного проекту аерозйомки;
- виконання аерозйомки;
- планово-висотна прив'язка матеріалів аерозйомки;
- оброблення даних з навігаційної та інерційної систем;
- первинне оброблення матеріалів аерозйомки;
- технічний контроль та приймання робіт.

Лазерне сканування виконується такими основними методами: наземне лазерне сканування, яке здійснюється за допомогою:

- наземного стаціонарного лазерного сканера для зйомки промислових об'єктів, відкритих гірничих виробок, а також створення високоточних тривимірних моделей архітектурних будівель і споруд, об'єктів історичної і культурної спадщини;
- наземного мобільного лазерного сканера для зйомки автошляхів, залізниць, мостів і тунелів, а також лінійних об'єктів (трубопроводів, ліній електропередач тощо);
- авіаційне лазерне сканування, яке здійснюється за допомогою авіаційного лазерного сканера, що дає можливість виконати зйомку землі під кронами дерев і в місцях щільної забудови.

4.7 Топографічна зйомка підземних комунікацій

Підземні комунікації та підземні й надземні споруди, що до них відносяться, є одним з основних елементів змісту топографічних планів масштабів 1:2000, 1:1000, 1:500.

На топографічних планах зображують групи підземних комунікацій та споруди, що до них відносяться:

- трубопроводи;
- кабельні мережі;
- тунелі (загальні колектори).

До трубопроводів відносять мережі водопроводу, каналізації (різних систем), теплофікації, газопостачання, дренажу, а також мережі спеціального призначення (нафтопроводи, мазутопроводи, паропроводи, шлакопроводи тощо).

До кабельних мереж відносять мережі сильних струмів високої і низької напруги (для освітлення, електротранспорту) та мережі слабого струму (телефонні, телеграфні, радіомовні тощо).

Тунелі призначені для облаштування шляхопроводів і розміщення кабелів.

У загальних колекторах розміщують інженерні мережі різного призначення.

Топографічна зйомка підземних комунікацій виконується за такими етапами:

- збір та аналіз архівної інформації про підземні комунікації;
- пошук підземних комунікацій на місцевості;
- обстеження підземних комунікацій;
- зйомка підземних комунікацій;
- нанесення підземних комунікацій на топографічний план;
- погодження плану підземних комунікацій з організаціями, що експлуатують зазначені мережі.

За неможливості застосування електронних трасошукачів замовник робіт забезпечує розкриття підземних комунікацій методом шурфування.

При обстеженні підземних комунікацій визначаються їх характеристики:

- водопровід (матеріал, зовнішній діаметр труб, призначення);
- каналізація (характеристика, призначення, матеріал, діаметр труб);
- тепломережа (тип прокладання, тип каналу, матеріал, внутрішні розміри каналу, кількість, зовнішній діаметр труб);
- газопровід (матеріал, зовнішній діаметр труб, тиск газу);
- кабельні мережі (напруга електричних кабелів, напрямки (номери трансформаторних підстанцій) для високовольтних кабелів, належність кабелів зв'язку);
- підземний дренаж (матеріал, зовнішній діаметр труб).

При топографічній зйомці підземних комунікацій визначають висоту:

- верху кільця люка;
- землі (при відмінності від висоти люка більш ніж 15 см);
- труб, кабелів, каналів (промірами від кільця з точністю відліку до 1 см).

При зйомці колодязів (камер) визначають висоту таких елементів підземних комунікацій:

- самопливних (низ труб (лоток), дно, верх вхідних та вихідних труб);
- напірних (верх труб, дно);
- каналів та колекторів (верх та низ каналів, верх труб, матеріал, дно);
- кабельних (місця перетину кабеля із стінками колодязя або верх і низ пакета при кабельній каналізації).

Зйомка точок підземних комунікацій за допомогою електронних трасошукачів виконується при прямолінійному прокладанні з відстанню між

пiкетами: зйомку точок пiдземних комунiкацiй за допомогою електронних трасошукачiв виконують при прямолiнiйному прокладаннi з вiдстанню мiж пiкетами: у масштабi 1:2 000 – 40 м; у масштабi 1:1 000 – 30 м; у масштабi 1:500 – 20 м; у масштабi 1:200 – 10 м.

Середнi квадратичнi похибки визначення планового положення елементiв пiдземних комунiкацiй, вiдшуканi електронними трасошукачами, не повиннi перевищувати 0,7 мм у масштабi топографiчного плану.

Допускаються розходження мiж значеннями глибини закладання пiдземних комунiкацiй, визначеними електронними трасошукачами пiд час топографiчних зйомок i одержаними за результатами польового контролю, не бiльше 15 %.

Планове положення всiх виходiв на поверхню пiдземних комунiкацiй визначають вiд пунктiв геодезичної знiмальної основи, вiд кутiв капiтальних будинкiв, споруд, колодязiв, а також вiд пунктiв зовнiшньої i внутрiшньої геодезичних розмічувальних мереж будiвельного майданчика.

Зйомка виходiв пiдземних комунiкацiй на забудованих територiях з високою щiльнiстю забудови електронними (лазерними) далекомiрами або механiчними рулетками виконується методами: прямої та оберненої лiнiйної засiчки; промiрами перпендикулярiв до створу.

5 КОМБІНОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

5.1 Застосування БПЛА, тахеометрiв, лазерних скануючих систем

Безпiлотнi лiтальнi апарати (БПЛА) значно пiдвищують ефективнiсть маркшейдерських робiт у гiрничодобувнiй промисловостi, зокрема при зйомцi та монiторингу кар'єрiв. Використання БПЛА дозволяє оперативнo охоплювати великi територiї, що значно скорочує час проведення вишукувань i забезпечує швидко отримання даних для подальшого аналізу та прийняття рiшень.

Завдяки високій геометричній точності отриманих моделей, БПЛА дозволяють точно визначати обсяги видобутку та контролювати стан кар'єра. Це

особливо важливо для планування подальших робіт та забезпечення безпеки на об'єкті.

Використання БПЛА також підвищує безпеку персоналу, оскільки зменшується необхідність перебування в небезпечних зонах, таких як схили, урвища та дороги для проїзду техніки. Повна автоматизація процесу зйомки дозволяє отримувати повні та вичерпні дані без ризику для працівників.

Оперативність збору даних та автоматизація процесів обробки інформації дозволяють зменшити витрати часу та ресурсів на виконання маркшейдерських робіт. Це забезпечує точність та оперативність отримання необхідної інформації для прийняття рішень.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) значно розширюють можливості зйомки та моніторингу важкодоступних місць, таких як високі будівлі, лісові масиви або зони з обмеженим доступом. Завдяки своїй мобільності та здатності до вертикального зльоту та посадки, БПЛА можуть здійснювати зйомку в районах, недоступних для традиційних методів, що дозволяє отримувати інформацію про місцевість, яка раніше була важкодоступною або небезпечною для проведення робіт.

LiDAR (Light Detection and Ranging) – це технологія, що використовує лазерне випромінювання для точного вимірювання відстаней до об'єктів та створення їх тривимірних моделей.

Принцип роботи LiDAR полягає у випромінюванні коротких імпульсів світла лазерним передавачем у напрямку цілі. Коли імпульс досягає об'єкта, частина світла відбивається назад до детектора. Детектор фіксує час, який пройшов від моменту випромінювання до повернення імпульсу. На основі цього часу, враховуючи швидкість світла, обчислюється відстань до об'єкта. Повторюючи цей процес для великої кількості точок, система формує детальну тривимірну карту місцевості або об'єкта.

Сучасні LiDAR-системи можуть використовувати різні типи лазерів, зокрема фемтосекундні лазери, які забезпечують високу точність вимірювань. Характеристики відбитого сигналу залежать від властивостей поверхні об'єкта, таких як колір, текстура та кут нахилу. Деякі сучасні LiDAR-системи використовують когерентне детектування, що підвищує чутливість та дозволяє вимірювати доплерівський зсув для визначення швидкості рухомих об'єктів. Сучасні LiDAR-системи можуть досягати швидкості збору даних до мільйона

точок за секунду, що забезпечує високу роздільну здатність та деталізацію моделей.

LiDAR та лазерне сканування є технологіями, що використовують лазерні промені для збору просторових даних. Хоча обидві методики мають спільні риси, LiDAR пропонує низку переваг у порівнянні з традиційним лазерним скануванням:

Мобільність та гнучкість: LiDAR-системи можуть бути встановлені на різних платформах, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА), автомобілі або навіть рюкзаки, що дозволяє збирати дані в русі та охоплювати великі території за короткий час. Традиційні лазерні сканери зазвичай стаціонарні та вимагають переміщення обладнання між точками зйомки, що може бути менш ефективним.

Швидкість збору даних: LiDAR здатний швидко збирати велику кількість точок за секунду, що забезпечує високу щільність даних та детальність моделей. Це особливо корисно для створення точних цифрових моделей місцевості та об'єктів інфраструктури.

Проникнення через рослинність: LiDAR може проникати крізь листя та іншу рослинність, надаючи інформацію про рельєф земної поверхні під нею. Це робить його незамінним для картографування лісових територій та виявлення об'єктів, прихованих під кронами дерев.

Незалежність від освітлення: Оскільки LiDAR використовує власне лазерне випромінювання, він ефективно працює як вдень, так і вночі, незалежно від умов освітлення. Це забезпечує безперервність збору даних у будь-який час доби.

Висока точність та роздільна здатність: LiDAR забезпечує надзвичайно точні вимірювання, що дозволяє створювати детальні тривимірні моделі з високою просторовою роздільною здатністю. Це важливо для детального картографування та аналізу складних об'єктів.

Мультистанція – це сучасний геодезичний прилад, який поєднує функції високоточного тахеометра та 3D-лазерного сканера. Такий інструмент забезпечує комплексний підхід до збору геопросторових даних, що підвищує ефективність та точність вимірювань.

Завдяки інтеграції кількох функцій в одному пристрої, мультистанція дозволяє виконувати різноманітні завдання без потреби в додатковому

обладнанні. Це значно спрощує процес підготовки та проведення вимірювань, а також знижує витрати на обладнання та навчання персоналу.

Швидкий збір великого обсягу даних за допомогою мультистанції скорочує час проведення польових робіт. Це особливо важливо в умовах обмеженого доступу або складних погодних умов, де швидкість та точність вимірювань мають вирішальне значення.

Високоточні вимірювання, що забезпечуються мультистанцією, гарантують якісні результати для різних інженерних задач. Це включає створення детальних топографічних карт, моніторинг деформацій будівель та споруд, а також контроль за виконанням будівельних робіт.

Інтегровані функції та сучасне програмне забезпечення мультистанції спрощують процес обробки та аналізу даних. Це дозволяє швидко отримувати необхідні результати та приймати обґрунтовані рішення на основі точних та актуальних даних.

Завдяки своїй багатофункціональності, мультистанції знаходять широке застосування в геодезії, будівництві, архітектурі та інших галузях, де потрібні точні та швидкі вимірювання.

Моніторинг стану будівель та споруд є критично важливим для забезпечення їхньої безпеки та довговічності. Сучасні технології, такі як безпілотні літальні апарати (БПЛА), лазерні сканери LiDAR та мультистанції, значно підвищують ефективність та точність цих процесів.

БПЛА дозволяють здійснювати аерофотозйомку та тепловізійне обстеження будівель, що дає змогу оперативно виявляти дефекти та пошкодження. Наприклад, тепловізійна зйомка за допомогою БПЛА дозволяє оцінити якість теплової ізоляції фасаду та даху будівлі, виявляючи місця теплових втрат.

Технологія LiDAR використовує лазерні промені для вимірювання відстаней до поверхні об'єкта, що дозволяє створювати детальні 3D-моделі будівель та споруд. Це дає змогу точно оцінити геометрію конструкцій, виявити деформації та тріщини, а також здійснювати моніторинг змін у часі.

Мультистанції поєднують функції тахеометра та лазерного сканера, що дозволяє здійснювати точні геодезичні вимірювання та створювати 3D-моделі об'єктів. Вони використовуються для детального моніторингу стану будівель, визначення обсягів земляних робіт та контролю за деформаціями конструкцій.

Інтеграція даних з БПЛА, тахеометрів та лазерних сканерів дозволяє отримати більш детальну та точну інформацію про стан об'єкта. Швидке отримання та обробка даних зменшує час, необхідний для виявлення та усунення дефектів. Зменшення необхідності в проведенні польових робіт у небезпечних або важкодоступних зонах підвищує безпеку процесу моніторингу. Інтеграція різних технологій дозволяє здійснювати всебічний моніторинг та аналіз стану будівель та споруд, що є критично важливим для підтримки довговічності та надійності інженерних об'єктів.

5.2 Методи геодезичного моніторингу будівель і споруд

Причини виникнення деформацій зазвичай за походженням поділяються на деформації природного походження і в результаті діяльності людей. *Деформації* – це спотворення або зміна форми і розмірів об'єкту під дією зовнішніх впливів. Якщо об'єкт дослідження зазнає якихось рухів, то відповідно основні контури змінюють своє просторове положення, а відповідно змінюються координати.

Інженерні споруди – це об'ємні, площинні або лінійні наземні, надземні або підземні будівельні системи, що складаються з несучих та в окремих випадках огорожувальних конструкцій і призначені для виконання виробничих процесів різних видів, розміщення устаткування, матеріалів та виробів, для тимчасового перебування і пересування людей, транспортних засобів, вантажів, переміщення рідких та газоподібних продуктів тощо. До них відносяться [40]:

- будівлі: підземні, наземні;
- баштові споруди – димові труби, теле- та радіовишки, водонапірні башти, вітрогенератори, ЛЕП та ін.;
- шляхи сполучення: дороги, тунелі, мости, естакади, переправи та ін.;
- промислові споруди: заводи, фабрики, елеватори, електростанції та ін.;
- культурно розважальні споруди: стадіони, будинки культури, музеї, торгово-розважальні комплекси та ін.;
- гідротехнічні споруди: греблі, ГЕС, шлюзи, суднопропускні споруди, мостові переходи, порти, причали, гідро вокзали та ін.

Для виявлення наявності деформацій споруд виконують комплекс інженерно-геодезичних робіт з метою встановлення причин, що вплинули на геометричні параметри споруди.

Деформації інженерних споруд, або будівельних конструкцій (частина інженерної споруди) бувають:

- відхилення від умовної горизонтальної площини (висотні переміщення): прогин; вигин; перекис; осідання; підйом.

- відхилення від умовної вертикальної площини (планові переміщення): - крен (нахил споруди); випуклість площини – характерна для площинних об'єктів, де в результаті деформацій виникає «пузо»; опуклість площини – характерна для площинних об'єктів, де в результаті деформацій виникає «пузо» в протилежному напрямку; зсув; кручування – характерне для споруд баштового типу.

Висотні деформації визначають за допомогою нівелювання (геометричного, тригонометричного, гідростатичного, барометричного, автоматичного та GPS-нівелювання), стереофотограмметрії, наземного лазерного сканування та електронних датчиків нахилу.

Планові деформації визначають за допомогою лінійно-кутових вимірювань, GPS, лазерного сканування, стереофотограмметрії, електронних датчиків нахилу, датчиків розкриття тріщин, електронних рівнів, інклінометрів.

Геодезичний моніторинг деформацій – це визначення за допомогою геодезичних приладів та методів просторового положення об'єкту і періодичні визначення змін його положення відносно умовно горизонтальних та вертикальних площин. Геодезичний моніторинг включає в себе систему вимірювань, фіксації результатів та аналітичну обробку отриманих даних. Геодезичному моніторингу, підлягають основи, фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об'єкти нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди та об'єкти інфраструктури, що їх оточують. Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічного супроводу і є складовою частиною загального моніторингу об'єкту будівництва.

Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами. Проект та програму геодезичного моніторингу розробляють за технічним завданням.

Методи і вимоги до точності геодезичних вимірювань деформацій основ будівель на сьогоднішній день приймають згідно з вимогами. Точність, періодичність та детальність встановлюють ПВГР (Проекти виконання геодезичних робіт).

Геодезичний моніторинг класичними методами виконують по спеціально закладеним спостережним маркам відносно вихідних знаків, марок та реперів опорної геодезичної мережі. Найрозповсюдженіші методи геодезичного моніторингу деформацій вважають [40]:

- Нівелювання (переважно геометричне та тригонометричне) – спостереження висотного положення, або вертикальних переміщень об'єкту, вважається найточнішим.

- Лінійно-кутовий – спостереження просторового положення об'єкту, теж відносять до найточнішого методу.

- Автоматизовані геодезичні комплекси (роботизовані тахеометри, датчики нахилу, датчики розкриття тріщин, електронні рівні та ін.) – призначені для моніторингу інженерних споруд безперервно та отримання інформації про переміщення online. За точність не поступаються попереднім двом методам. Переваги даного методу – інформація в трьох осях координат, оперативність, потребує мінімум персоналу.

- Лазерне сканування (наземне, повітряне та автомобільне) – дозволяють отримати 3D-модель об'єкту спостереження. 3D-модель несе в собі всю інформацію про об'єкт, завдяки якій можливо швидко виявити всі дефекти та деформації. Практичне застосування визначення крену будівлі, дозволяє окрім кренів визначати геометричні характеристики споруди.

- GPS-моніторинг – визначення просторового положення за допомогою супутникової навігаційної системи. GPS-моніторинг чудово підходить для визначення координат марок, що розташовані на значній відстані (коли використання лінійно-кутових вимірювань недоцільно).

- Стереофотограмметрія – виконується за допомогою стереофотокамер, застосовується для об'єктів які мають складну геометричну форму та конфігурацію, в результаті отримуємо змодельовану поверхню або проекцію оболонки об'єкту на площину.

- Інклінометрія – метод полягає у використанні труби «моніторингової шахти» встановленої у вертикальне або горизонтальне положення по якій

пересувається зонд в двох взаємно перпендикулярних площинах. Шахта має властивість приймати деформований стан (нахилятися, прогинатися, приймати опуклу чи випуклу форму) об'єкту.

5.3 Приклад програми геодезичного моніторингу

Розглянемо комплекс робіт, які виконувалися при проведенні геодезичного моніторингу протизсувних споруд [41].

Мета моніторингу була наступна:

- визначення величин та характеру осідань фундаментів будівель, що межують з будівельним майданчиком;
- визначення величин та характеру розвитку тріщин в конструкціях будівель, що межують з будівельним майданчиком;
- визначення величин та напрямків горизонтальних переміщень ростверку огороження котловану.

Організація спостережень за деформаціями фундаментів будівлі виконувалась в такій послідовності:

- вибір конструкції, місць розташування та установки вихідних геодезичних знаків висотної основи;
- здійснення висотної прив'язки вихідних геодезичних знаків;
- встановлення осадових марок на конструкціях будівлі, за якою ведуться спостереження;
- інструментальні вимірювання вертикальних переміщень осадових марок;
- опрацювання і аналіз результатів спостережень.

При виконанні спостережень за осіданням фундаментів будівель влаштовується не менше трьох вихідних реперів для забезпечення взаємного контролю стійкості їх відміток. Висотні положення реперів були визначені з мінімально можливою граничною помилкою.

Всього у вихідну висотну мережу включено 7 реперів. Така їх кількість забезпечує необхідну точність визначення осідань, прийняту в нашому випадку ± 0.5 мм для найбільш віддаленої від вихідного реперу марки. Для визначення вертикальних переміщень фундаментів будівель безпосередньо на них були встановлені осадові марки.

Марки служать постійними знаками для встановлення на них рейки під час нівелювання, при цьому конструкція марки забезпечує можливість установки рейки при повторному нівелюванні на одну й ту ж фіксовану точку. Для визначення величин осадок будівель були використані металеві осадкові марки з кулеподібною головкою.

Довжина марок, які використовуються, повинна забезпечувати необхідну жорсткість в залежності від вильоту марки з площини стіни. Виліт марки повинен забезпечувати встановлення рейки строго у вертикальному положенні за показниками інтегрованого рідинного рівня. Усього на будівлях, що межують із ділянкою реконструкції транспортної розв'язки закладено 49 осадкових марок. Виконання спостережень за осіданнями фундаментів будівель.

Вимірювання вертикальних переміщень фундаментів будівель здійснювались методом геометричного нівелювання II класу точності.

Для виконання вимірювань осідань фундаментів будівель використовувався високоточний цифровий нівелір SDL 30 виробництва фірми «Sokkia» та кодова рейка з інварною стрічкою. Нівелювання марок виконувалось за наміченими в проекті ходами, щоразу за однією й тією ж схемою, щоб в значній мірі позбутися впливу систематичних похибок на заміряні величини. Перед кожним циклом спостережень особлива увага зверталась на перевірку основної геометричної умови нівеліра: візирна вісь і вісь циліндричного рівня повинні бути паралельні. Похибка визначення перевищення на одній станції не перевищувала в середньому 0.1–0.3 мм.

По закінченню польових робіт з вимірів деформацій фундаментів будівель і перевірки журналів виконувалось камеральне опрацювання отриманих результатів та їх оцінка. Виконувалось точне зрівнювання нівелірної мережі параметричним методом. Вирівнювання виконувалося в 2 етапи. На першому етапі проводилось врівноважування вузлових точок за методом проф. Попова. Ваги ходів вираховувалися по кількості штативів в ході. На другому етапі проводилось врівноважування відміток окремих точок існуючих ходів. Величина осідання фундаментів будівель під кожною деформаційною маркою обчислюється як різниця між відмітками цієї марки, отриманої в останньому циклі вимірів, і відміткою, отриманою в першому циклі вимірів. За результатами спостережень за осіданнями фундаментів будівлі складається відомість

відносних відміток та величин вертикальних переміщень осадових марок, встановлених на будівлі.

Марки за конструкцією та принципом їх встановлення бувають двох типів: марка з анкером та марка безанкерна. Спостереження за розкриттям тріщин виконувалися з використанням різних вимірювальних пристроїв, які дають змогу одержати як якісні, так і кількісні показники розвитку тріщин. Спостережна станція являє собою визначену кількість спостережних пар марок із кольорового металу, установлених на конструкціях будівлі (кожна з пари марок по обидва боки тріщин), а також переносного приладу (компаратора) для зняття показань величин деформацій.

Для зняття відліків використано вимірювач деформацій «SDM 50/500» (компаратор). Прилад оснащений індикатором годинникового типу з ціною поділки 0.01 мм. Межа вимірів змін ширини розкриття тріщин – до 10 мм. Комплект штанг на приладі дає змогу проводити виміри розкриття тріщин на базі 50, 100, 200, 300, 400 та 500 мм.

Закріплена на базі змінна ніжка служить для фіксації вибраної довжини. Обидві ніжки знизу мають кулеподібну поверхню. Вони контактують з конічними заглибленнями (гніздами) на спостережних марках, установлених по обидва боки від тріщини. Незначні (до ± 0.20 мм) зміни ширини розкриття тріщин можуть бути викликані зміною температури довкілля. Так при підвищенні температури повітря існуючі тріщини в будинках закриваються, внаслідок температурного розширення матеріалів несучих конструкцій та перегородок. При зниженні температури – розкриваються.

6 ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ КАРТ ТА ПЛАНІВ, МАСШТАБИ ТА ТОЧНІСТЬ ВІДОБРАЖЕННЯ ГЕОДАНИХ

6.1 Види геопросторових даних та поширені формати

Виділяють 2 основних види геопросторових даних: растрові та векторі.

Растрові дані складаються з пікселів, розташованих у рядках і стовпцях, де кожен піксель представляє географічне розташування та може містити різноманітну інформацію, таку як висота, температура або колір. Вони

використовуються для зображення безперервних явищ, таких як супутникові знімки або цифрові моделі рельєфу.

Растрові дані широко застосовуються в різних галузях. У супутникових знімках та аерофотозніманні вони допомагають моніторити земну поверхню, аналізувати зміни в навколишньому середовищі та планувати території. Цифрові моделі рельєфу (DEM) використовуються в геодезії, гідрології та містобудуванні для аналізу висотних характеристик місцевості. У картографії растрові дані застосовуються для створення топографічних та тематичних карт, де необхідна висока деталізація зображення. В аналізі землекористування та покриття вони допомагають визначати типи рослинності, урбанізовані території та інші характеристики поверхні.

Прикладами використання растрових даних є екологічний моніторинг, де вони допомагають відстежувати зміни в лісових масивах, водних ресурсах та інших екосистемах. У сільському господарстві растрові дані використовуються для аналізу стану посівів, оцінки врожайності та управління зрошенням. У геології вони допомагають досліджувати геоморфологічні особливості та шукати корисні копалини.

Растрові дані мають свої особливості. Роздільна здатність визначається розміром пікселя; чим менший піксель, тим вища деталізація зображення. Розмір файлу залежить від роздільної здатності та розмірів зображення; високоякісні растрові дані можуть займати значний обсяг пам'яті. Масштабування растрових зображень може призвести до втрати якості та появи пікселізації. Поширені формати зберігання включають TIFF, JPEG, PNG та BMP. Растрові дані ефективні для аналізу безперервних даних, але можуть бути менш придатними для точного визначення дискретних об'єктів.

Векторні дані використовуються для моделювання та аналізу дискретних географічних об'єктів, таких як дороги, річки, будівлі та межі територій. Вони застосовуються в геоінформаційних системах (ГІС) для створення детальних карт, планування інфраструктури, управління земельними ресурсами та аналізу просторових взаємозв'язків.

Особливістю векторних даних є їх здатність точно представляти форму та розташування об'єктів за допомогою точок, ліній та полігонів. Це дозволяє зберігати високу якість зображення при масштабуванні та забезпечує ефективне зберігання та обробку просторової інформації. Крім того, векторні дані можуть

містити атрибутивну інформацію про об'єкти, що спрощує їх аналіз та класифікацію.

Векторні дані також можуть бути топологічно явними або неявними, залежно від структури даних файлу. Топологія описує зв'язність, визначення площі та примикання взаємопов'язаних точок, ліній та полігонів, що є важливою геопросторовою властивістю.

Вибір між векторною та растровою моделлю даних залежить від специфіки завдань та аналітичних потреб. Векторні дані краще підходять для представлення дискретних об'єктів з чіткими межами, тоді як растрові дані ефективніші для безперервних явищ.

Поширені формати геопросторових даних включають:

- Shapefile (.shp): популярний формат для векторних даних, розроблений компанією ESRI.
- GeoJSON (.geojson): текстовий формат для кодування географічних даних, заснований на JSON.
- TIFF/GeoTIFF (.tif): формат для растрових даних, який може містити геоприв'язку.
- KML/KMZ (.kml, .kmz): формати, розроблені для відображення географічних даних у Google Earth.

Точність геопросторової інформації визначає, наскільки координати та атрибути об'єктів відповідають їхнім реальним положенням та характеристикам. Вона залежить від методів збору даних, обладнання та обробки інформації. Висока точність є критичною для застосувань, таких як інженерні проєкти чи кадастрові роботи.

Растрові дані складаються з пікселів, розташованих у рядках і стовпцях, де кожен піксель представляє географічне розташування та може містити різноманітну атрибутивну інформацію, таку як висота, температура або колір. Точність растрових даних обмежується розміром пікселя (осередку): чим менший розмір пікселя, тим вища просторова роздільна здатність і, відповідно, точність даних. Однак збільшення роздільної здатності призводить до зростання обсягу даних, що може ускладнювати їх обробку та зберігання.

Векторні дані представляють об'єкти у вигляді точок, ліній та полігонів, що описують дискретні об'єкти, такі як дороги, річки чи будівлі. Точність векторних даних залежить від точності визначення координат вершин (точок) та

від складності геометрії об'єктів. Більш детальне представлення об'єктів із великою кількістю вершин підвищує точність, але також збільшує складність та обсяг даних.

6.2 Точність геопросторової інформації

Способи підвищення точності геопросторових даних:

- Використання високоточних методів збору даних: застосування сучасних технологій, таких як RTK-GPS, дрони з високоякісними сенсорами та лазерне сканування, дозволяє отримувати дані з високою точністю.
- Калібрування та валідація даних: регулярне калібрування обладнання та перевірка отриманих даних на відповідність реальним координатам допомагають підтримувати високу точність.
- Обробка та аналіз даних: використання спеціалізованого програмного забезпечення для обробки геопросторових даних дозволяє виявляти та виправляти помилки, а також підвищувати загальну точність інформації.
- Навчання персоналу: підвищення кваліфікації фахівців, які працюють із геопросторовими даними, сприяє більш точному збору, обробці та аналізу інформації.

Користувач даних оцінює якість НГД як рівень відповідності набору даних вимогам застосування для геоінформаційного моделювання певної предметної сфери, яка може не збігатися з цільовим призначенням набору даних. А отже, оцінка якості виробника даних може не відповідати оцінці якості потенційного користувача даних. Важливо, щоб така оцінка в контексті мети оцінювання достовірно відображала рівень відповідності НГД специфікації виробника або вимогам користувача. Природно, що при зміні технічних умов виробника або вимог користувача має бути проведено нове оцінювання якості набору даних. Також важливо із застереженням порівнювати різні оцінки якості НГД, якщо його цільове призначення за специфікацією виробника не відповідає предметній сфері потенційного користувача.

Кількісні елементи якості геопросторових даних дають змогу оцінити, наскільки той чи інший набір даних відповідає критеріям, вказаним у специфікації дата-продукту. До кількісних елементів належать: повнота даних,

логічна узгодженість, позиційна точність, тематична точність, часова точність і застосовність даних [15].

Повнота даних – описує наявність чи відсутність об’єктів, їх атрибутів чи відношень. Має два піделементи: надлишковість та відсутність:

- Надлишковість типів об’єктів може свідчити про наявність типу, який не визначено в Каталозі об’єктів набору даних. Надлишковість екземплярів може свідчити про дублювання об’єктів в наборі. Аналогічно можна говорити і про атрибути та відношення об’єктів певного типу або їх конкретних екземплярів.

- Відсутність свідчить про пропуски типів об’єктів або їх окремих екземплярів, атрибутів чи асоціацій в типах чи окремих екземплярах.

Логічна узгодженість описує ступінь відповідності набору даних логічним правилам структури даних, атрибутів та відношень з використанням відповідних піделементів якості:

- Концептуальна узгодженість – це відповідність правилам концептуальної схеми, в тому числі обмеженням на топологічні відношення об’єктів. Наприклад, дорога не може проходити по водних об’єктах; контури будинків, як правило, не можуть перетинати меж земельних ділянок тощо.

- Доменна узгодженості – строгість дотримання значень відповідно до доменів значень та класифікаторів.

- Узгодженість формату – ступінь відповідності формату зберігання структури набору даних, наприклад с точки зору допустимої кількості символів в іменах типів об’єктів чи їх атрибутів, форматів подання дійсних чисел тощо.

- Топологічна узгодженість – правильність явно заcodeваних топологічних характеристик геометрії об’єктів набору даних, наприклад: правило простої/однозначної геометрії контурів без самоперетинання; відсутність накладок полігонів об’єктів одного типу; відсутність так званих «трісок» –невеликих пропусків між контурами, що повинні утворювати полігональне покриття; правило спільної геометрії в сенсі рівності координат точок, що задовольняють вимогам мінімальної відстані (допуску, апертури) між точками в контурах об’єктів одного або різних типів; правило топології планарного графу, за якого у місцях перетину відрізків ліній обов’язково повинні бути явно визначені вузлові точки тощо. Деякі великі набори даних можуть мати кілька десятків правил/обмежень топологічної узгодженості геометричних елементів векторних моделей об’єктів.

Позиційна точність визначається як точність визначення координат місцеположення об'єктів у обраній референційній системі координат. Вона складається з трьох піделементів якості даних:

- Абсолютна або зовнішня точності – близькість значень координат, поданих в моделях об'єктів, до значень, які прийняті як істинні, можливо із зовнішніх джерел.

- Відносна або внутрішня точність – близькість відносних положень об'єктів в наборі даних до їх відповідних відносних положень, які прийняті як істинні, наприклад відстань між дорогою та береговою лінією.

- Позиційна точність сіткових даних – близькість значень просторового позиціювання сіткових даних (грід-даних) до значень, які прийняті як істинні.

Тематична точність визначається як точність кількісних і коректність декількох атрибутів та класифікацій об'єктів та їх відношень. Вона складається з трьох піделементів якості даних:

- Коректність класифікації – порівняння класів, визначених для об'єктів або їх атрибутів із предметною областю (наприклад, польові дані або вихідні дані).

- Коректність кількісних атрибутів – вимірювання правильності чи неправильності кількісного атрибута, можливо з використанням зовнішніх достовірних джерел (довідників, реєстрів географічних назв, адрес тощо).

- Точність кількісного атрибута – близькість значення кількісного атрибута до значення, яке прийняте як істинне.

Часова точність – визначається як якість часових атрибутів і часових відношень об'єктів. Вона складається з трьох піделементів якості:

- Точність вимірювання часу – близькість переданих часових вимірювань до значень, які прийняті як істинні. Вона має два піделементи якості.

- Часова узгодженості – це коректність послідовності подій, наприклад часу в часових рядах, наявності об'єктів за заявленим часом відповідності набору даних місцевості, дат документів, на які посилаються в атрибутах об'єктів тощо.

- Часова правильності – це правильність даних відповідно до виміру часу. Час може бути виміряний як певна дата, момент в часі або як період. Наприклад, 32 березня – помилка в даті.

Застосовність або придатність для використання даних – елемент якості для визначення відповідності дата-продукту специфікації на його виробництво

або вимогам його потенційного використання. До цього елементу можуть встановлюватися декілька вимог з використанням мір агрегації якості даних, зокрема:

- кількість незабезпечених вимог до геопросторових даних;
- кількість забезпечених вимог до геопросторових даних;
- відсоток незабезпечених вимог до геопросторових даних;
- відсоток забезпечених вимог до геопросторових даних;

6.3 Топологія

Робота з просторовими даними не можлива без топології. Топологія в геоінформаційних системах (ГІС) відіграє ключову роль у забезпеченні просторової цілісності даних, описуючи відносини між географічними об'єктами, такі як суміжність, перетин або включення. Це дозволяє уникати помилок, наприклад, перекриття полігонів або розривів ліній, що є критичним для точного моделювання та аналізу просторових даних.

Топологія бази геопросторових даних є набором правил, які визначають просторові відношення одного або кількох класів просторових об'єктів [15].

Корисність використання топології полягає в прискоренні виконання операцій обчислювальної геометрії.

Топологічні обмеження на рівні класу геопросторових об'єктів визначають правила (обмеження) топологічних відношень між об'єктами одного класу, наприклад, обмеження щодо накладання, спільної геометрії якщо об'єкти утворюють суцільне покриття тощо.

Правила топологічної узгодженості геопросторових об'єктів різних класів визначають як вимоги до узгодженості координат геометричних елементів, так і просторових відношень між об'єктами різних класів (міститься в середині, дотикається, покривається, утворюють мережу, утворюють покриття). Можливе також визначення топологічно-метричних обмежень (повинні міститись на певній відстані; повинні розміщуватися не ближче як ... тощо).

7 ЗБЕРЕЖЕННЯ, ОФОРМЛЕННЯ, РЕЄСТРАЦІЯ ТА ДОСТУП ДО ЕЛЕКТРОННИХ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

7.1 Технології зберігання даних та принципи їх застосування

У геодезії та картографії ефективно зберігання, обробка та захист даних є критично важливими для забезпечення точності, надійності та доступності інформації. Розглянемо основні аспекти цих процесів:

Реляційні бази даних (RDBMS): використовуються для зберігання структурованих даних, таких як координати точок, ліній та полігонів. Вони забезпечують ефективний доступ та маніпулювання даними.

Реляційні бази даних (RDBMS) є основою для зберігання та управління структурованими даними в геодезії та картографії. Вони організовують інформацію в таблиці, де кожен рядок представляє окремий запис, а стовпці — атрибути цього запису. Зв'язки між таблицями встановлюються за допомогою ключів: первинних (унікальних ідентифікаторів записів) та зовнішніх (посилань на первинні ключі інших таблиць). Це дозволяє ефективно зберігати та маніпулювати даними, забезпечуючи цілісність та узгодженість інформації.

У контексті геодезії та картографії RDBMS використовуються для зберігання різноманітних даних, таких як координати точок, ліній та полігонів, а також атрибутивної інформації, пов'язаної з цими геометричними об'єктами. Наприклад, таблиці можуть містити координати точок вимірювань, ліній, що представляють межі земельних ділянок, або полігонів, що описують територіальні одиниці.

Геоінформаційні системи (ГІС) інтегрують просторові та атрибутивні дані, дозволяючи здійснювати аналіз, візуалізацію та управління геопросторовою інформацією.

Основні компоненти ГІС:

- Системи збору інформації: ці системи відповідають за отримання геопросторових даних. До них відносяться геодезичні знімання, дистанційне зондування, аерофотозйомка та інші методи збору інформації про об'єкти та явища на земній поверхні.

- Системи збереження інформації: вони забезпечують зберігання та організацію даних у базах даних та базах знань. Ці системи дозволяють

ефективно управляти великими обсягами інформації, забезпечуючи її доступність та цілісність.

- Системи обробки інформації: Ці компоненти відповідають за обробку та аналіз зібраних даних. Вони включають обробку аерокосмічних зображень, створення тривимірних моделей місцевості, аналіз просторових даних та інші методи, що дозволяють отримувати корисну інформацію з сирих даних.

- Системи відображення інформації: ці системи відповідають за візуалізацію результатів аналізу у вигляді електронних карт, тривимірних сцен та інших візуальних форм. Вони дозволяють користувачам інтерпретувати та використовувати отриману інформацію для прийняття рішень.

- Хмарні технології: забезпечують масштабоване зберігання та доступ до великих обсягів даних, що особливо важливо для сучасних геодезичних проєктів.

Хмарні технології відіграють важливу роль у сучасних геодезичних проєктах, забезпечуючи масштабоване зберігання та доступ до великих обсягів геопросторових даних. Вони дозволяють спростити процес збору, обробки та аналізу географічної інформації, а також забезпечити доступ до цих даних з будь-якого місця та в будь-який час.

Завдяки хмарним сервісам, геодезисти можуть зберігати та обробляти великі обсяги даних без необхідності в придбанні та обслуговуванні власної інфраструктури. Це особливо важливо для геодезичних проєктів, які генерують значні обсяги інформації. Крім того, хмарні технології дозволяють отримувати доступ до геопросторових даних та інструментів з будь-якого місця, що спрощує співпрацю та прийняття рішень у реальному часі.

Інтеграція хмарних технологій у геоінформаційні системи (ГІС) дозволяє геодезістам та картографам ефективно управляти даними, знижувати витрати на інфраструктуру та підвищувати продуктивність проєктів. Використання хмарних сервісів також сприяє більш гнучкому та швидкому реагуванню на зміни в проєкті та забезпечує надійний доступ до інформації для всіх учасників процесу.

Завдяки хмарним технологіям, геодезичні проєкти можуть бути більш ефективними та гнучкими, що дозволяє швидше реагувати на зміни та забезпечувати високий рівень точності та надійності геопросторових даних.

7.2 Принципи забезпечення надійності, доступності та безпеки даних

У геодезії та картографії забезпечення надійності, доступності та безпеки даних є критично важливим для підтримки точності та достовірності геопросторової інформації. Основні принципи цього процесу включають:

- Резервне копіювання: регулярне створення копій даних є основою для запобігання втратам інформації. Використання стратегії «3-2-1» – створення трьох копій даних, зберігання їх на двох різних носіях та зберігання однієї копії в окремому фізичному місці – допомагає забезпечити додатковий рівень захисту.
- Шифрування: захист даних від несанкціонованого доступу досягається шляхом їх шифрування під час передачі та зберігання. Це гарантує, що навіть у разі компрометації носія даних, інформація залишатиметься недоступною без відповідного ключа дешифрування.
- Контроль доступу: встановлення чітких прав доступу для користувачів та груп дозволяє обмежити доступ до чутливих даних лише авторизованим особам. Використання багатофакторної автентифікації та регулярних перевірок безпеки допомагає мінімізувати ризик несанкціонованого доступу.
- Моніторинг та аудит: постійний моніторинг доступу та змін у даних дозволяє виявити потенційні загрози та оперативно реагувати на них. Регулярні аудити допомагають оцінити ефективність заходів безпеки та виявити можливі вразливості.

Дотримання цих принципів забезпечує високий рівень захисту геопросторових даних, що є основою для ефективної роботи в галузі геодезії та картографії.

7.3 Державний картографо-геодезичний фонд України

Базуючись на просторовій інформації отриманій з польових вимірювань, використовуючи засоби ГІС та наведені вище принципи був створений Державний картографо-геодезичний фонд України.

Державний картографо-геодезичний фонд України (ДКГФ) є централізованим сховищем геодезичних, топографічних та картографічних матеріалів, що забезпечує доступ до них для органів державної влади, місцевого самоврядування, науки, освіти та інших користувачів. Ведення ДКГФ

здійснюється через геоінформаційну систему, яка забезпечує приймання, облік, зберігання, аналіз та обробку матеріалів та даних, що надходять на зберігання.

З метою забезпечення ефективного функціонування ДКГФ, Держгеокадастром було створено геоінформаційну систему, яка працює у режимі дослідної експлуатації. Ця система дозволяє здійснювати приймання геодезичних, топографічних та картографічних матеріалів, а також забезпечує доступ до відомостей ДКГФ у режимі 24/7.

Для взаємодії з розробниками топографо-геодезичних, картографічних матеріалів та даних дистанційного зондування Землі, створено геопортал Державного картографо-геодезичного фонду України. Цей ресурс забезпечує зручний пошук та відображення інформації про об'єкти, а також надає аналітичні інструменти для статистичного аналізу реєстрів.

Використання геоінформаційної системи ДКГФ сприяє централізованому накопиченню, обліку, систематизації та зберігання топографо-геодезичних та картографічних документів, що забезпечує потреби народного господарства, науки, освіти, оборони та безпеки України.

Держгеокадастром забезпечується ведення Державного картографо-геодезичного фонду України [13], а саме: приймання, облік, систематизація, накопичення та зберігання страхового фонду геодезичних, топографічних, картографічних матеріалів, інформації та даних, у тому числі в цифровій формі, отриманих в результаті здійснення топографо-геодезичної і картографічної діяльності суб'єктами господарювання усіх форм власності; забезпечення органів державного управління, органів місцевого самоврядування, оборони, науки, культури, освіти та населення геодезичними, топографічними, картографічними матеріалами; надання у користування юридичним та фізичним особам топографо-геодезичних та картографічних матеріалів та інформації.

З метою ведення Державного картографо-геодезичного фонду України Держгеокадастром забезпечено створення геоінформаційної системи Державного картографо-геодезичного фонду України. На даний час приймання геодезичних, топографічних та картографічних матеріалів (топографічні плани та карти всього масштабного ряду від 1:500 до 1:1 000 000), гідрографічних, аерозйомочних матеріалів до Державного картографо-геодезичного фонду передбачено здійснювати через геоінформаційну систему з урахуванням вимог [43]:

– Державний картографо-геодезичний фонд України функціонує у складі національної інфраструктури геопросторових даних і формується на основі збирання, обробки, обліку топографо-геодезичних і картографічних матеріалів в електронній (цифровій) формі, отриманих у результаті виконання загальнодержавних топографо-геодезичних і картографічних робіт, а також спеціальних топографо-геодезичних і картографічних робіт, результати яких мають міжвідомче значення, для використання їх органами державної влади та органами місцевого самоврядування, а також фізичними та юридичними особами;

– ведення Державного картографо-геодезичного фонду України здійснюється шляхом створення та підтримання функціонування геоінформаційної системи та відповідних геоінформаційних сервісів, які забезпечують приймання, облік, зберігання, аналіз і оброблення матеріалів та даних, що надходять на зберігання, а також оприлюднення метаданих про них на національному геопорталі;

– формування та ведення Державного картографо-геодезичного фонду України, приймання матеріалів та їх автоматизована перевірка (валідація) здійснюються адміністратором – визначеним державним унітарним підприємством, державною організацією (установою, закладом), що належить до сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин;

– адміністратор Державного картографо-геодезичного фонду України забезпечує доступ сертифікованим інженерам-геодезістам для здійснення автоматизованої перевірки (валідації) відповідності електронного документа, що містить відомості про результати топографо-геодезичних і картографічних робіт в електронній (цифровій) формі, встановленим вимогам щодо змісту, структури і технічних характеристик до розроблення такого документа до подання заяви про внесення відповідних відомостей до Державного картографо-геодезичного фонду України. За результатами перевірки формується електронний протокол перевірки з описом помилок (за наявності).

З 24.02.2022 до завершення воєнного стану в Україні Адміністратором Державного картографо-геодезичного фонду України прийнято рішення про обмеження доступу до даних, що зберігаються у Державному картографо-геодезичному фонді. Про повне відновлення роботи Державного картографо-

геодезичного фонду користувачів буде повідомлено додатково. Для забезпечення користування геоінформаційною системою Державного картографо-геодезичного фонду України користувачі повинні пройти процедуру реєстрації та верифікації.

7.4 Валідація та перевірка матеріалів топографо-геодезичних та картографічних робіт

Валідація включає перевірку точності, повноти та відповідності даних встановленим стандартам та вимогам. Цей процес забезпечує достовірність та надійність геопросторової інформації, що використовується в різних сферах діяльності. Критерії валідації включають:

- Відповідність метаданих: перевірка інформації про референцну систему координат, просторове розрізнення, тематичну категорію ресурсу та відповідність логіки вказаних дат.

- Геопросторові дані: контроль коректності розташування об'єктів, розмірів об'єктів (мінімальна площа, довжина), замикання лінійних об'єктів, напрямку цифрування об'єктів, дублюючих точок у лінійних та полігональних об'єктах, самоперетину об'єктів, дублюючих об'єктів, виходів на рамку номенклатурного аркушу або межі району робіт.

- Семантичні дані: наявність обов'язкових характеристик, відсутність неприпустимих характеристик, коректність значень показників.

За результатами перевірки формується електронний протокол з описом помилок (за наявності). У разі відсутності помилок виконавець робіт подає заяву про внесення відповідних відомостей до Держкартгеофонду та здійснює оплату послуг за автоматизовану валідацію топографо-геодезичних матеріалів та даних. Вартість послуг становить 0,034% від прожиткового мінімуму (86 грн).

Матеріали повинні відповідати державним стандартам та нормативам, що регулюють геодезичну та картографічну діяльність в Україні. Це включає вимоги до точності вимірювань, методів обробки даних, форматів зберігання та передачі інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність [Електрон. ресурс] : Закон України від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>, вільний (дата звернення: 01.02.2025). – Назва з екрана.

2. Порівняльний аналіз сучасних електронних геодезичних приладів [Електрон. ресурс] / М. А. Кухар, О. В. Доброходова, А. А. Євдокімов, М. Л. Мироненко // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – Вип. 4 (164). – С. 117–121. – (Серія «Технічні науки та архітектура»). – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5829>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

3. Можливості сучасного електронного геодезичного обладнання та тенденції його розвитку [Електрон. ресурс] / М. А. Кухар, О. В. Доброходова, А. А. Євдокімов, М. Л. Мироненко // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – Вип. 4 (164). – С. 122–127. – (Серія «Технічні науки та архітектура»). – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5830>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

4. Офіційний сайт «Intergeo» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.intergeo.de/en/>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

5. Горб А. Інноваційні цифрові технології в геодезії та геоінформатиці на першому online INTERGEO 2020 [Електрон. ресурс] / А. Горб, І. Тревого // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : наук.-техн. зб. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Електрон. текст. дані. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2021. – Вип. I (41). – С. 16–22. – Режим доступу: <https://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/3.pdf>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

6. Тревого І. Інноваційні технології на INTERGEO 2022 [Електрон. ресурс] / І. Тревого, Б. Четверіков, М. Трюхан // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : наук.-техн. зб. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». –

Електрон. текст. дані. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2023. – Вип. І(45). – С. 22–31. – Режим доступу: <https://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/3.pdf>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

7. Лазоренко Н. Ю. Дослідження застосування штучного інтелекту (GEOAI) для завдань топографічного картографування [Електрон. ресурс] / Н. Ю. Лазоренко // Просторовий розвиток : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд. та арх. – Електрон. текст. дані. – Київ : КНУБА, 2024. – Вип. 8. – С. 430–443. – Режим доступу: <http://spd.knuba.edu.ua/article/view/315533>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

8. Kopeikin S. Towards exact relativistic theory of Earth's geoid undulation [Electron. resource] / S. Kopeikin, E. Mazurova, A. Karpik // Physics Letters A. – Electronic text data. – 2015. – Vol. 379. – P. 1555–1562. – Regime of access: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4205>, free (date of the application: 05.02.2025). – Title from the screen.

9. Лук'янченко Ю. О. Застосування супутникових та наземних даних для побудови моделей гравітаційного поля Землі [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1620/dyslukuanchenko.pdf>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

10. Методологія та організація наукових досліджень у геодезії та землеустрої : навч. посіб. [Електрон. ресурс] / Ю. О. Кисельов та ін. – Електрон. текст. дані. – Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2024. – 177 с. – Режим доступу: <https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10184>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

11. Войтенко С. Сучасна інженерна геодезія. Виклики та нові горизонти [Електрон. ресурс] / С. Войтенко, Р. Шульц // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : наук.-техн. зб. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Електрон. текст. дані. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2016. – Вип. II (32). – С. 25–32. – Режим доступу: http://lib.osau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2666/1/%D0%92%D0%BE%D0%B9%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_2.pdf, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

12. Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 4 вересня 2013 р. № 661. – Електрон. текст. дані. – Режим

доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

13. Деякі питання функціонування Державного картографо-геодезичного фонду України [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 19 січня 2024 р. № 67. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2024-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

14. Про створення Інфраструктури просторової інформації у Європейському Співтоваристві (INSPIRE) [Електрон. ресурс] : Директива Європейського парламенту і ради 2007/2/ЄС від 14 березня 2007 р. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-07#Text, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

15. Карпінській Ю. О. Основи створення інтероперабельних геопросторових даних [Електрон. ресурс] / Ю. О. Карпінський та ін. – Електрон. текст. дані. – Київ: КНУБА, 2023. – 302 с. – Режим доступу: https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2023/05/maket_r1-5_25_05_2023.pdf, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

16. Про національну інфраструктуру геопросторових даних [Електрон. ресурс] : Закон України від 13 квітня 2020 р. № 554-IX. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

17. Про утворення Ради з національної інфраструктури геопросторових даних [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 9 вересня 2020 р. № 812. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/812-2020-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

18. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

19. Технічні вимоги до специфікацій геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 10 листопада 2021 р. № 347. –

Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0022-22#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

20. Карпінський Ю. О. Основи ГІС. Стандартизація географічної інформації: навч. посіб. [Електрон. ресурс] / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Н. Ю. Лазоренко-Гевель. – Електрон. текст. дані. – Київ: КНУБА, 2021. – 152 с. – Режим доступу: https://library.knuba.edu.ua/books/15_1_21_3.pdf, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

21. ISO 19100 Geographic Information Standards. ISO/TC 211. [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.scribd.com/document/394164916/ISO-19100-Geographic-Information-Standards>, вільний (дата звернення: 05.02.2025).

22. Карпінський Ю. О. Методичні рекомендації щодо діяльності органів місцевого самоврядування у сфері НІГД : практ. посіб. [Електрон. ресурс] / 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: 05.02.2025). – Назва з екрана.

23. Про затвердження Порядку ведення державного обліку топографо-геодезичних і картографічних робіт [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 1 вересня 2023 р. № 938. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/938-2023-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

24. Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності [Електрон. ресурс] : Закон України від 5 квітня 2007 р. № 877-V. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/877-16#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

25. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

26. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електрон. ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів

України від 9 квітня 1998 р. № 56. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

27. Про затвердження Порядку охорони геодезичних пунктів [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 836. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/836-2017-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

28. Про затвердження Порядку обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 3 листопада 2014 р. № 43. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1467-14#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

29. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) за топографо-геодезичною і картографічною діяльністю Державною службою з питань геодезії, картографії та кадастру [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 765. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/765-2018-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

30. Про затвердження Вимог до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 11 лютого 2014 р. № 65. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0395-14#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

31. Про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 14 січня 2015 р. № 15. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15-2015-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

32. ДБН А.2.1-1-2008 Інженерні вишукування для будівництва [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://e->

construction.gov.ua/laws_detail/3074132130146550876?doc_type=2, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

33. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3192355188719486804?doc_type=2, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

34. ДБН В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199637436816688486?doc_type=2, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

35. Трач Р. В. Інформаційне моделювання в будівництві (BIM): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку [Електрон. ресурс] / Р. В. Трач // Глобальні та національні проблеми економіки: наук.-техн. зб. / Миколаїв. нац. ун-т імені В. О. Сухомлинського. – Електрон. текст. дані. – Миколаїв : МНУ ім. В. О. Сухомлинського, 2017. – Вип. 16. – С. 490–495. – Режим доступу: <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/99.pdf>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

36. Висотенко Р. О. Сучасний стан Державної геодезичної мережі [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/06/vysotenko_suchasnyj-stan-dgm_2024.pdf, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

37. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електрон. ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 9 квітня 1998 р. № 56. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>, вільний (дата звернення: 03.02.2025). – Назва з екрана.

38. Проект наказу Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500». [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://land.gov.ua/proekt-nakazu-ministerstva-agrarnoyi-polityky-ta-prodovolstva-ukrayiny-pro-zatverdzhennya-poryadku-topografichnoyi-zjomky-u-masshtabah>

15000-12000-11000-ta-1500-2/, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

39. Про метрологію та метрологічну діяльність [Електрон. ресурс] : Закон України від 9 червня 2014 р. № 1314-VII. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

40. Яковенко М. С. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах [Електрон. ресурс] / М. С. Яковенко, О. В. Нестеренко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд. та арх. . – Електрон. текст. дані. – Київ : КНУБА, 2019. – Вип. 55. – С. 341–355. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

41. Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови [Електрон. ресурс] / Ю. І. Ющенко, Мелашенко Ю. Б., І. В. Бень та ін. // Наука та будівництво: наук.-техн. зб. / ДП «Держ. наук.-дослід. ін-т буд. конс.». – Електрон. текст. дані. – Київ : ДП «ДНДІБК», 2020. – Вип. 3(25). – С. 13–25. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

42. Наливайко Тар. Обґрунтування системи геодезичного моніторингу із використанням рейки змінної довжини [Електрон. ресурс] / Тар. Наливайко, Тет. Наливайко, Д. Казаченко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : наук.-техн. зб. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Електрон. текст. дані. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2021. – Вип. I(41). – С. 68–73. – Режим доступу: <https://zgt.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/11.pdf>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

43. Ведення Державного картографо-геодезичного фонду України [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://land.gov.ua/vedennia-derzhavnoho-kartografo-heodezychnoho-fondu-ukrainy/>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

44. Ведення Державний картографо-геодезичний фонд України [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://kartfond.land.gov.ua/home>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

45. 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.

46. Глотов В. М. Дослідження точності хмари точок методом наземного лазерного сканування [Електрон. ресурс] / В. М. Глотов, Х. І. Марусаж // Геодезія, картографія і аерофотознімання : наук.-техн. зб. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Електрон. текст. дані. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2019. – Вип. 90. – С. 41–49. – Режим доступу: <https://doi.org/10.23939/istcgscap2019.90.041>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

47. Нестеренко С. Г. Сучасні аспекти методичного забезпечення геодезичного моніторингу об'єктів та територій [Електрон. ресурс] / С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська, А. А. Євдокімов, Е. С. Штерндок // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – Вип. 6 (187). – С. 199–203. – (Серія «Технічні науки та архітектура»). – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6408/6329>, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

48. Мамонов К. А. Формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель із застосуванням БПЛА та фотограмметричних методів [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, Е. С. Штерндок, С. Г. Нестеренко, Ю. Б. Радзінська, В. В. Касьянов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. / Національний транспортний університет. – Електрон. текст. дані. – Київ : НТУ, 2024. – Вип. 116. – Ч. 1. – С. 148–160. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/116.1/148.pdf, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

49. Формування геопросторового забезпечення для розробки сучасної кадастрової системи нерухомості [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, Е. С. Штерндок, С. А. Халіков, В. В. Гой, А. А. Євдокімов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. / Національний транспортний університет. – Електрон. текст. дані. – Київ : НТУ, 2024. –

Вип. 116. – Ч. 2. – С. 153–163. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/116.2/153.pdf, вільний (дата звернення: 05.02.2025). – Назва з екрана.

Електронне навчальне видання

ШТЕРНДОК Ернест Сергійович,
КУХАР Максим Анатолійович,
ПІЛЧЕВА Марина Олегівна

**ДОСЛІДНИЦЬКІ МЕТОДИ ТА СУЧАСНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗІЇ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Відповідальний за випуск *О. В. Афанасьєв*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *М. О. Пілічева*

План 2024, поз. 171Л

Підп. до друку 04.04.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 5,2.

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