

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Сосси Богдана Ростиславовича
«Методи і моделі підвищення точності наземного лазерного сканування за даними калібрування», представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій

Актуальність роботи.

Наземне лазерне сканування (НЛС) зайняло вагому роль у процесі геодезичного виробництва та широко використовується для вирішення різних типів задач інженерної геодезії та топографії. Проте точність результатів НЛС часто заважає його більш широкому використанню.

Як відомо, на результати будь-якого вимірювання впливають різні типи похибок: грубі, систематичні та випадкові. Компенсація або врахування систематичних похибок під час виконання наземного лазерного сканування може значно покращити його результати. Робота автора спрямована на виокремлення та врахування систематичних похибок приладу під час виконання наземного лазерного сканування.

Вирішуючи поставлені питання, автор досліджує причини їх виникнення та методи врахування. Останні включають у себе питання порядку калібрування та його методики, а також вибору форми, розміру та положення цілей, які будуть використовуватись для вирішення поставленої задачі.

Комплексне вирішення поставлених завдань є важливою та актуальною проблемою сучасної інженерної геодезії.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в отриманні теоретичних і практичних результатів щодо вирішення науково-прикладної задачі калібрування НЛС, а саме:

- виконано обґрунтування впливу геометричних параметрів лазерного сканера на результати вимірювань;
- побудова калібрувального полігону з урахуванням результатів моделювання точності визначення координат цілей, які використовуються під час калібрування, та діапазону вимірювань НЛС;
- удосконалено модель калібрування НЛС з метою зменшення кореляції між параметрами перетворення систем координат та геометричними параметрами НЛС.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технології виконання робіт з калібрування лазерних сканерів. Автором запропоновано:

- обґрунтовано необхідність проведення калібрування наземного лазерного сканера для підвищення точності його вимірювань;
- розроблено рекомендації щодо вибору типу та місць розташування цілей під час створення калібрувального полігону;

- запропоновано методику калібрування наземного лазерного сканера, що забезпечує зменшення кореляції між параметрами перетворення систем координат та геометричними параметрами НЛС.

Відповідність паспорту спеціальності та назві роботи.

Дисертаційна робота Сосси Богдана Ростиславовича відповідає паспорту спеціальності 193 - Геодезія та землеустрій та спрямована на вирішення науково-прикладної задачі калібрування наземного лазерного сканера.

На мою думку назва дисертації в повній мірі характеризує зміст проведених досліджень.

Аналіз основного змісту, наукової новизни, вірогідності досліджень та обґрунтованості висновків і рекомендацій.

Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури і додатку.

Структура дисертації логічно побудована і сприяє розкриттю теми дослідження, виконанню поставлених завдань.

Дисертація оформлена відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України, що висуваються до такого роду наукових робіт.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та методи її досягнення, визначено наукову новизну та практичне значення досліджень, коротко розкрито основний зміст роботи.

У розділі 1 «Аналіз сучасних підходів до підвищення точності наземного лазерного сканування» автором виконано аналіз сучасного стану досліджень в області калібрування наземних лазерних сканерів та створення калібрувальних полігонів, а також наводить огляд задач, в яких доцільно використовувати цю технологію. Автором виконано аналіз метрологічних характеристик сучасних лазерних сканерів та виконано моделювання їх точності на різних діапазонах вимірювань. Автором роботи було виконано аналіз існуючих типів цілей при НЛС та їх моделей. В розділі I автор виконує аналіз похибок кутомірного та віддалемірного блоків наземних лазерних сканерів та формулює задачі при їх калібруванні.

У розділі 2 «Дослідження методів і моделей калібрування наземних лазерних сканерів» автором виконано моделювання впливу різних геометричних параметрів наземного лазерного сканера на результати його вимірювань та обґрунтовано необхідність їх врахування під час вимірювань. Моделювання впливу складових віддалемірного блоку сканера, колімаційну похибку, індекс вертикального круга, нахил осі дзеркала та ексцентриситет горизонтального круга сканера виконано методом Монте-Карло.

У 2 розділі автором виконано моделювання можливого зміщення цілей під час моделювання за рахунок похибок вимірювань, за результатами якого визначено оптимальний тип та розміри таких цілей. Під визначений тип цілей виконано розрахунок оптимальної відстані їх використання.

На основі виконаних розрахунків запропоновано методику визначення форми та розмірів калібрувального полігону.

Автором роботи запропоновано модифіковану методику калібрування наземного лазерного сканера на калібрувальному полігоні. В основі запропонованої методики автор пропонує використовувати алгоритм Кабша-Умеями. Для зменшення кореляції між параметрами перетворення та геометричними параметрами наземного лазерного сканера автор досліджень пропонує моделювання виконувати у три етапи. Автор виконує лінійне та нелінійне вирішення задачі апроксимації.

За результатами проведених досліджень у розділі автор створює технологічну схему калібрування наземного лазерного сканера.

У розділі 3 «Експериментальні дослідження підвищення точності наземного лазерного сканування шляхом калібрування» автором проведено експериментальні дослідження виконаних теоретичних викладок та обрахунків. Автор виконує дослідження точності автоматичного та ручного визначення координат цілей сканування за результатами яких визначає вищу точність саме автоматичного режиму

Автором проведено експериментальну апробацію теоретичних результатів з використанням 4 наземних лазерних сканерів. Результати досліджень наочно показують підвищення точності вимірювань наземних лазерних сканерів за результатами їх калібрування.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають вимогам, які висуваються до такого виду досліджень. Обґрунтованість наукових положень, висновків та їх вірогідність забезпечені професійним вирішенням низки наукових завдань, що сприяло реалізації поставленої мети дослідження та адекватністю структурно-логічної схеми дослідження визначеній мети.

Кожен наступний розділ чи підрозділ органічно пов'язаний з попереднім і доповнює його. Автор використовував широку джерельну базу і провів значний масив аналітичної обробки.

Вважаю, що предметна спрямованість дисертаційного дослідження відповідає паспорту наукової спеціальності 193 - Геодезія та землеустрій.

Разом з тим, дисертаційна робота Сосси Б.Р. має ряд **недоліків і дискусійних питань**. Аргументую деякі зауваження:

1. Найбільшим недоліком роботи на нашу думку є недостатне використання автором усталеної термінології під час опису власних досліджень. Наприклад на с. 28 автор для опису складових похибок віддалеміра НЛС використовує терміни «постійна похибка» та «масштабний коефіцієнт», проте

загальноприйнятими термінами для позначення цих складових є «адитивна складова похибки» та «мультиплікативна складова похибки» відповідно.

Наступні побажання викладемо згідно порядку появи у роботі автора.

Табл. 1.1 Присутні неточності в технічних характеристиках НЛС, наприклад точність вимірювань відстаней НЛС FARO. З огляду на діапазони вимірювань приладів, точність лінійних вимірювань приводить до 100 м некоректно.

Пункт 1.3, с. 20, автором виконано попередній розрахунок точності вимірювань координат точок на основі СКП вимірювань кутів і відстаней різними моделями НЛС. Далі автором вказано наступне: «суттєва частина похибок відстані та кутів містить систематичну складову, що може бути враховано для підвищення точності». Технічні дані НЛС, використані автором для проведення розрахунку точності не враховують можливі систематичні похибки, що будуть досліджуватись автором далі у роботі. Так в керівництві з експлуатації НЛС Leica P50, який він використовував при огляді НЛС, є пояснення терміну «accuracy», під яким виробник розуміє одне стандартне відхилення («All \pm accuracy specifications are one sigma (1σ) unless otherwise noted»). Таким чином, врахування різних систематичних похибок НЛС не повино призвести до покращення результатів розрахунку точності автором.

Під час проведення сканування НЛС, внаслідок дії різних систематичних похибок, результати вимірювань будуть гіршими за величини визначені автором під час розрахунку точності. Проте врахування геометричних параметрів НЛС під час сканування, дійсно може компенсувати їх вплив на результати вимірювань, про що автор і пише у пункті 2.1.3. Таким чином, результати розрахунку точності, отримані автором у пункті 1.3, є чи не найвищою можливою точністю вимірювань цими моделями НЛС.

Пункт 1.4, с.24, автором запропоновано термін «похибки невиконання геометричних умов між елементами блока». Більш правильним терміном буде; «геометричні параметри наземного лазерного сканера».

С.25 при описі осей наземного лазерного сканера, автор намагається запропонувати терміни, що будуть спільними для всіх типів НЛС, як наслідок отримав наступне визначення: «Вертикальна вісь – вісь обертання дзеркала», що не підходить для НЛС, які спрямовують лазерний промінь за допомогою призми. Терміни «колімаційна похибка», «нахил горизонтальної осі» та «ексцентриситет» необхідно уточнити. При цьому на сторінці 55, в пункті 2.1, ці терміни визначаються знову, вже більш вдалим означеннями.

С.30 автор стверджує: «Для оцінювання масштабного коефіцієнту вимірюваної відстані необхідно отримати надлишкові вимірювання...». Проте, головною умовою визначення мультиплікативної складової похибки вимірювань відстаней, є наявність еталонних значень мінімум двох відстаней у різних точках діапазону вимірювань. Без еталонних значень відстаней неможливо визначити мультиплікативну складову похибки вимірювань відстаней, незалежно від наявності або відсутності надлишкових вимірів.

Пунктам 1.5.1 «Перша методична задача при створенні калібрувального полігону» та 1.5.2 «Друга методична задача при створенні калібрувального полігону» краще давати назву згідно теми матеріалу що наводиться у відповідному пункті, а саме щось на зразок «Визначення моделі похибок наземного лазерного сканера» та «Конфігурація мережі марок калібрувального полігону». Зауважимо що назви пунктів запропоновані згідно термінології автора.

С. 38, неправильне посилання на рис. 3.3. Мабуть мається на увазі рис. 1.8.

С.43 Незрозуміла актуальність появи пункту 1.6.3 у роботі автора. Чому саме циліндричні тестові об'єкти калібрування винесені у окремий пункт, коли вимірювання виконувались по точковим?

С. 50 рис. 1.14, які з наведених автором методів калібрування є «камеральними»?

С. 52 У таких виробників НЛС як FARO Technologies Inc. та Leica Geosystems наявні значно повніші та складніші процедури перевірки приладів за описану автором.

С. 83, присутній невдалий вислів: «максимально допустимих кутових і лінійних відстаней між тестовими об'єктами для забезпечення калібрування в заданих діапазонах кутів і відстаней».

С. 134 Висновки до розділу 3. Перший висновок: «Головну увагу слід зосередити на вивченні оптимальної моделі похибок наземних лазерних сканерів для практичного застосування при їх калібруванні» не є висновком розділу 3.

Висновок 5: «Проведено калібрування чотирьох різних моделей наземних лазерних сканерів. Проведено аналіз результатів калібрування та визначено, що точність сканування покращилася, що дозволяє сканеру бути придатним для виконання більшої, ніж раніше кількості видів інженерно-геодезичних робіт». Не виконано обґрунтування більш широкого використання НЛС, а саме робіт де НЛС зможе використовуватись саме завдяки врахуванню систематичних похибок.

Виявлені недоліки роботи не зменшують її наукової новини або практичної цінності, та носять швидше редакційний характер. Переважна більшість зауважень стосуються 1 розділу дисертаційної роботи, який не містить наукових або практичних здобутків автора.

Незважаючи на вказані зауваження, результати дисертаційного дослідження мають наукову новизну та мають обґрунтований характер. Загалом, робота Сосси Богдана Ростиславовича має високий рівень і є вагомим внеском у розвиток теорії та практики калібрування наземних лазерних сканерів.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...». Дисертація Сосси Богдана Ростиславовича «Методи і моделі підвищення точності наземного лазерного сканування за даними калібрування», надана на рецензію, повністю відповідає вимогам пп. 5, 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Роботу виконано з дотриманням

принципів академічної доброчесності, а дослідження є його особистою працею. Висунуті в роботі наукові положення, а також отримані теоретичні і практичні результати відзначаються актуальністю, єдністю змістовного наповнення та дозволяють стверджувати про вагомий внесок Сосси Богдана Ростиславовича у вітчизняну науку.


Загальний висновок

Слід відзначити високий рівень виконання здобувачем поставленого наукового завдання та ґрунтовне оволодіння ним методологією наукової діяльності. Всі зазначені в дисертації задачі дослідження було розкрито в тексті роботи та її додатках. Автором отримано вагомі результати, про що свідчать зроблені відповідні висновки. Дисертаційна робота містить безумовну наукову новизну, а запропоновані автором науково обґрунтовані та підтверджені теоретичні положення доповнюють напрям досліджень з калібрування наземних лазерних сканерів. Окремо виділимо вклад здобувача у напрям досліджень зі створення калібрувальних полігонів. Таким чином, можна стверджувати, що дисертаційна робота Сосси Богдана Ростиславовича на тему «Методи і моделі підвищення точності наземного лазерного сканування за даними калібрування», представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій, є завершеною науковою працею, яка повністю відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 та напряму освітньо-наукової програми Київського національного університету будівництва та архітектури з зазначеної спеціальності. Наукова значущість одержаних наукових результатів дозволяє визначити представлену роботу як новий напрямок наукових досліджень калібрування наземних лазерних сканерів, а її автор, Сосса Богдан Ростиславович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій.

Рецензент,

кандидат технічних наук,

доцент кафедри інженерної геодезії Київського

національного університету будівництва та архітектури,  О.В. Адаменко

Підпис доц. Адаменко О.В. засвідчує:

Секретар Вченої ради

