



Впровадження нових методів обробки геодезичних вимірів із використанням супутникових технологій

Т.А. Наливайко¹, Т.Т. Наливайко², О.Є. Поморцева³

¹ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вул. Черноглазівська, 17, 61002, Харків, Україна

² Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, просп. Науки, 9А, 61166, Харків, Україна

³ Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, 61022, Харків, Україна
elena.pomortseva@gmail.com

Анотація

Метою дослідження є розкриття сучасних підходів застосування спеціальних геодезичних мереж, що опираються на державне геодезичне обґрунтування. Це особливо важливо для будівництва складних об'єктів — доріг, мостів і забезпечує високу точність у виконанні розбивочних робіт за рахунок зменшення похибки визначення координат.

Аналіз світових тенденцій показує, що використання GNSS є оптимальним для побудови спеціалізованих геодезичних мереж. Однак цей метод не може повністю замінити всі інші через наявні обмеження. Запропоновано поєднання GNSS із полігонометрією, що дозволяє суттєво зменшити час вимірювань, знизити трудомісткість, забезпечити економічну ефективність та відповідати вимогам щодо точності створення таких мереж.

У роботі сформульовано структуру геодезичних державних, місцевих розбивочних мереж як прийом для користування при проектуванні та будівництві великих промислових і енергетичних об'єктів. У результаті виконаних досліджень запропоновано алгоритм послідовності обчислення точок на основі опорної базової мережі з урахуванням похибок поширення сигналу супутника, приймача та похибок визначення координат обумовлених пунктів. Пропонуються формули розрахунку середнього вагового з урахуванням значень диференціальних виправлень при визначенні координат пунктів геодезичних мереж. Пропонується застосування опорних базисних мереж. Це дозволить значно підвищити точність одержання відносних координат. Також пропонується використовувати більше однієї базової станції, що надасть можливість уточнювати координати супутників, тобто прив'язати їх до обмірюваних баз.

Ключові слова: будівництво; геодезичні технології; геодезична мережа; розбивочна мережа; диференціальне виправлення.

Отримано: 12.02.2025

Відредаговано: 16.04.2025

Схвалено до друку: 18.04.2025

Постановка проблеми

Застосування спеціальних геодезичних мереж, що опираються на державне геодезичне обґрунтування, є важливим для виконання розбивочних робіт через кілька ключових причин. Перш за все це точність і надійність. Державне геодезичне обґрунтування базується на високо-точних координатах і висотах, визначених з використанням сучасних технологій. Це забезпечує високу точність у виконанні розбивочних робіт, що особливо важливо для будівництва складних об'єктів, доріг, мостів тощо.

Також необхідно дотримуватися уніфікації координатної системи. Використання державної системи координат дозволяє уніфікувати результати робіт і забезпечує взаємозв'язок між різними

проектами та учасниками будівництва. З точки зору контролю якості геодезична мережа дозволяє здійснювати контроль за точністю виконання будівельних робіт на всіх етапах: від проектування до завершення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останні роки характеризуються активним розвитком та впровадженням спеціальних геодезичних мереж. Ці мережі забезпечують високу точність та надійність при перенесенні проектних рішень на місцевість, що є критично важливим для сучасних будівельних проектів. У наукових колах активно обговорюються питання підвищення точності та ефективності спеціальних геодезичних мереж. Зокрема, досліджуються нові методи об-



Рис. 1. Структурна схема розбивочних мереж

робки геодезичних вимірювань, використання супутникових технологій та інтеграція геоінформаційних систем [1].

Геодезичні мережі для великих промислових, гідротехнічних і сільськогосподарських об'єктів, розташованих поблизу міст, формуються на базі вже існуючих мереж пунктів триангуляції, трилатерації та полігонометрії вищих класів.

У роботі [2] аналізуються традиційні методи створення планово-висотної геодезичної мережі, які відзначаються значною трудомісткістю, тривалістю виконання та низькою економічною ефективністю. Сучасним оптимальним рішенням є метод GNSS, проте він не може повністю замінити інші методи через наявні обмеження. Запропоновано комбінування GNSS із полігонометрією, що дозволяє суттєво скоротити час вимірювань, зменшити трудовитрати, забезпечити економічну доцільність та відповідати вимогам точності при створенні геодезичних мереж.

Багато вчених досліджують питання з застосування спеціальних геодезичних мереж, що базуються на державному геодезичному обґрунтуванні. Це є невід'ємною складовою сучасного будівництва. Постійне вдосконалення методів та технологій у цій сфері сприяє підвищенню якості та надійності будівельних робіт [3–7].

Виклад основного матеріалу

Метою дослідження є вдосконалення і підвищення точності виконання розбивочних робіт.

Для виконання розбивочних робіт застосовуються спеціальні геодезичні мережі, що опираються на державне геодезичне обґрунтування. Схема й точність розбивочних мереж визначаються видом споруджень і їхнім класом точності. В Україні основним документом, що регламентує виконання геодезичних робіт у будівництві, є ДБН В.1.3-2:2010 “Геодезичні роботи у будів-

ництві”. Цей документ визначає вимоги до створення геодезичних розбивочних мереж, їхньої точності та методи виконання робіт.

Незалежно від виду споруджень існує загальний підхід до побудови розбивочних мереж. Для забезпечення необхідної точності мереж і виключення впливу державних мереж розбивочні мережі будуються як вільні мережі, прив'язані до державних мереж. Зменшення впливу редуційних похибок для об'єктів загальною площею більше 400 км² досягається шляхом переходу до умовного референт-еліпсоїду, центр поверхні якого в рамках будівельного майданчика “розміщується” на середній позначці поверхні землі в межах будівельного майданчика. Таким чином, формується місцева система координат. Цим прийомом користуються в містах при будівництві великих промислових і енергетичних об'єктів [8]. Структуру геодезичних мереж для будівництва наведено на рис. 1.

Кожний елемент розбивочної мережі, наведеної на рис. 1, формується як вільна геодезична мережа. Точність кожного блоку мережі визначається нормативними вимогами або спеціальними розрахунками [9].

Особливістю сучасних геодезичних опорних мереж є спільне застосування існуючих мереж із мережами, побудованими за допомогою супутникових систем визначення місця розташування (GNSS). Проведені дослідження показали, що найкращі результати можуть бути отримані шляхом застосування так званих опорних базисних мереж. Сутність цього методу полягає в наступному. Похибку визначення координат, використовуючи супутникові системи визначення місця розташування, можна визначити таким виразом [10]:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{TB}^2 + \Delta_{CP}^2 + \Delta_B^2}, \quad (1)$$

де Δ — похибка визначення координат точки супутниковими методами;

Δ_{TB} — похибка траєкторних вимірів;

$\Delta_{СП}$ — похибка положення супутника;

Δ_B — похибка вимірів приймачем GNSS.

У цьому випадку одержимо абсолютні значення обумовлених координат щодо центральних станцій керування супутниками. Причому ці координати будуть мати повний набір усіх похибок, пов'язаних з атмосферними, апаратними й іншими похибками. Похибка таких визначень становить порядку $m_{\Pi} = 5\text{--}10$ м. При середньому радіусі Землі $R = 6370$ км одержимо відносну похибку, рівну [11]:

$$\frac{m_D}{D} = \frac{1}{\pi R / m_{\Pi}}. \quad (2)$$

При $R = 6370\,000$ м; $m_{\Pi} = 5$ м одержимо: $\frac{m_D}{D} \approx \frac{1}{4000000}$ — це мінімальна похибка. При такій похибці отриману точність буде віднесено до локальної ділянки, й отримана точність може навіть вийти за межі припустимих значень.

Для одержання достатньої точності, що забезпечує розв'язання поставлених завдань, застосовується так званий диференційний спосіб визначення координат, сутність якого полягає в тім, що координати обумовленої точки визначаються щодо вихідної точки. Отримаємо дві точки A і B . У кожній точці необхідно визначити їх координати ΩA , ΩU приймачем GNSS. Згідно з виразом (1) визначення похибки координат кожної точки [12]:

$$\Delta_A = \sqrt{\Delta_{TB}^2 + \Delta_{СП}^2 + (\Delta_B^2)_A}; \quad (3)$$

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{TB}^2 + \Delta_{СП}^2 + (\Delta_B^2)_B}.$$

Тому що виміри синхронні або можуть бути приведені до єдиного часу й відстань між точками відносно невелика, похибки Δ_{TB} і $\Delta_{СП}$ для точок A та B практично однакові. Умовно перенесемо початок координат у точку A . Визначення похибки координат точки B буде дорівнювати різниці другого й першого виразу формули (3) [13].

$$\Delta'_B = (\Delta_B)_B - (\Delta_B)_A. \quad (4)$$

Тому що початок координат умовно перенесено в точку A , похибка визначення координат цієї точки дорівнює 0, похибки зовнішніх вимірів Δ_{TB} та $\Delta_{СП}$ взаємно скоротяться, точність визначення координат точки B буде визначатися тільки точністю вимірів приймачами GNSS. Точність диференційних вимірів досягає 1–2 см. Принцип вимірів такий.

Маємо одну точку A , назвемо її базовим пунктом (рис. 2). Установимо в цю точку приймач GNSS. Виконаємо вимір координат у точці

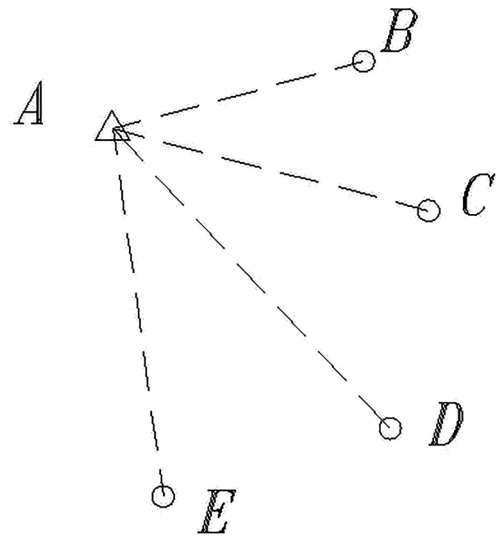


Рис. 2. Диференційний спосіб визначення координат

$A - X_A, Y_A, Z_A$. Прийнемо ці координати як опорні й дамо їм нове позначення: $X_0 = X_A, Y_0 = Y_A, Z_0 = Z_A$. Тепер візьмемо робочі приймачі, за допомогою яких будемо визначати координати обумовлених точок. Перенесемо послідовно робочі приймачі в точку A .

Вимірявши координати точки A приймачами, одержимо: $(X_A)_B, (Y_A)_B, (Z_A)_B, (X_A)_C, (Y_A)_C, (Z_A)_C, (X_A)_D, (Y_A)_D, (Z_A)_D, (X_A)_E, (Y_A)_E, (Z_A)_E$. Знайдемо різниці результатів вимірів, одержимо диференційне виправлення:

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_A - X_0; \\ \Delta Y &= Y_A - X_0; \\ \Delta Z &= Z_A - X_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Інструментальне виправлення, у свою чергу, буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} \Delta X_B &= (X_B)_A - X_A; \\ \Delta Y_B &= (Y_B)_A - Y_A; \\ \Delta Z_B &= (Z_B)_A - Z_A; \\ \Delta X_C &= (X_C)_A - X_A; \\ \Delta Y_C &= (Y_C)_A - Y_A; \\ \Delta Z_C &= (Z_C)_A - Z_A; \\ \Delta X_D &= (X_D)_A - X_A; \\ \Delta Y_D &= (Y_D)_A - Y_A; \\ \Delta Z_D &= (Z_D)_A - Z_A; \\ \Delta X_E &= (X_E)_A - X_A; \\ \Delta Y_E &= (Y_E)_A - Y_A; \\ \Delta Z_E &= (Z_E)_A - Z_A. \end{aligned} \quad (6)$$

Для підвищення точності одержання відносних координат пропонується використовувати більше однієї базової станції (рис. 3). Точки A та A' утворюють базис b . Виміряємо довжину цього базису.

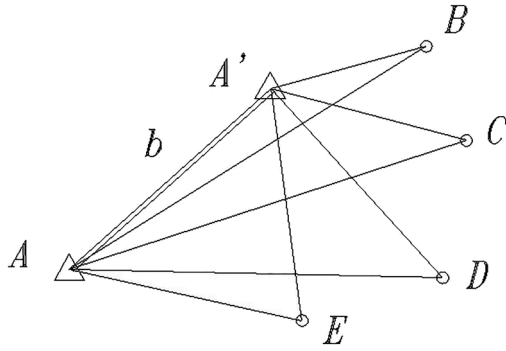


Рис. 3. Застосування базису для супутникових вимірів

Встановимо в точки A та A' приймачі GNSS і визначимо координати цих точок (рис. 3).

У цьому випадку має місце таке рівняння:

$$(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2 = (b + \Delta b)^2. \quad (7)$$

Величина Δb утвориться за рахунок похибок, пов'язаних із рефракцією, затримкою сигналу, положенням супутників. Виконавши порівняльні обчислення, увівши виправлення в координати супутників ΔX_C , ΔY_C , ΔZ_C , таким чином, щоб $\Delta b = 0$. Обчислені виправлення в координати супутників передаються на робочі приймачі. У цьому випадку результати вимірів будуть жорстко пов'язані з базисом, тобто в цих результатах будуть значно зменшені зовнішні похибки. Більш точні результати можуть бути отримані, якщо будемо мати три базові станції, розміщені у вершинах трикутника. У цьому випадку будуть враховані й похибки напрямків. Система базових станцій, розташованих у вершинах трикутників з обмірюваними сторонами, називається опорною базисною мережею. Розглянемо алгоритм обчислень координат обумовленої точки з урахуванням опорної базисної мережі.

Координати пункту A , прийнятого за опорний, за результатами супутникових визначень можуть бути отримані з такого рівняння:

$$D_{i,t}^2 = (x_A - X_{i,t})^2 + (y_A - Y_{i,t})^2 + (z_A - Z_{i,t})^2, \quad (8)$$

де $D_{i,t}$ — обмірювані дальності з i -того супутника в момент часу t ;

$X_{i,t}$, $Y_{i,t}$, $Z_{i,t}$ — координати i -тих супутників, визначених у момент часу t ;

x_A , y_A , z_A — координати обумовленого пункту A .

Виміри виконуються за “сузір’ям” супутників (більше 10) із частотою один вимір на секунду. Таким чином, за 1 годину вимірів при 10 супутниках маємо 36 000 рівнянь (8). Завдання вирішується шляхом розв’язання цих рівнянь щодо координат x_A , y_A , z_A обумовленого пункту.

Обчислені координати x_A , y_A , z_A містять такі похибки:

- похибка поширення сигналу;
- апаратурна похибка супутників;
- апаратурна похибка приймача;
- похибка визначення координат.

Вважаючи, що на момент первинних визначень координат пункту A похибки поширення сигналу, апаратурні похибки супутників і приймача, похибки визначення координат дорівнюють нулю, визначені координати точки A будуть дійсними координатами, тобто:

$$\begin{aligned} x_A &= X_A; \\ y_A &= Y_A; \\ z_A &= Z_A. \end{aligned} \quad (9)$$

Через певний час, виконавши поточні виміри на пункті A , буде одержано поточні координати x_A , y_A , z_A цього пункту, для яких буде мати місце таке співвідношення:

$$\begin{aligned} x_A - X_A &= \chi X + \phi X + \tau X + \xi X = \omega X; \\ y_A - Y_A &= \chi Y + \phi Y + \tau Y + \xi Y = \omega Y; \\ z_A - Z_A &= \chi Z + \phi Z + \tau Z + \xi Z = \omega Z, \end{aligned} \quad (10)$$

де χX — похибка поширення сигналу;
 ϕX — апаратурна похибка супутників;
 τX — апаратурна похибка приймача;
 ξX — похибка визначення координат.

Різниця обмірюваних і опорних координат дає сумарні похибки визначення цих координат ωX , ωY , ωZ , які будуть виправленнями в координати робочого приймача.

Тепер, виконавши виміри в робочій точці B робочим приймачем і ввівши в результати вимірів визначені виправлення ωX , ωY , ωZ , одержимо результати $x_B + \omega X$, $y_B + \omega Y$, $z_B + \omega Z$ із частково ослабленими похибками за рахунок апаратури, поширення сигналу й визначення координат супутників. Ці виправлення вводяться в робочий приймач у реальному форматі часу, тобто одночасно виконуючи виміри опорним приймачем на точці A і робочим приймачем на точці B . Але в цьому випадку залишаються апаратні похибки приймача B та похибки за рахунок поширення сигналу на відрізок від точки A до точки B . Щоб зменшити ці похибки, робочий приймач перед виконанням вимірів встановлюється на точці A й отримані результати вимірів рівняються з опорними координатами точки A :

$$\begin{aligned} x_B - X_A &= \chi x_B + \phi x_B + \tau x_B + \xi x_B = \omega x_B; \\ y_B - Y_A &= \chi y_B + \phi y_B + \tau y_B + \xi y_B = \omega y_B; \\ z_B - Z_A &= \chi z_B + \phi z_B + \tau z_B + \xi z_B = \omega z_B. \end{aligned} \quad (11)$$

Величини ωx_B , ωy_B , ωz_B є постійними виправленнями в приймач B .

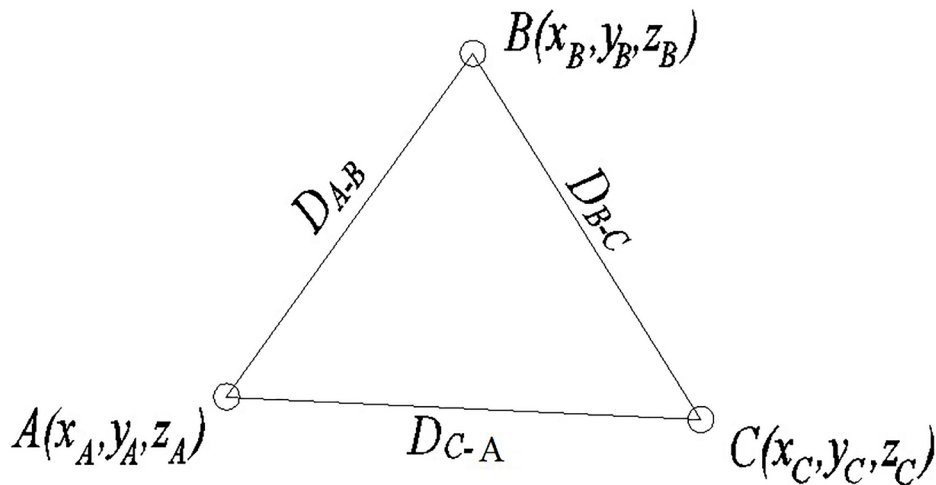


Рис. 4. Схема мережі

Технологія процесу вимірів наступна. На точці A названої базової станції в процесі її організації ретельно виконуються визначення координат X_A, Y_A, Z_A . Ці координати записуються в паспорт базової станції.

Перед виконанням поточних вимірів за результатами спільних вимірів приймачем A і B одержують виправлення в приймач B — $\omega x_B, \omega y_B, \omega z_B$, які вводяться в приймач. При виконанні робочих вимірів приймачем B одночасно працює й приймач A , що передає в ро-

бочий приймач диференційні виправлення $\omega x_B, \omega y_B, \omega z_B$.

Ця методика забезпечить стабільний і відносно точний результат вимірів.

Після цього на місцевості необхідно закріпити три точки A, B, C (рис. 4) та ретельно визначити зразковими приймачами координати $x_A, y_A, z_A, x_B, y_B, z_B, x_C, y_C, z_C$ цих точок. Виміряємо далекоміром відстані $D_{A-B}, D_{B-C}, D_{C-A}$.

За результатами виконаних вимірів було складено умовні рівняння:

$$\begin{aligned} (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2 + (\delta x_A)^2 + (\delta y_A)^2 + (\delta z_A)^2 + (\delta x_B)^2 + (\delta y_B)^2 + (\delta z_B)^2 &= D_{A-B}^2; \\ (x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2 + (\delta x_B)^2 + (\delta y_B)^2 + (\delta z_B)^2 + (\delta x_C)^2 + (\delta y_C)^2 + (\delta z_C)^2 &= D_{C-B}^2; \\ (x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2 + (z_C - z_A)^2 + (\delta x_A)^2 + (\delta y_A)^2 + (\delta z_A)^2 + (\delta x_C)^2 + (\delta y_C)^2 + (\delta z_C)^2 &= D_{A-C}^2. \end{aligned} \quad (12)$$

Розв'язавши це рівняння щодо невідомих $\delta x_A, \delta y_A, \delta z_A, \delta x_B, \delta y_B, \delta z_B, \delta x_C, \delta y_C, \delta z_C$, одержано остаточні координати $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, X_C, Y_C, Z_C$ пунктів A, B, C , які задовольняють наступну умову:

$$\begin{aligned} (X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2 &= D_{A-B}^2; \\ (X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2 + (Z_C - Z_B)^2 &= D_{C-B}^2; \\ (X_A - X_C)^2 + (Y_A - Y_C)^2 + (Z_A - Z_C)^2 &= D_{A-C}^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Прийнявши обмірювані відстані баз за остаточні, одержимо остаточні значення координат $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, X_C, Y_C, Z_C$ вихідних пунктів.

Ці координати будуть остаточними координатами пунктів мережі. Вони можуть бути уточнені тільки після уточнення відстаней між пунктами. Для підвищення точності мережі рекомендується додати до лінійних вимірів виміри кутів між базисами.

Наступний крок — розробка методики розрахунку диференційних виправлень у робочий приймач. Обчислимо виправлення в приймачі базових станцій. Спочатку обчислюються різниці обмірюваних і опорних координат точок A, B, C :

$$\begin{aligned} x_A - X_A &= \omega X_A; \\ y_A - Y_A &= \omega Y_A; \\ z_A - Z_A &= \omega Z_A; \\ x_B - X_A &= \omega X_B; \\ y_B - Y_A &= \omega Y_B; \\ z_B - Z_A &= \omega Z_B; \\ x_C - X_A &= \omega X_C; \\ y_C - Y_A &= \omega Y_C; \\ z_C - Z_A &= \omega Z_C. \end{aligned} \quad (14)$$

Остаточні значення диференційних виправлень обчислюються за формулою вагового середнього. Для обчислення ваг необхідно обчислити дальності від робочого приймача до пунктів A, B, C .

$$\begin{aligned} D_A^2 &= (x - X_A)^2 + (y - Y_A)^2 + (z - Z_A)^2; \\ D_B^2 &= (x - X_B)^2 + (y - Y_B)^2 + (z - Z_B)^2; \\ D_C^2 &= (x - X_C)^2 + (y - Y_C)^2 + (z - Z_C)^2, \end{aligned} \quad (15)$$

де x, y, z — координати обумовленої точки.

Обчислимо ваги:

$$p_A = \frac{T}{D_A}; \quad p_B = \frac{T}{D_B}; \quad p_C = \frac{T}{D_C}, \quad (16)$$

де T — коефіцієнт пропорційності.

Остаточні значення диференційних виправлень можна розрахувати за такими формулами:

$$\begin{aligned}\omega_X &= \frac{p_A \omega_X^A + p_B \omega_X^B + p_C \omega_X^C}{\sum (p_A + p_B + p_C)}; \\ \omega_Y &= \frac{p_A \omega_Y^A + p_B \omega_Y^B + p_C \omega_Y^C}{\sum (p_A + p_B + p_C)}; \\ \omega_Z &= \frac{p_A \omega_Z^A + p_B \omega_Z^B + p_C \omega_Z^C}{\sum (p_A + p_B + p_C)}.\end{aligned}\quad (17)$$

Для визначення постійних виправлень робочого приймача досить його встановити на один із пунктів і виконати виміри:

$$\begin{aligned}\omega X_A &= x - X_A; \\ \omega Y_A &= y - Y_A; \\ \omega Z_A &= z - Z_A,\end{aligned}\quad (18)$$

де x, y, z — робочі координати; X_A, Y_A, Z_A — опорні координати точки A .

Для підвищення точності визначення постійних виправлень їх можна обчислити за трьома опорними пунктами й остаточне значення одержати як середнє (або вагове середнє).

Три пункти A, B, C разом з обмірюваними базисами утворюють так звану опорну базисну мережу. Ця мережа дозволить не тільки одержати досить точний результат, але й за необхідності уточнити координати супутників.

Основне рівняння супутникового визначення координат:

$$\begin{aligned}D_A^2 &= (X_A - X_S)^2 + (Y_A - Y_S)^2 + (Z_A - Z_S)^2; \\ D_B^2 &= (X_B - X_S)^2 + (Y_B - Y_S)^2 + (Z_B - Z_S)^2; \\ D_C^2 &= (X_C - X_S)^2 + (Y_C - Y_S)^2 + (Z_C - Z_S)^2,\end{aligned}\quad (19)$$

де $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, X_C, Y_C, Z_C$ — координати пунктів опорної базисної мережі; X_S, Y_S, Z_S — координати обумовленого супутника.

У цьому рівнянні є три невідомих координати супутників. Розв'язавши його, можна одержати

шукані значення координат. Таким чином, у процесі роботи всієї цієї вимірювальної системи є можливість уточнювати координати супутників, тобто прив'язати їх до обмірюваних баз, у такий спосіб замкнувши розмірний ланцюг база — супутник — об'єкт — супутник — база.

Результати

У результаті проведених досліджень встановлено, що для якісного виконання розбивочних робіт необхідні спеціальні опорні геодезичні мережі.

Розбивочні роботи часто інтегруються з існуючою інфраструктурою — іншими будівлями, дорогами або комунікаціями. Державна геодезична мережа забезпечує коректний зв'язок між старими та новими об'єктами. Підвищення точності виконання і стандартизація даних спрощуватимуть процеси планування, розбивки та контролю. Це буде знижувати ризики помилок і дозволить економити ресурси.

Висновки

Проаналізовано світові тенденції щодо використання GNSS для створення спеціальних геодезичних мереж. Доведено, що використання лише GNSS не може повноцінно замінити всі методи.

Запропоновано комбінування методу GNSS із полігонометрією, що дозволяє суттєво зменшити тривалість вимірювань, знизити трудомісткість, підвищити економічну ефективність і забезпечити необхідну точність створення геодезичних мереж.

Пропонується застосування опорних базисних мереж. Для підвищення точності одержання відносних координат запропоновано використовувати більше однієї базової станції.

Запропонована послідовність виконання робіт дозволить мінімізувати похибку вимірювань та підвищити точність і стандартизацію даних, спрощуватиме процеси планування, розбивки і контролю. Це, у свою чергу, приведе до зниження ризику помилок та економії ресурсів.

Implementation of new methods of processing geodesic measurements using satellite technologies

T. Nalivayko¹, T. Nalivayko², O. Pomortseva³

¹ O.M. Beketov National University of Urban Economy, Chornoglazivska Str., 17, 61002, Kharkiv, Ukraine

² Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Nauky Ave., 9a, 61166, Kharkiv, Ukraine

³ V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, 61022, Kharkiv, Ukraine
elenapomortseva@gmail.com

Abstract

The purpose of the study, the materials of which are presented in this paper, is to reveal modern approaches to the use of special geodetic networks, based on state geodetic justification. This is especially crucial for the construction of complex objects – roads, bridges, and provides high accuracy of surveying works.

The issue is pertinent in terms of the implementation of special geodetic networks. The implementation of new methods of processing geodetic measurements, the use of satellite technologies, and the integration of geographic information systems provide high accuracy and reliability when transferring design solutions to the terrain, which is critical for modern construction projects.

According to the current world trends, to create special geodetic networks, it is best to use the GNSS. This method cannot fully replace all existing methods due to the impact of various limitations. The paper proposes to combine the GNSS method and polygonometry. Such a combination significantly reduces measurement time, is labour-saving, economically advantageous, and meets the requirements for the accuracy of creating the corresponding networks.

The paper also analyses the world experience on the issue and proposes the use of so-called reference base networks. To increase the accuracy of relative coordinates, an algorithm for the sequence of calculating the points based on the reference base network is proposed, considering errors in the propagation of the satellite signal, the receiver, and errors in determining the coordinates of the specified points. Formulas for calculating the weighted average are proposed, considering the values of differential corrections when determining the coordinates of points of geodetic networks. Thus, in the process of operation of this entire measuring system, it is possible to specify the coordinates of satellites, that is, to link them to the measured bases, thus closing the dimensional chain base – satellite – object – satellite – base.

The authors conducted a study that will increase the accuracy of performance and data standardization, simplify the processes of planning, breakdown, and control. This will reduce the occurrence of errors and save resources.

Keywords: construction; geodetic technologies; geodetic network; surveying network; differential correction.

Список літератури

1. Серант О., Кубрак О., Ярема Н., Батура М., Рачок В. Особливості побудови геодезичної мережі для розробки відкритих родовищ рудних копалин. *Молодий вчений*. 2020. № 11 (87). С. 9–14. doi: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-11-87-3>
2. Наливайко Т.А., Наливайко Т.Т., Поморцева О.Є., Казаченко Д.А. Основні проблеми цифровізації будівельних робіт. Шляхи вирішення. *Комунальне господарство міст*. 2024. Т. 1. Вип. 182. С. 137–142. doi: [10.33042/2522-1809-2024-1-182-137-142](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-137-142)
3. Розум Р.І., Буряк М.В., Вітровий А.О., Волошин Р.В. та ін. Геодезія та землеустрій: монографія. Тернопіль: ТНЕУ, 2020. 247 с.
4. Dibayan Chakraborty, Harmender Gahlawat, Bodhayan Roy. Algorithms and complexity for geodetic sets on partial grids. *Theoretical Computer Science*, 2023, vol. 979. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2023.114217>
5. Hongyang Zhang, Qigui Yang, Quan Liu et al. Multi-sensor integrated monitoring equipment and its application to dynamic compaction quality in construction. *Automation in Construction*, 2023, vol. 156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105151>
6. Наливайко Т.А., Наливайко Т.Т., Казаченко Д.А. Обґрунтування системи геодезичного моніторингу із використанням рейки змінної довжини. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2021. № 1(41). С. 68–73. doi: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-68-73>
7. Beutler G., Bauersima I., Botton S. et al. Accuracy and biases in the geodetic application of the Global Positioning System. *Manuscripta Geodaetica*, 1989, vol. 14, pp. 28–35.
8. Xingxing Li, Jiande Huang, Xin Li et al. GREAT: A scientific software platform for satellite geodesy and multi-source fusion navigation. *Advances in Space Research*, 2024, vol. 74, issue 4, pp. 1751–1769. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.05.044>
9. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. *Ukrainian Metrological Journal*, 2024, no. 1, pp. 59–64. doi: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2024.300958>
10. Літнарів Р.М. Геодезія. Планові державні геодезичні мережі. Конспект лекцій. Чернівці, ЧДІЕіУ, 2002. 71 с.
11. Trevoho I., Vanchura O., Khoptar A., Periy P., Tarnavskyy V. Modern standart linear basis of original design for metrological verification of geodetic instrument. *Proceedings of the International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2022”*. Lviv, Ukraine, 2022. Available at: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/09/Geoterrace-2022-050.pdf>
12. Тревого І.С., Цюпак І.М. Метрологічна атестація еталонного базиса технологією

GNSS. *Метрологія та прилади*. 2014. № 6. С. 52–55.

13. Qiong Wu, Kang Jing Yu, Shuwen Li et al. GNSS positioning by CORS and EGM2008 in Jilin Province, China. *Sensors*, 2015, no. 15(12), pp. 30419–30428. doi: 10.3390/s151229806

References

1. Serant O., Kubrak O., Yarema N., Batura M., Raczok V. Osoblyvosti pobudovy heodezychnoi merezhi dlia rozrobky vidkrytykh rodovyshch rudnykh kopalyn [Peculiarities of construction of geodetic network for development of open mineral deposits]. *Young Scientist*, 2020, vol. 11(87), pp. 9–14 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-11-87-3>
2. Nalyvaiko T., Nalyvaiko T., Pomortseva O., Kazachenko D. Osnovni problemy tsyfrovizatsii budivelnnykh robot. Shliakhy vyryshennia [Main problems of digitalization of construction works. Solution ways]. *Municipal economy of cities*, 2024, vol. 1, no. 182, pp. 137–142 (in Ukrainian). doi: 10.33042/2522-1809-2024-1-182-137-142
3. Rozum R.I., Buryak M.V., Vitrovy A.O., Voloshyn R.V. et al. Heodeziia ta zemleustrii: monohrafiia [Geodesy and land management: monograph]. Ternopil, 2020. 247 p. (in Ukrainian).
4. Dibyayan Chakraborty, Harmender Gahlawat, Bodhayan Roy. Algorithms and complexity for geodetic sets on partial grids. *Theoretical Computer Science*, 2023, vol. 979. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2023.114217>
5. Hongyang Zhang, Qigui Yang, Quan Liu et al. Multi-sensor integrated monitoring equipment and its application to dynamic compaction quality in construction. *Automation in Construction*, 2023, vol. 156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105151>
6. Nalivayko T., Nalivayko T., Kazachenko D. Obgruntuvannia systemy heodezychnoho monitoringu iz vykorystanniam reiky zminnoi dovzhyny [Rationale for a geodesic monitoring system using a variable length rail]. *Modern achievements of geodesic science and industry*, 2021, vol. 1(41), pp. 68–73 (in Ukrainian). doi: <http://doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-68-73>
7. Beutler G., Bauersima I., Botton S. et al. Accuracy and biases in the geodetic application of the Global Positioning System. *Manuscripta Geodaetica*, 1989, vol. 14, pp. 28–35.
8. Xingxing Li, Jiande Huang, Xin Li et al. GREAT: A scientific software platform for satellite geodesy and multi-source fusion navigation. *Advances in Space Research*, 2024, vol. 74, issue 4, pp. 1751–1769. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.05.044>
9. Mamonov K., Nalivayko T., Nalivayko T., Pomortseva O., Kobzan S. Modern approaches to studying the accuracy of determination of deformation values in geodesic monitoring of crane equipment. *Ukrainian Metrological Journal*, 2024, no. 1, pp. 59–64. doi: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2024.300958>
10. Litnarovych R.M. Heodeziia. Planovi derzhavni heodezychni merezhi. Konspekt lektsii [Geodesy. Planned state geodetic networks. Lecture notes]. Chernihiv, 2002. 71 p. (in Ukrainian).
11. Trevoho I., Vanchura O., Khoptar A., Periy P., Tarnavskyy V. Modern standart linear basis of original design for metrological verification of geodetic instrument. *Proceedings of the International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2022"*. Lviv, Ukraine, 2022. Available at: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/09/Geoterrace-2022-050.pdf>
12. Trevoho I., Tsyupak I. Metrolohichna atestatsiia etalonnoho bazysa tekhnolohiieiu GNSS [Metrological certification of reference bases by GNSS technology]. *Metrology and instruments*, 2014. vol. 6, pp. 52–55 (in Ukrainian).
13. Qiong Wu, Kang Jing Yu, Shuwen Li et al. GNSS positioning by CORS and EGM2008 in Jilin Province, China. *Sensors*, 2015, no. 15(12), pp. 30419–30428. doi: 10.3390/s151229806