

Боровий В. О., д.т.н., професор, Браславська О. В., д.пед.н., професор, Максютів А. О., к.пед.н., доцент (Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань, Черкаська область, viktor.borowoy@fes.kiev.ua, oksana.braslavaska@udpu.edu.ua, andriy.maksyutov@udpu.edu.ua)

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СПІЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ ТА ТРАДИЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЛОКАЛЬНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ

У статті розглянуті основні етапи та особливості розробки технологій спільного застосування супутникових та традиційних засобів та методів побудови локальних геодезичних мереж. Встановлено, що актуальним завданням сьогодні є розробка основних принципів спільного використання супутникових та традиційних геодезичних вимірів у вигляді технологічної схеми, що включає повний комплекс польових та камеральних робіт. Доведено, що підвищення ефективності побудови локальних геодезичних мереж можна досягнути за рахунок комплексного використання супутникових та традиційних засобів та методів. У зв'язку з цим виникає безліч питань щодо організації та спільного застосування супутникових та традиційних засобів та методів побудови локальних геодезичних мереж.

Ключові слова: геодезичні роботи; локальна геодезична мережа; топографо-картографічні матеріали; топографо-геодезичні дослідження; камеральні роботи; супутникові та традиційні засоби і методи вимірювань.

Постановка проблеми. В останні роки збільшився обсяг завдань із геодезичного забезпечення вивчення геодинамічних та деформаційних процесів, будівництва, монтажу та експлуатації сільськогосподарських та інженерних споруд, метрологічної атестації сучасної вимірювальної техніки, виконання топографічної та кадастрової зйомки та інших важливих завдань, вирішення яких здійснюється на основі побудови локальних геодезичних мереж.

Необхідна точність визначення координат пунктів цих мереж залежить від призначення мережі, її конфігурації, довжин сторін і

може бути в межах десятих часток міліметра – одиниць сантиметрів. Побудова локальних геодезичних мереж ґрунтується на лінійних, кутових, а останнім часом і супутникових вимірах. При цьому в багатьох випадках пункти встановлюються у місцях, де не забезпечуються сприятливі умови для радіобачення навігаційних систем. На цій підставі перспективи розвитку локальних геодезичних мереж пов'язані з комплексним використанням супутникових і наземних засобів вимірювань.

Однак, незважаючи на незаперечні переваги супутникових вимірювань (глобальності, проведення в будь-яких погодних умовах, високої точності, відсутності необхідності прямої видимості між пунктами та інших) у ряді випадків їх використання недоцільно або взагалі неможливо. Це, зокрема, відноситься до випадків необхідності їх застосування у залісненій місцевості та в міських умовах із багатопверховою забудовою. У зв'язку з цим не менш актуальними залишаються питання використання технічних засобів та методів традиційних геодезичних вимірів.

При цьому найбільш досконалим засобом виміру в даний час є електронний тахеометр, що дозволяє виконувати кутові та лінійні виміри з високою точністю, а також здійснювати обчислення плоских прямокутних координат, висот та їх збільшення в реальному масштабі часу. До недоліків електронного тахеометра слід віднести: порівняно обмежену дальність дії, необхідність прямої видимості між пунктами, залежність від погодних умов та інше. Тому, очевидно, що найперспективнішим засобом виконання геодезичних вимірювань багатоцільового призначення є портативний прилад, що поєднує в єдиному корпусі супутниковий приймач, електронний тахеометр, мікропроцесор та блок зберігання інформації, що дозволяє підвищити позитивні якості кожного окремого засобу вимірювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових праць: Баран К. О. [1], Білокриницького С. М. [3], Божок А. П. [4], Дорошко Є. В., Захарова Е. В., Саркіяна Г. С., Міхно П. Б. [5], Ранського М. П. [11], Таратули Р. Б. [12], Хохлова Г. П. [14] засвідчив, що питання спільного застосування супутникових та традиційних геодезичних засобів та методів досить добре вивчені та розроблені при побудові державних геодезичних мереж. Однак для локальних геодезичних мереж багатоцільового призначення ці питання розроблені недостатньо повно.

Мета і завдання досліджень. Підвищення ефективності побудови локальних геодезичних мереж на основі комплексного використання супутникових та традиційних засобів та методів вимірювання. Ідея роботи полягає у зміні існуючої технологічної схеми побудови локальних геодезичних мереж з урахуванням комплексного використання супутникових та наземних засобів та методів.

Завдання досліджень: Аналіз сучасного стану побудови локальних геодезичних мереж та використовуваних при цьому сучасних засобів та методів. Обґрунтування та розробка технологічної схеми спільного використання супутникових та традиційних геодезичних вимірів для побудови локальних геодезичних мереж. Розробка алгоритмів взаємо-зворотних перетворень координат та їх похідних. Розробка алгоритмів розв'язання деяких геодезичних задач: обчислення похилих об'єктів по збільшеним координатам, редукція відстані, визначення масштабу та зближення меридіанів у проекції Гаусса-Крюгера, зрівнювання результатів спільних супутникових та традиційних геодезичних вимірів та ін.

Виклад основного матеріалу досліджень. Геодезичне забезпечення вивчення геодинамічних та деформаційних процесів, будівництва, монтажу та експлуатації інженерних та сільськогосподарських споруд, метрологічної атестації сучасної вимірювальної техніки, міського кадастру та вирішення інших завдань здійснюється на основі побудови локальних геодезичних мереж. Вимоги до точності, густини, стабільності центрів пунктів, складу вимірювальної інформації надзвичайно різноманітні. Це обумовлено розмаїттям завдань, які вирішуються з за допомогою локальних геодезичних мереж. Варто розглянути особливості побудови таких мереж на геодезичних полігонах, у великих містах та районах будівництва унікальних інженерних споруд, оскільки ці напрями у діяльності геодезії, картографії та топографії нині є одними з основних [11, С. 4].

Інженерно-геодезичні мережі створюються на території міст, великих промислових, енергетичних, гірничодобувних об'єктів і є геодезичною основою виконання комплексу проектно-вишукувальних та будівельних робіт. За геометричною побудовою планові мережі інженерно-геодезичного призначення традиційно створюються методами тріангуляції, трилатерації, полігонометрії,

лінійно-кутовими мережами та їх поєднаннями. Вимоги до точності, конфігурації, густини інженерно-геодезичних мереж надзвичайно різноманітні. Вони визначаються тими завданнями, які вирішуються під час пошуків, проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд.

Побудова інженерно-геодезичних мереж ґрунтується на кутових та лінійних вимірах, в останні роки стали використовуватися супутникові виміри. Проведення кутових та лінійних вимірів в інженерно-геодезичній практиці ускладнюється комплексом зовнішніх умов, що впливають на точність результатів. До них можна віднести: наявність перешкод, що обмежують довжини сторін та вибір місця для встановлення приладів у сприятливих для вимірювань умовах; бічна рефракція; нестійкість приладу внаслідок вібрацій та інше [1, С. 19].

При побудові та обробці таких мереж можливі деякі суттєві спрощення, які практично не знижують точності результатів геодезичних визначень. Актуальною проблемою при цьому необхідно визнати розробку основних принципів спільного використання супутникових та традиційних геодезичних вимірів у вигляді технологічної схеми, що включає повний комплекс польових та камеральних робіт.

Супутникові вимірювання, як відомо, здійснюються з використанням просторової прямокутної системи координат S (XYZ) з координатами X , F , Z (або геодезичної системи G (BLH) з координатами B , L , H)), а наземні вимірювання виконуються із застосуванням плоскої прямокутної у проекції Гауса з координатами x , y , яку представимо в тривимірному форматі додаванням аплікати z і надалі називатимемо системою P (xuz). У цьому досить актуальними виявляються питання, що з взаємним перетворенням координат точок та його похідних координат, (диференціальних поправок координат) із системи до системи.

Важливе значення мають питання розробки алгоритмів вирішення типових геодезичних завдань у функціях координат різних систем. До таких завдань можна віднести обчислення координат точок прирощень координат, обчислення похилих дальностей по приросту координат, редукція відстаней у проекції Гаусса-Крюгера, визначення масштабу і зближення меридіанів у проекції Гаусса-Крюгера, спільне зрівнювання супутникових та

традиційних геодезичних вимірів [4, С. 275]. При розробці алгоритмів, на наш погляд, доцільно дотримуватись таких вимог:

- запропоновані алгоритми мають бути досить простими за рахунок обмежень, що виникають у локальних геодезичних мережах;

- результати обчислень за пропонованими алгоритмами не повинні відрізнятися від строгих більш, ніж на 2 мм у лінійній мірі та 0.0001 у кутовій мірі;

- алгоритми мають бути реалізовані у програмних продуктах;

- одночасно з результатами зрівнювання спільних супутникових та традиційних геодезичних вимірів мають бути отримані необхідні метрологічні характеристики: оцінки точності результатів зрівнювання та розрахунок ймовірності знаходження точок, що визначаються в просторових тілах (еліпсоїд, сфера) і плоских геометричних фігурах (еліпс, коло) [10, С. 128].

Очевидно, результати одного виду вимірювань можуть бути спотворені за рахунок різних чинників. Вплив таких факторів можна локалізувати шляхом розширення видового складу вимірювань, що використовуються в інженерно-геодезичній практиці, насамперед супутникових.

Керівними документами, що регламентують побудову інженерно-геодезичних мереж, передбачається побудова або планових або висотних мереж. Хоча сучасні засоби вимірювань дозволяють здійснювати побудову просторових мереж. Тому актуальним стає розробка алгоритмів вирівнювання просторових мереж, в яких коефіцієнти рівнянь поправок та вільні члени виражаються у вигляді функцій координат різних систем (плоскої, геодезичної, просторової).

Найпоширенішими супутниковими навігаційними системами, що широко використовуються в геодезичних цілях є GPS (Global Positioning System), створена в США. У рамках Європейського союзу існує аналог-система GNSS-2, що отримала назву GALILEO [3, С. 64]. З огляду на дедалі ширше використання приймальної апаратури, що працює за сигналами цих систем, у практику топографо-геодезичних робіт розгляду їх принципу дії, обліку впливу на точність супутникових вимірів різних факторів та вирішення інших питань присвячено велику кількість спеціальної наукової літератури [14, С. 342].

Супутникові навігаційні системи включають три основні підсистеми: космічних апаратів, контролю та управління, апаратури споживачів.

На кожному супутнику системи GPS є наступне обладнання:

- атомні стандарти частоти та часу, які служать для генерування опорної частоти з добовою нестабільністю, а також для формування несучих L1 та L2 частот радіовипромінювання дециметрового діапазону хвиль;

- радіопередавач з пристроєм модуляції несучих частот передачі навігаційних сигналів споживачам;

- бортовий обчислювальний процесор, система орієнтації та інші допоміжні системи.

Навігаційний супутник випромінює радіосигнали на частотах L1 та L2. Сигнал діапазону L1 модулюється далекомірними кодами та навігаційним повідомленням. Сигнал діапазону L2 містить лише далекомірні коди.

Наразі розроблено понад 500 типів апаратури споживача для повітряної, морської, наземної навігації, геодезії та інших цілей.

Апаратуру споживача, призначену до виконання геодезичних робіт, називають супутникової геодезичної апаратурою.

Комплект кожного приймача включає наступні блоки: антену, приймач, контролер (керівний пристрій), а також допоміжне приладдя: блок живлення (для зарядки акумуляторів), акумулятори або батареї, кабелі, штативи, вішки для встановлення антени, контейнер для перенесення, рулетку та пр. Обробка супутникових вимірювань здійснюється на комп'ютері за допомогою відповідного програмного забезпечення [7, С. 403].

Найбільшого поширення в Україні набули супутникові приймачі наступних фірм: «Ashtech Inc», «Trimble Navigation», «Javad» (США), «Leica AG» (Швейцарія), «Desant Sersel» (Франція), «Geotronics AB» (Швеція).

Приймачі, що працюють за сигналами супутникових навігаційних систем, розрізняються за такими показниками: числу частот, що приймаються (одно-частотні, дво-частотні); числу каналів обробки; виду сигналів, що приймаються і оброблюються (кодові, кодово-фазові); типам супутникових систем.

Одно-частотні приймачі здійснюють збирання даних на частоті L1. Дво-частотні отримують додатковий обсяг даних за частотою L2,

що дозволяє підвищити точність координатних визначень (дві частоти забезпечують суттєве зниження впливу іоносферної рефракції), скоротити час спостережень, забезпечити передачу координат великі відстані та інших.

Каналом супутникового приймача є частина приймального електронного тракту, що забезпечує прийом одного сигналу частоти одного супутника.

Безумовно, що більше каналів, то краще. Це особливо важливо для приймачів GPS, які є досить ефективними при роботі в місцях з обмеженою видимістю небесної сфери (кварталах міської забудови, лісу, кар'єрах тощо).

При автономних абсолютних визначеннях встановлюють координати точки, що визначається, одним приймачем в системі координат, віднесеної до центру мас Землі (GPS), незалежно від результатів вимірювань на інших пунктах. Для цього вирішується просторове лінійне засічення за кодovими псевдодальностями до 4 і більше навігаційних систем. Точність місцезнаходження в цьому випадку не перевищує 5 м., тому автономні визначення широко використовуються в навігації. У геодезії вони використовуються для визначення наближених координат пунктів [9, С. 184].

Для підвищення точності визначення абсолютних координат рівня 0,5–1 м використовують диференціальні супутникові вимірювання. Вони, на відміну автономних, псевдодальності до супутників вимірюють одночасно з двох станцій. Базова (опорна) станція, встановлюється на пункті з відомими координатами прийнятої системи координат. Пересувна (мобільна) станція розміщується на пункті, що визначається.

На базовій станції за результатами вимірювань формуються диференціальні виправлення, які передаються на пересувну станцію. Формування диференціальних поправок може здійснюватися двома шляхами:

– Як різниця відомих та виміряних координат базової станції. Вона додається до координат пересувної станції. І тут обидві станції повинні спостерігати однакове сузір'я навігаційних систем.

– Як різницю між виміряними псевдодальностями та відстанями, обчисленими за координатами базової станції та навігаційних систем. Ці виправлення передаються на пересувну станцію для корекції вимірювань.

Основна ідея диференціального режиму – виключення систематичних помилок, загальних для базової та пересувної станцій. В ідеалі необхідно, щоб вимірювання на базовій та пересувній станціях проводилися одночасно і в одній точці. Рознесення вимірювань у часі та у просторі знижує потенційну точність диференціальних супутникових визначень [13, С. 324].

Поправки вводять або після вимірювань при постобробці або передають додатковому цифровому радіоканалу і враховують в ході вимірювань в реальному часі. У нашій країні ведуться роботи зі створення мережі станцій диференціальних визначень, що постійно діють, що дозволить виконувати координатні визначення одним приймачем.

Диференціальні станції обчислюють поправки, передані споживачеві у часі. За заявкою споживачів передаються і результати безпосередніх спостережень, що дозволяє реалізувати відносні методи супутникових визначень.

У відносних методах визначають збільшення просторових прямокутних координат A_X , A_Y , A_Z між двома пунктами в прийнятій системі координат шляхом проведення на цих пунктах синхронних псевдодальномірних (як кодових, так і фазових) вимірювань до навігаційних систем за допомогою супутникової геодезичної апаратури. Оскільки за визначенням $D = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2}$ можна стверджувати, що у відносних методах визначаються також і похибі дальності D .

Існують два різновиди відносних визначень. У першому збільшенні координати – різниця абсолютних координат, що визначаються синхронно по тому самому сузір'ю навігаційних систем [2, С. 618].

Очевидно, що в цьому випадку обидва пункти є рівноправними і будь-який можна прийняти за вихідний.

Другий різновид відносних визначень полягає у спільній обробці вимірювань, виконаних на обох пунктах. Для виключення систематичних помилок супутникового сигналу утворюються перші, другі та треті різниці фаз.

Супутникова геодезична апаратура передбачає можливість роботи в режимах «Статика», «Швидка статика», «Реокупація», «Кінематика», «Стій-іди».

У статичних методах стаціонарні спостереження виконуються нерухомими приймачами. Один із приймачів приймається за базовий. Усі станції, становище яких визначається щодо базової станції, вважаються пересувними. Будь-яка з них, положення якої визначено з необхідною точністю, може бути використана як базова для створення наступних фрагментів геодезичної мережі.

Спостереження в режимі «Статика» виконуються, як правило, на великих відстанях (понад 15 км). Час спостережень залежить від довжини базової лінії, числа навігаційних систем, що спостерігаються, геометричного фактору, стану іоносфери і тропосфери, необхідної точності тощо. Спостереження зазвичай становить не менше 1 години.

Тривалість спостережень можна скоротити, якщо використовувати режим «Швидка статика», в якому застосовуються активні алгоритми розв'язання неоднозначності. Його зазвичай використовують на лініях до 15 км. Тривалість спостереження становить 5–20 хвилин. Спеціальний індикатор контролера повідомляє про досягнуту точність та можливість переходу на наступний пункт. Цей режим зручний для розвитку мереж згущення, створення самостійних локальних мереж, знімальних мереж.

Режим «Реокупація» використовується, коли на пункті неможливо спостерігати необхідну кількість супутників. Для цього спостереження на пункті виконуються двічі та більше. Наприклад, чотири одночасні виміри псевдодальностей до 4 навігаційних систем можна замінити на два послідовних виміри, розділені за часом, по двох супутниках, або на 4 послідовні по одному супутнику. Зазвичай оператор проводить вимірювання на пункті, що визначається, протягом 10 хвилин, потім не менше ніж через 1,5 години проводить повторні спостереження тієї ж тривалості. На етапі комп'ютерної обробки всі зібрані дані поєднують для вироблення одного рішення.

Режим «Кінематика» передбачає визначення координат пересувної станції під час її переміщення. Але він вимагає, щоб приймач утримував захоплення супутників протягом усього часу переміщення. Вимірювання починають у пунктах ініціалізації. Мета ініціалізації – вирішити неоднозначність фазових вимірів.

Для підвищення точності координатних визначень часто пересувну станцію переміщують з точки на точку, виконуючи на кожному вимірі протягом 5-30 секунд. За цей час відбувається накопичення кількох епох вимірів.

Такий різновид кінематичного режиму називають «Стій-іди». Вона використовується при виконанні топографічних та кадастрових зйомок.

Для використання технологій супутникових координатних визначень необхідне забезпечення видимості на момент вимірів по лінії супутник – антена приймального пристрою. На практиці забезпечити таку видимість часто не вдається. Тому для вирішення геодезичних завдань актуальним стає комплексне використання супутникової апаратури та традиційних геодезичних засобів (світлодолямірів, теодолітів, нівелірів, електронних тахеометрів тощо) [5, С. 103].

Найбільш ефективним є використання супутникових приймачів з електронними тахеометрами. Це зумовлено рядом причин. Тахеометри є універсальними геодезичними приладами. Вони призначені для вимірювання кутів та відстаней. У результати вимірювань тахеометром автоматично вводяться поправки за метеоумови (причому окремі тахеометри самі визначають температуру і тиск), за приведення довжин ліній до площини горизонту та ін. та інших величин. Час виконання комплексу вимірів (горизонтальний напрямок + вертикальний кут + відстань + виведення результату) становить кілька секунд. Більшість тахеометрів мають власну пам'ять, вбудований мікропроцесор та бібліотека програм для виконання геодезичних робіт.

Ряд сучасних тахеометрів дозволяє за допомогою спеціального відбивача виконувати вимірювання до невидимих точок (наприклад, через листя дерев), а також працювати з мікропризмінними наклейками. Електронні тахеометри (в їх далекомірній частині) та супутникова геодезична апаратура мають дві загальні ознаки: вони є фазовими пристроями та їх використовують для визначення лінійних величин: відстаней та різниць координат. Сучасні тахеометри та супутникові приймачі мають однакові формати запису польової інформації, взаємозамінні карти пам'яті [6, С. 122].

Можлива також автоматизована передача польових вимірювань пакет спільної обробки з подальшою передачею результатів вимірювань в бази даних геоінформаційних систем.

Можливе використання супутникової геодезичної апаратури та традиційних геодезичних засобів за такими напрямками: 1. На одній частині об'єкта геодезичні побудови виконуються супутниковими

методами, на іншій – традиційними методами. Супутникові та традиційні методи не мають між собою жодних зв'язків. 2. Супутникові та традиційні геодезичні побудови пов'язані між собою. При цьому можливі три варіанти зв'язків: – розвиток мережі традиційними методами від пунктів, визначених супутниковими приймачами; – розвиток мережі супутниковими методами від пунктів, визначених традиційними геодезичними засобами та методами; – ступінчастий розвиток мереж, при якому супутникові та традиційні виміри чергуються між собою. 3. Супутникові та традиційні геодезичні вимірювання використовуються для спільного вирішення деяких типових завдань топографо-геодезичного виробництва (наприклад, пошук центрів пунктів, застосування електронних тахеометрів для визначення елементів центрування при супутникових вимірюваннях тощо). Традиційними методами визначення планових координат пунктів є: триангуляція, полігонометрія, трилатерація, лінійно-кутові мережі, засічки. При виборі методу враховуються необхідна точність координатних визначень, терміни виконання робіт, характер місцевості та стан вихідної геодезичної основи в районі виконання робіт, прогноз погоди, умови видимості та інше [12, С. 34].

Технології супутникових координатних визначень, маючи перед традиційними суттєві переваги (вищу точність та оперативність, можливість виконання геодезичних побудов без наявності взаємної видимості між пунктами) мають і певні недоліки. Це насамперед необхідність забезпечення видимості на момент вимірювань по лінії «супутник-антена супутникової апаратури». У багатьох випадках такої видимості забезпечити не вдається. Тому актуальним стає комплексне використання для побудови локальних геодезичних мереж супутникової апаратури та традиційних геодезичних засобів (світлодолярів, теодолітів, електронних тахеометрів). Найбільш ефективним є використання супутникової апаратури з електронними тахеометрами, які є універсальними геодезичними приладами. Спільне використання супутникового та традиційних геодезичних методів дозволяє зменшити кількість ступенів обґрунтування, а отже, підвищити точність геодезичного обґрунтування.

Складання технічного проекту має передувати підготовчий етап розробки технічного проекту, який полягає у збиранні та аналізі наступних матеріалів: топографічні карти та плани; відомостей про всі раніше виконані геодезичні роботи; картки прив'язки та списки

координат пунктів існуючої геодезичної мережі; довідки про системі координат; особливості району робіт (заліснення, поверховість будівель, водна поверхня, потужні радіо- та телевізійні передавачі тощо) [8, С. 150].

Технічний проект включає: текстову частину; графічні матеріали; кошторис витрат та розрахунки необхідних матеріалів.

У текстовій частині технічного проекту відображаються: підстава та мета виконання робіт; коротка фізико-географічна характеристика району робіт; відомості про топографо-геодезичну забезпеченість району робіт; відомості про раніше виконані роботи; характеристика трансформаційних пунктів, що використовуються для перетворення координат (координати, висоти, число щільність, взаємне становище по відношенню до визначених, площа фігури, що утворюється цими пунктами); обґрунтування технології геодезичних робіт; організація та строки виконання робіт; рекомендації з техніки безпеки та охорони праці; перелік матеріалів, що підлягають здачі після закінчення робіт.

Як основний графічний документ до технічного проекту прикладається проект геодезичної мережі, складений на топографічному плані (карті) або креслення, на якому відображають: пункти існуючої мережі; проєктовані пункти мережі; пункти мережі, прийняті в як трансформаційні для визначення параметрів перетворення координат; опорні та мобільні пункти супутникової геодезичної побудови; пункти супутникової побудови, довкола яких є перешкоди; супутникові, кутові, лінійні та інші дані для геодезичних вимірів.

Проєктування має виконуватися відповідно до чинних нормативних документів та інструкцій. У зв'язку із застосуванням останніми роками більш досконалих засобів вимірювань, відсутністю нормативних документів щодо їх використання, а також відступом в силу місцевих причин від нормативних вимог до довжин сторін, величин кутів, довжинам ходів тощо, оцінку проєктів геодезичних побудов можна здійснити на ЕОМ з використанням теорії корелатного або параметричного способів вирівнювання [5].

Висновки. Таким чином, на основі вищевикладеного можна зробити висновок, що геодезичне забезпечення вивчення геодинамічних та деформаційних процесів, будівництва, монтажу та експлуатації інженерних та сільськогосподарських споруд,

метрологічної атестації сучасної вимірювальної техніки, міського кадастру та вирішення інших завдань здійснюється на основі побудови локальних геодезичних мереж. Як показує аналіз, вимоги до точності, щільності, стабільності центрів. пунктів, складу вимірювальної інформації надзвичайно різноманітні. Це зумовлюється різноманітністю завдань, які вирішуються за допомогою локальних геодезичних мереж.

Побудова локальних геодезичних мереж ґрунтується на лінійних, кутових, а останнім часом і супутникових вимірах. При цьому в більшості випадків виникає необхідність реконструкції існуючих мереж, пункти яких, у багатьох випадках, встановлені в місцях, де не забезпечуються сприятливі умови радіобачення навігаційних систем. На цій підставі перспективи розвитку локальних геодезичних мереж пов'язані з комплексним використанням супутникових та наземних вимірювань. На основі аналізу сучасного стану побудови локальних геодезичних мереж та сучасних геодезичних приладів (супутникових приймачів та електронних тахеометрів) розроблено основні принципи побудови локальних мереж геодезичного призначення на основі поєднання супутникових та наземних технологій.

Цим технологіям притаманні всі переваги супутникових засобів та методів: не потрібна взаємна видимість між суміжними пунктами, оптимальна з погляду подальшого використання розташування пунктів, всепогодність, високий ступінь автоматизації польових та камеральних робіт та ін. Поєднання супутникових та наземних засобів та методів дає нові переваги. Серед них відзначимо: визначення координат пунктів у місцях, де неможливо виконати супутникові виміри; підвищення точності координатних визначень за рахунок збільшення числа надлишкових вимірів та більш високої у ряді випадків точності традиційних вимірів (наприклад, на коротких відстанях точність таких вимірів вище за супутникові); можливість виявлення помилок систематичного характеру з допомогою використання вимірів різного виду; оперативне визначення помилок у координатах існуючої мережі та їх виключення із спільної обробки; можливість виконання вимірювань у стислий термін (що особливо важливо при побудові локальних геодезичних мереж) та ін. Ефективне застосування даної технології може бути в районах з низькою щільністю вихідних пунктів.

Застосування означеної технології дозволить зменшити кількість ступенів обґрунтування, а значить підвищити його точність. Складовими елементами запропонованої технології є: проектування спільних супутникових та традиційних геодезичних вимірів; рекогносцювання та уточнення проекту, польові виміри: супутникові, лінійні, кутові та інші; математична обробка: первинна та попередня обробка, координатні перетворення, зрівняльні обчислення, імовірнісні розрахунки.

1. Баран К. О., Буряк, В. Я., Ковтун А. П., Сухіна К.Р., Третяк П. І. Інженерно-геодезичні роботи в Україні. *Вісник геодезії та картографії*. 2011. No 5 (74). С. 19–26.
2. Баран П. І. Інженерна геодезія : монографія. Київ : ПАТ «Віпол», 2012. 618 с.
3. Білокриницький С. М. Топографія і геодезія : метод. посібник. Чернівці : Рута, 2001. 64 с.
4. Божок А. П. Топографія з основами геодезії : підручник. Київ : Вища школа, 1995. 275 с.
5. Дорошко Є. В., Захарова Е. В., Саркісян Г. С., Міхно П. Б. Обґрунтування доцільності єдиноформатної технології автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань : посіб. Київ : *Технічні науки та архітектура*. 2021. С. 103–107.
6. Кухар М. А., Доброходова О. В., Євдокімов А. А., Мироненко М. Л. Можливості сучасного електронного геодезичного обладнання та тенденції його розвитку. *Комунальне господарство міст. Сер. Технічні науки та архітектура*. 2021. Вип. 164. Том 4. С. 122–127.
7. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону: напрями та особливості оцінки : монографія. Харків : нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 403 с.
8. Міхно П. Б. Проблеми застосування традиційних інженерно-геодезичних технологій в Україні в сучасних умовах. *Технічні та економічні рішення з протидії глобальним викликам* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (17–20 вересня 2020 р., Кременчук). Кременчук : Колос, 2020. С. 150–154.
9. Неумивакін Ю. К., Перський М. К. Земельно-кадастрові геодезичні роботи : посіб. Київ : Колос, 2006. 184 с.
10. Петрович Л. М., Волосецький Б. І. Основи кадастру : навч. посіб. Львів : ЛАГТ, 2000. 128 с.
11. Ранський М. П. Геодезичні роботи в землевпорядкуванні : метод. посіб. Чернівці : Рута, 2007. С. 4–8.
12. Таратула Р. Б. Теоретичні засади формування та функціонування земельно-інформаційної системи. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. Економічні науки*. 2017. Вип. 24. Частина 2. С. 34–38.
13. Хохлов Г. П. Теорія і практика розрахунку й оцінки точності інженерно-геодезичних вимірювань : монографія. Кременчук : КрНУ, 2017. 324 с.
14. Чижмаков А. Ф. Геодезія : навч. посіб. Київ : Надра, 1977. 342 с.

REFERENCES:

1. Baran K. O., Buriak, V. Ya., Kovtun A. P., Sukhina K.R., Tretiak P. I. Inzhenerno-heodezychni roboty v Ukraini. *Visnyk heodezii ta kartohrafiï*. 2011. No 5 (74). S. 19–26.
 2. Baran P. I. Inzhenerna heodeziia : monohrafiia. Kyiv : PAT «Vipol», 2012. 618 s.
 3. Bilokrynytskyi S. M. Topohrafiia i heodeziia : metod. posibnyk. Chernivtsi : Ruta, 2001. 64 s.
 4. Bozhok A. P. Topohrafiia z osnovamy heodezii : pidruchnyk. Kyiv : Vyshcha shkola, 1995. 275 s.
 5. Dorozhko Ye. V., Zakharova E. V., Sarkisian H. S., Mikhno P. B. Obgruntuvannia dotsilnosti yedynofornatnoi tekhnolohii avtomatyzovanoi obrobky rezultativ heodezychnykh vymiriuvan : posib. Kyiv : *Tekhnichni nauky ta arkhitektura*. 2021. S. 103–107.
 6. Kukhar M. A., Dobrokhodova O. V., Yevdokimov A. A., Myronenko M. L. Mozhlyvosti suchasnoho elektronnoho heodezychnoho obladdnannia ta tendentsii yoho rozvytku. *Komunalne hospodarstvo mist. Ser. Tekhnichni nauky ta arkhitektura*. 2021. Vyp. 164. Tom 4. S. 122–127.
 7. Mamonov K. A. Terytorialnyi rozvytok vykorystannia zemel rehionu : napriamy ta osoblyvosti otsinky : monohrafiia. Kharkiv : nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2020. 403 s.
 8. Mikhno P. B. Problemy zastosuvannia tradytsiinykh inzhenerno-heodezychnykh tekhnolohii v Ukraini v suchasnykh umovakh. *Tekhnichni ta ekonomichni rishennia z protydii hlobalnym vyklykam* : materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (17–20 veresnia 2020 r., Kremenchuk). Kremenchuk : Kolos, 2020. S. 150–154.
 9. Neumyvakin Y. K., Perskyi M. K. Zemelno-kadastrovi heodezychni raboty : posib. Kyiv : Koloss, 2006. 184 s.
 10. Petrovych L. M., Volosetskyi B. I. Osnovy kadastru : navch. posib. Lviv : LAHT, 2000. 128 s.
 11. Ranskyi M. P. Heodezychni roboty v zemlevporiadkuvanni : metod. posib. Chernivtsi : Ruta, 2007. S. 4–8.
 12. Taratula R. B. Teoretychni zasady formuvannia ta funktsionuvannia zemelno-informatsiinoi systemy. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Ser. Ekonomichni nauky*. 2017. Vyp. 24. Chastyna 2. S. 34–38.
 13. Khokhlov H. P. Teoriia i praktyka rozrakhunku y otsinky tochnosti inzhenerno-heodezychnykh vymiriuvan : monohrafiia. Kremenchuk : KrNu, 2017. 324 s.
 14. Chyzhnikov A. F. Heodeziia : navch. posib. Kyiv : Nadra, 1977. 342 s.
-

Borovyi V. O., Doctor of Engineering, Professor, Braslavska O. V., Doctor of Pedagogic Sciences, Professor, Maksutov A. O., Candidate of Pedagogic Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Cherkasy region)

DEVELOPMENT OF JOINT APPLICATION TECHNOLOGY SATELLITE AND TRADITIONAL MEANS AND METHODS CONSTRUCTION OF LOCAL GEODESIC NETWORKS

The article discusses the main stages and features of the development of technologies for the joint use of satellite and traditional means and methods of building local geodetic networks. It has been established that the urgent task today is the development of the basic principles of joint use of satellite and traditional geodetic measurements in the form of a technological scheme that includes a full range of field and camera work.

The scientific novelty of the research carried out lies in the fact that a number of elements of the general technological scheme for the integrated use of satellite and traditional geodetic tools and methods in the construction of local geodetic networks, in particular, coordinate transformations, probabilistic calculations, etc., have been proposed and justified. Algorithms for transforming the coordinates of points and their derivatives from system to system, the transformation matrices of which are expressed in functions of the coordinates of different systems. As a result of the research, new solution algorithms were obtained typical geodetic problems in functions of the coordinates of different systems: distance reduction, determination of the scale and convergence of meridians in the Gauss-Kruger projection, calculation of slant ranges from coordinate increments, equalization of the spatial trilateration network with the expression of slant ranges in functions of coordinates of different systems, etc. The reliability of the research results is confirmed numerical and natural experiments.

The practical significance of the study lies in the fact that the proposed technology will improve the accuracy and reliability of constructing local geodetic networks, reduce the cost of money and time for performing work.

It has been proven that increasing the efficiency of building local geodetic networks can be achieved due to the complex use of satellite and traditional means and methods. In this connection, many questions arise regarding the organization and joint use of satellite and traditional means and methods of building local geodetic networks.

***Keywords:* geodetic works; local geodetic network; topographic and cartographic materials; topographic and geodetic research; camera work; satellite and traditional means and methods of measurements.**