

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Мета. Виконати дослідження можливостей електронних тахеометрів щодо контролю ними геометричних параметрів інженерних конструкцій. **Методика.** Проаналізовано нормативну літературу на виконання геодезичних робіт у промисловому виробництві та будівництві. Досліджено методи та прилади, які застосовують для цього. **Результати.** Запропоновано використовувати для таких задач електронний тахеометр та спеціальну методику. Для цього проведено дослідження віддалеміра електронного тахеометра. Для контролю виміру віддалей безпосередньо на будівельному майданчику розроблено установку з 10 м інварного дроту, яку попередньо повірено на еталоні 1-го розряду у науково дослідному інституті метрології з точністю, що не перевищувала 0,01 мм. Розроблено методику передачі еталонної віддалі, в якій використано спеціальні сфери та геодезичні пункти закріплені отвором. Для прямих вимірів відрізків досліджено методику натягу інварного дроту, а також виконано механічне врівноваження гирьової системи. Контроль куткових величин приладу здійснено на метрологічній установці вищого порядку. Встановлено вплив неперпендикулярності осей та ексцентриситету на точність виміру кутів. Для оптимізації наведення на свідловідбивну марку проведено дослідження рисунка марки та спеціального кронштейна, що дало можливість з точністю в межах 10^0 зорієнтувати марку перпендикулярно до світлового променя електронного тахеометра. Також досліджено трипельпризму і встановлено залежність між висотою, діаметром та центром відбиття. Розроблено конструкцію сферичного відбивача та підставки для прокладання ходів з компенсацією похибок центрування, редукції та виміру висот для приладу і-відбивача. Розроблено конструкцію кронштейна (вектора) з двома відбивачами для виконання обмірних робіт. Розроблено тримірну-модель промислового об'єкта для оптимального планування місць для закріплення геодезичної основи та перехідних точок для встановлення електронного тахеометра. **Наукова новизна** Метод врівноваження сил у геодезичному штативі можна розглядати як основу для започаткування автоматизації центрування приладу. Оптичний розрахунок трипельпризми можна застосувати для визначення постійної поправки геодезичного приладу без вимірів на базисі. Розрахунок оптимального зображення геодезичної марки забезпечує однозначність візування та підвищує точність куткових вимірювань. **Практична значущість.** Користуючись розробленою методикою, можна будь-яким електронним тахеометром визначити просторові координати інженерної конструкції з контролем вимірів та оптимальною їхньою точністю.

Ключові слова: технічні вимірювання, високоточні вимірювання, еталонний лінійний базис, дослідження електронних тахеометрів, приладова поправка, лінійно-кутові виміри, оптимізація геодезичних вимірювань

Вступ

Сучасний розвиток деяких фундаментальних галузей науки і сфер економіки приводить до необхідності побудови унікальних споруд і встановлення з прецизійною точністю наукового і технологічного обладнання. До таких споруд можна віднести: лінійні й кільцеві ядерні прискорювачі, великі радіотелескопи й антенні комплекси, автоматизовані виробничі лінії та інші спеціальні споруди. Нормальне функціонування таких об'єктів в процесі їх експлуатації можливе лише за дотримання високої точності з'єднання елементів будівельних конструкцій і

технологічного обладнання.

Під час будівництва і експлуатації цивільних будівель підвищеної поверховості, великих промислових споруд, атомних і теплових електростанцій, крупних реакторів, мостових переходів, радіоантенних комплексів, монтажі технологічного обладнання також виконують високоточні геодезичні вимірювання.

Проблема підвищення геометричної точності зведення інженерних споруд зумовила необхідність розробки нових методів виконання інженерно-геодезичних робіт і контрольних-монтажних вимірювань. З цими питаннями перекликається й

вдосконалення методів побудови планово-висотних опорних геодезичних мереж.

Стандарти щодо точності виконання робіт та вибору інструментів регламентуються нормативними документами України [ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009, ДБН В.1.3-2:2010, ДБН А.2.1-1-2014]. Наведемо також деякі стандарти Європейських вимог у цій галузі [ISO 17123-1, ISO 17123-5].

Так, наприклад, згідно з цими інструктивними вимогами повинна бути забезпечена досить висока точність визначення розміру чотириметрової деталі, яка не повинна перебільшувати 0,3 мм, 0,8 мм, 3 мм відповідно для металевих, залізобетонних та цегляних конструкцій. Для забезпечення таких вимог необхідні високоточні геодезичні прилади та спеціальне обладнання.

Тому, в нормативних інструкціях на різних етапах технологічного процесу будівництва для ранжування характеристик точності вимірювань виділяють три групи допусків:

виготовлення конструкції,
геодезичне розмічування,
будівельно-монтажні роботи.

Ще акцептують систему модулів – сукупність правил взаємоув'язування розмірів об'ємно-планувальних або конструктивних елементів будинків та споруд. Розрізняють номінальний, конструктивний та натурний модульний розмір. Також уводиться поняття розмірний ланцюг – сукупність розмірів, що утворює замкнутий контур, і який безпосередньо використовують у розв'язанні задач технології будівництва.

У нашій країні, де виробництво високоточного геодезичного обладнання практично не реалізовано, переважно використовується класичний підхід до контролю геометричних параметрів інженерних конструкцій. Так, у роботах [Боровий, 2017, Баран, 2012], виділяють такі елементи контролю геометричних параметрів:

Вивірення прямолінійності виконують струнним, струнно-оптичним, оптичної мікрометрії, індикаторним, колімаційним, автоколімаційним, авторефлексійним та інтерференційним способами. Основою цих методів є побудова створу і вимірювання відносно нього відхилень спеціальними приладами.

Вивірення співвісності – прямолінійне розміщення конструкцій стосовно створу у двох площинах. Застосовують теодоліт, рулетку. Похибка 0,1 мм на 20 м.

Вивірення горизонтальності – метод горизонтального нівелювання з удосконаленим механізмом. Похибка 0,1 мм на 20 м.

Вивірення висотного положення конструкцій – метод геометричного, гідростатичного та мікронівелювання. Похибка 0,01–0,05 мм на станції.

Вивірення нахилу – спосіб нівелювання і похилого створу. Застосовують нівеліри, оптичні квадранти. Похибка 0,1 мм на 20 м.

Вивірення вертикальності – спосіб механічної вертикалі, оптичної вертикалі, вертикальної референтної площини. Застосовують прилади вертикального проектування. Похибка 0,01–0,05 мм на 1 м.

Вивірення паралельності – методом бокового нівелювання. Застосовують нутроміри, рулетки. Похибка 0,1 мм на 20 м.

Вивірення перпендикулярності – метод визначення горизонтального кута між двома плоскими конструкціями. Прилади: теодоліт, електронний тахеометр. Похибка 0,1 мм на 20 м.

Вивірення площинності – метод нівелювання поверхні. Прилади: нівелір, фотокамера, електронний тахеометр, лазерний сканер. Похибка 0,1 мм на 20 м.

Вивірення кривини – метод обкочування та оперізування. Прилади: рулетки, нутроміри. Похибка 0,1 мм на 20 м.

У роботах [Бурак, 2010, Войтенко, 2011] запропоновано використання електронних тахеометрів для спостереження складних інженерних конструкцій.

Слід зазначити, що Європейська практика виконання таких робіт відрізняється від нашої. Маючи доступ до розробки спеціалізованого обладнання, їх інженери практично для кожної обмірної задачі створюють унікальний прилад та пропонують методику вимірювань. Так, наприклад, у роботах [Werner Lienhart, 2017, Bihter Erol, 2010] для визначення геометричних параметрів та дослідження стабільності просторово-часового положення будівельних конструкцій рекомендується застосовувати спеціальне обладнання: інклінометри, лазерні трекери та сканери.

Всесвітньо відома фірма Tesa (Швейцарія) та новостворена Українська

ПНВП "Мікротех" пропонує для високоточних вимірювань використовувати сучасні штрихові прилади оснащені електронним дисплеєм та автоматизованим відлічуванням. Ці прилади є високоточними і можуть бути використані лише для малих лінійних об'єктів. Основні технічні характеристики: діапазон роботи за віддаллю – 0-0,3 м, швидкість вимірювань – $1/5c$, точність вимірювань $\pm 0,05$ мм.

3D сканери також доцільно застосовувати для високоточних інженерних вимірювань [Романишин, 2012]. Сутність наземного лазерного сканування полягає у вимірі з високою швидкістю відстаней від сканера до точок об'єкту та реєстрації відповідних напрямків (вертикальних і горизонтальних кутів). Використовується для цього принцип загального знімання об'єкту, а не його окремих точок. Тому наземний лазерний сканер можна характеризувати як знімальну вимірювальну систему, результатом роботи якої є тривимірне зображення, так званий скан (хмара точок). Формою представлення результатів наземного лазерного сканування є масив точок лазерних відображень від об'єктів, що знаходяться в полі зору сканера, з п'ятьма характеристиками, а саме просторовими координатами (X, Y, Z), інтенсивністю і кольором. Основні технічні характеристики: діапазон роботи за віддаллю – 0,6–130 м, швидкість вимірювань – $976\ 000/1c$, точність вимірювань ± 2 мм.

Принцип роботи лазерного трекара у геометричному сенсі такий же, як у лазерного сканера. Прилад вимірює горизонтальний, вертикальний кути та просторову віддадь. У фізичному сенсі прилад більш досконалий, і як наслідок точніший. У роботі [LEICA, 2014] наведено застосування лазерного трекара практично для всіх обмірних робіт.

Основні технічні характеристики: діапазон роботи за віддаллю – 0–80м, швидкість вимірювань – $16\ 000/1c$, точність вимірювань – $16\ \mu\text{м} + 0,8\ \mu\text{м}/\text{м}$.

Високотехнологічними і точними є координатно-вимірювальні машини. Це системи з шістьма ступенями свободи з трьома напрямками осей і трьома кутами розвороту. При визначенні системи координат обчислюються параметри ступенів свободи, які зберігаються у програмі для перетворень координат. Для встановлення зовнішньої системи координат використовують контрольні точки (геодезичні пункти).

Загальний принцип дії полягає в тому, що об'єкт вимірюється сферичним наконечником. Під час кожного контакту до поверхні зчитуються прирости координат за напрямками осей X, Y, Z. Координати точок, визначені наконечником, передаються в комп'ютер для аналізу. До початку вимірювань виконують калібрування наконечника, визначають діаметр наконечника і відстань вздовж осей X, Y, Z від базової точки.

Перед вимірюванням деталі визначають систему координат, в якій будуть проводитися всі обчислення. Систему координат, зазвичай, визначають на основі викреслювання, наприклад, площин, циліндрів, конусів або контрольних точок на поверхні довільної форми.

Основні технічні характеристики: діапазон роботи за віддаллю – 0–3,7 м, швидкість вимірювань – $1/1c$, точність вимірювань – 6 мкм.

З аналізу перелічених геодезичних систем для обміру будівельних конструкцій складено схематичний графік (рис. 1), на якому узагальнено показані прилади для вимірювань, їх точність та діапазон віддалей.

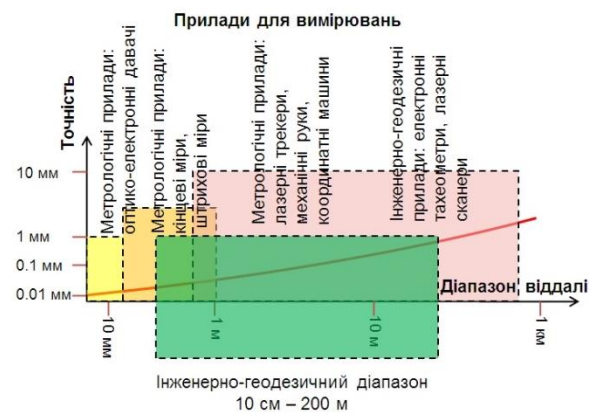


Рис. 1. Зведений графік технологій вимірювань

В нашій країні переважно використовують електронні тахеометри, тому більш детально зупинимось на розгляді їх можливостей.

Мета

Виконати дослідження можливостей електронних тахеометрів для виконання

контролю геометричних параметрів інженерних конструкцій.

Методика

Розглянемо вимірювальну систему для визначення геометричних параметрів інженерних конструкцій (рис. 2), в яку входить електронний тахеометр, однопризмений давач, сферичний давач, двопризмений давач (вектор), міні штатив.



Рис. 2. Вимірювальна система для визначення геометричних параметрів будівельних конструкцій

Для подальших досліджень використовуватимемо електронний тахеометр Leica TCR1201 R300 з такими основними технічними характеристиками: точність вимірювань віддалі – 1 мм+1 мм/м, точність вимірювань кутів – 1”.

Переваги цієї вимірювальної системи над наведеними вище очевидні: мобільність, великий діапазон вимірювань віддалей, ціна.

Щодо визначення точності вимірювань, то це питання потребує додаткового дослідження, оскільки потрібно враховувати декілька факторів: перше – безпосередні виміри горизонтального, вертикального кутів та віддалі проводяться у складних промислових умовах, що впливає на дотримання точності вимірів; друге – точність залежить від прив’язки до вихідної геодезичної основи (конфігурація мережі); третє – безпосереднє визначення точності просторових координат вимірювального об’єкта.

Контроль кутомірної частини електронного тахеометра Leica TCR1201 R300 проведено на ВЕТУ 01-03-05-98 автоколімаційній установці АУПНТ, призначеної для визначення та контролю метрологічних характеристик геодезичних приладів – оптичних та лазерних нівелірів,

приладів вертикального проектування і кутомірної частини оптичних і електронних тахеометрів, а також інших геодезичних приладів, принцип дії яких заснований на застосуванні зорових труб, горизонтальних і (або) вертикальних лімбів, рис. 3. Середня квадратична похибка відтворення кута 180° візирними вісями автоколімаційних зорових труб АУПТ у вертикальній і горизонтальній площинах не перебільшує 0,7”. Проведено шість прийомів вимірювань, визначено вплив геометричних параметрів на точність визначення кутів, отримано сертифікат про метрологічну перевірку, де середня квадратична похибка вимірювання кутів не перебільшила 1,6”.



Рис. 3. Установка АУПНТ

Для уведення електронного тахеометра у систему координат інженерної споруди чи великогабаритної деталі необхідно виконати візування та вимірювання мінімум на два пункти.

Згідно із В. Большаковим [Большаков, 1976] найточніше візуальне наведення можна виконати на одиничний штрих, з яким суміщають горизонтальний та вертикальний штрихи сітки ниток. Для оптимізації геодезичної марки з метою найточнішого візування на малюнку марки повинен бути зображений перетин двох ліній. Але, враховуючи проблему забезпечення перпендикулярності площини марки до променя, перехрестя ліній краще замінити точкою певного діаметра.

Розглянемо нашу аргументацію більш детально. Для цього використаємо формулу роздільної здатності Релея (критерій Релея).

Він стосується в однаковій мірі всіх приладів, оскільки зумовлюється роздільною здатністю ока. Дві точки ми бачимо нарізно, якщо вони сприймаються різними світлочутливими клітинами на сітківці ока, а це відбувається, коли центр дифракційного диска однієї співпадає з мінімумом на дифракційній картині другої. Іншими словами, умовою або межею роздільної здатності (можливості бачити нарізно) стала кутова півширина першого мінімуму дифракції від щілини.

Розрізняють лінійну роздільну здатність – мінімальну віддаль між двома окремими точковими об'єктами, при яких вони сприймаються як окремі об'єкти, а не зливаються; та кутову – мінімальний кут між точковими об'єктами, коли вони ще сприймаються як окремі об'єкти. Роздільна здатність оптичних приладів обмежена, як фундаментальними фізичними законами (наприклад, дифракцією світла), так і недосконалістю приладу.

Так, згідно з [Большаков, 1976] умову оптичної роздільної здатності записують:

$$\frac{d}{D} = 1,22 \frac{\lambda}{a}, \quad (1)$$

де $\lambda = 570$ нм – середня довжина хвилі оптичного діапазону, $a = 2$ мм – середній діаметр зіниці ока людини, d – віддаль між двома точками, на якій їх спостерігають як окремі, D – віддаль від спостерігача до візирної цілі.

Ввівши у (1) значення ρ – кількість секунд у радіані та ν – збільшення зорової труби, отримаємо формули для визначення граничної роздільної здатності під час візування оком та зоровою трубою:

$$\frac{d}{D} = 1,22 \frac{\lambda \cdot \rho}{a}, \quad (2a)$$

$$\frac{d}{D} = 1,22 \frac{\lambda \cdot \rho}{a \cdot \nu}. \quad (2б)$$

Підставимо значення у наведені формули, привівши їх до одних одиниць – метрів:

$$\left(\frac{d}{D}\right)_{\text{Око}} = 1,22 \frac{0,00000057 \cdot 206265}{0,002} = 71,71,$$

$$\left(\frac{d}{D}\right)_{\text{Зорова труба}} = 1,22 \frac{0,00000057 \cdot 206265}{0,002 \cdot 30} = 2,4.$$

Розрахуємо граничну роздільну здатність d для різних віддалей D . Отримані результати наведені у таблиці. Ці розрахунки підтверджуються результатами перевірки гостроти зору Головіним-

Сівцевим [Чиж, 2013], де 100% вважається зір, якщо людина з п'ятиметрової віддалі може розрізнити рядок віддалі між елементами якого є 3мм.

Таблиця

Гранична лінійна роздільна здатність на різних віддальях для ока та труби із збільшенням 30*

$D, \text{ м}$	5	10	20	30	40	50	100
$d, \text{ мм око}$	1,7	3,5	7	10,5	14	17,5	34,9
$d, \text{ мм З.Т.}$	0,06	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	1,2

На рис.4 графічно наведені значення взяті із таблиці для зорової труби із збільшенням 30*.

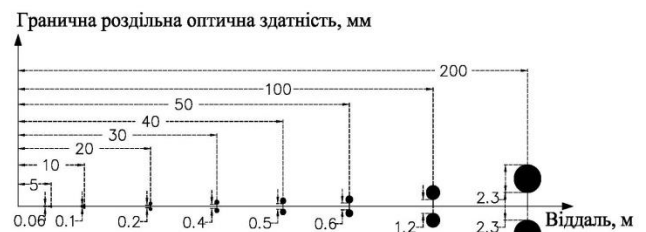


Рис. 4. Гранична лінійна роздільна здатність на різних віддальях для труби із збільшенням 30*

Виходячи із теоретичних розрахунків, нами запропоновано оптимальне зображення геодезичної марки для візування на різних віддальях, яке подано на рис.5.

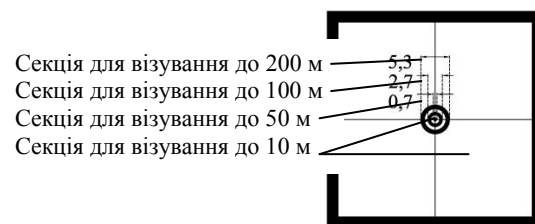


Рис. 5. Оптимальне зображення марки для точного візування на різних віддальях

Стосовно відбиваючого матеріалу, то у роботі [Ламбин, 2011] досліджено світловідбиваючі плівки на основі мікропризм, де встановлено, що достовірність та точність виміру віддалі та кутів на плівковій відбивачі залежить від перпендикулярності відбиваючої поверхні до візирної площини променя.

Для забезпечення високої точності вимірювань, та компенсації похибки неперпендикулярності запропоновано

обмірні геодезичні роботи розпочинати з планування у тривимірному просторі. З цієї метою розроблено тривимірний тримач, рис.6 .

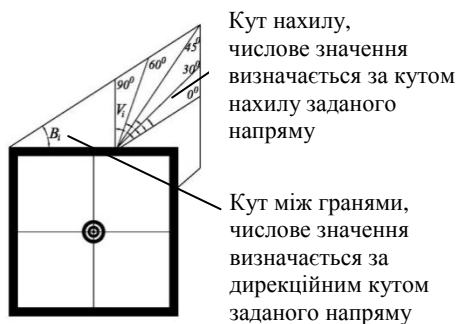


Рис. 6. 3D тримач

Для передачі координат геодезичної основи від вихідного базису до точок проведення вимірювань будівельних конструкцій розроблений сферичний відбивач та підставка, в процесі використання яких компенсуються похибки за центрування, редуцію та вимір висот, рис. 7.

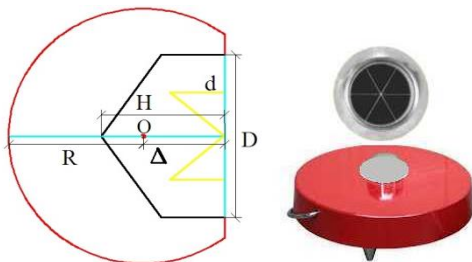


Рис. 7. Сферичний відбивач та підставка

Основні елементи виготовленого відбивача – трипеліпризма із оптичного скла ВК7 з параметрами: діаметром – D , висотою – H , віддаллю – Δ від вхідної грані до центра відбивання – O та d – шлях світлового променя у трипеліпризмі. Також металева сфера з параметрами: R – радіусом та центром – O . Для розрахунку параметрів відбивача використані залежності [Русинов, 1963]:

$$\Delta = \frac{H}{1,5163} \quad (3)$$

$$d = \frac{D}{2} \sqrt{3}. \quad (4)$$

Для запроєктованого нами сферичного відбивача отримані такі значення: $D = 40,6$ мм, $H = 29,1$ мм, $\Delta = 19,19$ мм, $d = 35,16$ мм.

Для контролю віддалемірної складової виготовлені робочий десятиметровий еталон

одиниці довжини з інварного дроту та двох шкал, система натягу та зрівноваження.

Комплект установки для вимірювання десятиметрових відрізків показаний на рис 8.

Дійсне значення довжини десятиметрового робочого еталона визначалось на ВЕТУ 01-03-05-98. Зауважимо, що передача розміру одиниці робочого еталона еталонним вимірювальним стрічкам 2-го розряду і робочим засобам вимірювальної техніки – вимірювачам лінійних переміщень і мірним дротам до 24 м може здійснюватися методом прямих вимірювань згідно ДСТУ 3741-98 «Метрологія».



Рис. 8. Комплект установки для вимірювання 10-ти метрових відрізків

Державний повірочний еталон ВЕТУ 01-03-05-98 для засобів вимірювань довжини з точністю 1мкм показаний на рис 9.



Рис. 9. Компарування 10 м інварного дроту

Схема вимірювання базового десятиметрового відрізка показана на рис. 10. Щоб штативи 1 та 2 зберігали стійке положення виникає задача зрівноваження

натяжної системи: знаходження оптимальної віддалі l від опорної ніжки до центру та висоти штатива – h .

Для того, щоб натяжна система була у рівновазі, необхідно, щоб штативи 1 та 2, які сприймають горизонтальні зусилля, викликані натягом інварного дроту і сили ваги противага 10 кг гирі, знаходились у положенні стійкої рівноваги (рис. 10). Ця рівновага буде забезпечена у випадку коли всі ніжки штатива працюватимуть на стиск.

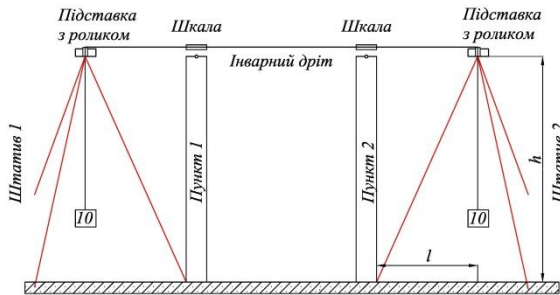


Рис. 10. Схема встановлення установки для вимірювання 10-ти метрових відрізків

Для встановлення співвідношень між діючими силами і геометричними параметрами штатива, що забезпечують зазначені умови, розглянемо рівновагу вузла D (рис. 11).

Оскільки на об'єкт рівноваги діє просторова збіжна система сил, то рівняння рівноваги запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \sum F_{iz} = 0, -P + R_1 \cos \alpha + R_2 \cos \alpha + R_3 \cos \alpha = 0 \\ \sum F_{iy} = 0, -P + R_1 \sin \alpha - R_2 \sin \alpha \cos 60 - R_3 \sin \alpha \cos 60 = 0 \\ \sum F_{ix} = 0, -R_2 \sin \alpha \cos 30 + R_3 \sin \alpha \cos 30 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Із третього рівняння системи (5) маємо $R_2 = R_3 = R$. Підставимо отримані значення у перше та друге рівняння і виразимо R та R_1 :

$$R = \frac{P(\operatorname{tg} \alpha - 1)}{3 \sin \alpha}, \quad (6)$$

$$R_1 = \frac{P}{\cos \alpha} - 2R. \quad (7)$$

Аналіз залежностей (6) та (7) показує, що при $\alpha < 45^\circ$ реакції сил R та R_1 будуть від'ємними, а при $\alpha > 45^\circ$ – додатними. А це означає, що виходячи з умови рівноваги (5) при $\alpha > 45^\circ$ штатив буде у положенні стійкої рівноваги, а при $\alpha < 45^\circ$ – рівновага порушиться. Кут $\alpha > 45^\circ$ може бути забезпечений тільки за умови $l > h$ (рис.10).

Проведені розрахунки рівноваги штатива під час завантаження, згідно із рис. 11, можна перевірити, розглянувши рівновагу тільки ніжки,

яка впирається у виступ (точки A). Запишемо момент сили у точці A :

$$\sum M_A(\bar{F}_i) = 0, \quad (8)$$

$$-Ph + P_1 l = 0. \quad (9)$$

Для рівноваги необхідно витримати умову:

$$P_1 l \geq Ph. \quad (10)$$

Оскільки $P_1 = P$, то умова рівноваги запишеться у вигляді:

$$l > h, \quad (11)$$

що відповідає попереднім розрахункам.

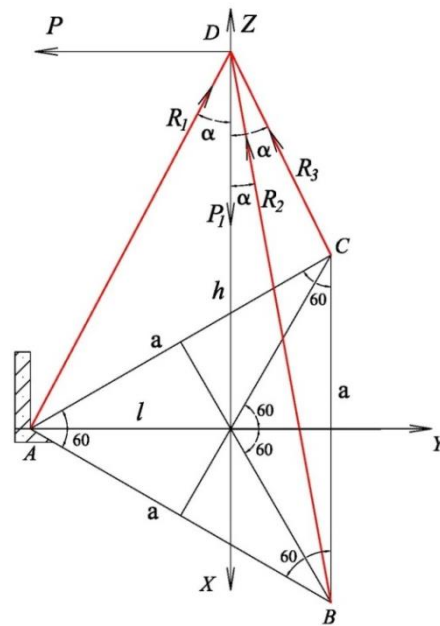


Рис. 11. Зрівноваження системи сил натяжної установки

Оскільки геодезичні штативи у розкладеному стані мають максимальну довжину 1,8 м, то для забезпечення рівноваги пункти геодезичної основи потрібно закладати на висоту не більше 1,3 м.

Також запропоновано використовувати 3D модель, де апріорно відомі координати станцій та марок. Враховуючи доступну інформацію, можна визначити:

- оптимальні координати для встановлення станції,
- точність визначення координат станції,
- горизонтальний і вертикальний кути для забезпечення перпендикулярності візирного променя до площини відбивання марки.

Методика дозволяє зменшити кількість станцій під час обмірних робіт. Наприклад, чотирикутну конструкцію можна обміряти із двох станцій.

Наукова новизна і практична значущість

Метод врівноваження сил у геодезичному штативі є першою спробою автоматизації центрування приладу. Оптичний розрахунок трипеліпрізми можна застосувати для визначення постійної геодезичного приладу без вимірів на базисі. Розрахунок оптимального зображення геодезичної марки забезпечує однозначність візування та підвищує точність кутових вимірювань. Досліджено метод прокладання геодезичного ходу з використанням сферичного відбивача на підставках, де значно компенсуються похибки за центрування редуцією та вимір висот прилада/відбивача. [Літинський 2015, Віват 2015, Віват 2016].

Запропонована 3D- модель та 3D- марка збільшить точність, ефективність та зменшить затрати інженерно-геодезичних вимірювань.

Висновки

Досліджено методику визначення геометричних параметрів інженерних споруд у просторовій системі координат з допомогою електронного тахеометра. Для цього виготовлено десятиметровий еталон для контролю віддалемірної частини.

Досліджено вплив на визначувані координати похибок кутових вимірів.

Створено спеціальний пристрій для лінійно-кутових вимірювань, який дозволяє центрувати спеціальні марки для вимірювання кутів з наклеєними світло-відбиваючими плівками для вимірювання ліній з точністю 0,05 мм.

Список використаних джерел

Баран П. І. Інженерна геодезія / П. Баран – К.: ПАТ «ВПОЛ», 2012. – 618 с.

Большаков В. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве / [В. Д. Большаков, И. Ю. Васютинский, Е. Б. Ключин та ін.]. – Москва: Недра, 1976. – 335 с. – (Недра).

Боровий В. . Високоточні інженерно-геодезичні вимірювання / В. Боровий, В. Бурачек – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – 236 с.

Бурак. К. Технологія розпланувальних робіт і виконавчих знімань з використанням TPS // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип. 75.– С. 10-16.

Віват. А. Й. Точність визначення положення точок методом оберненої засічки. / А. Віват, В.

Літинський, С. Літинський // Міжнародна наукова конференція «Inowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w roznych dziedziach gospodarki». Жешув, Польща, 10-12 червня 2015 р.

Віват. А. Й. Координатний метод прокладання висячих геодезичних ходів підвищеної точності електронним тахеометром / А. Віват, В. Літинський // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні». Ужгород-Синевир, 6-8 жовтня 2016 р. с. 95-98.

Віват. А. Й. Методика створення опорної мережі для забезпечення будівництва споруд та спостережень за їхніми деформаціями. / А. Віват, В. Літинський, С. Літинський // Міжнародній науково-технічній конференції Геофорум. Зб. наук. пр.- Л.,2016.

Войтенко С. Геодезичне забезпечення влаштування покрівлі НСК «Олімпійський» / С. Войтенко, Р. Шульц // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – № 1 (19). – С. 185-192.

ДБН В.1.3-2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві – Чинний від – 01.09.2010. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 49 с.

ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009. Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. – Чинний від 01.10.2010. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 71 с.

Ламбин В. Исследование особенностей измерения расстояний при наблюдениях на пленочные отражатели / В. Ламбин // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – № 2 (22). – С. 119-123.

Літинський. В. О. Спосіб вимірювання взірцевого базиса 2-го розряду для еталонування електронних тахеометрів / В. Літинський, А. Віват, С. Перій, С. Літинський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів 2015. - Вип. 81.- С. 59-65

- Романишин І. Класифікація та основні характеристики наземних 3D-сканерів/ Романишин І., Маліцький А., Лозинський В. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. – Вип. II(24). – С. 69–74.
- Русином М. М. Габаритные расчеты оптических систем / М. М. Русином. – Москва: ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ, 1963. – 397 с.
- Чиж І. Аберометрія оптичної системи ока людини / І. Г. Чиж, Г. С. Тимчик, Т. О. Шиша, Н. Б. Афончина. – Київ: НТУУ КПІ, 2013. – 292 с.
- ISO 17123-1. Optics and optical instruments – Field procedures of testing geodetic and surveying instruments – Part 1: Theory. 2014.
- ISO 17123-5. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 5: Total stations. 2018.
- Bihter Erol. Evaluation of High-Precision Sensors in Structural Monitoring. Sensors. 2010, DOI:10.3390/s101210803.
- LEICA ABSOLUTE TRACKER AT960 [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://metrology.leica-geosystems.com/downloads123/m1/metrology/general/brochures/Leica%20AT960%20brochure_ru.pdf.
- Werner Lienhart. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions// J Civil Struct Health Monit, 7, 2017, pp. 315-324, DOI 10.1007/s13349-017-0228-5.

Надійшла 07.03.2018 р.