

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Сосси Богдана Ростиславовича
«МЕТОДИ І МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО
СКАНУВАННЯ ЗА ДАНИМИ КАЛІБРУВАННЯ» представлену на здобуття
наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 - Геодезія та
землеустрій

Актуальність обраної теми. В світі експлуатується та будується все більше споруд, промислових об'єктів та обладнання великих розмірів та складної інженерної конструкції з архітектурними та конструктивними рішеннями, які досі ніколи не застосовувалися.

Причиною аварійності та передчасного виходу з ладу конструкцій та обладнання на таких об'єктах можуть бути помилки проектування та будівництва, зношеність конструкцій, відсутність коштів на підтримання та ремонт, а також непередбачувані ситуації, прорахувати які неможливо. Але не останнє місце, як причина виникнення небажаних ситуацій, займає не дотримання геометричної точності зведення. Виходячи з цього, запорукою їх нормального експлуатування є дотримання необхідної точності інженерно-геодезичних вимірювань під час будівництва та монтажу.

Одним з напрямків щодо підвищення точності інженерно-геодезичних вимірювань під час будівництва та монтажу є ретельне дослідження похибок вимірювань геодезичними приладами під час їх калібрування з метою врахування оцінених систематичних складових похибок під час виконання інженерно-геодезичних вимірювань. Одною з найефективніших сучасних технологій виконання інженерно-геодезичних робіт є наземне лазерне сканування. Розроблення та удосконалення методів та моделей дослідження складових похибок вимірювань наземними лазерними сканерами під час їх калібрування дозволяють підвищити точність вимірювань координат на поверхнях об'єктів будівництва та монтажу. Це, в свою чергу, підвищить безпечність, надійність та тривалість експлуатування об'єктів.

Саме цій темі присвячена дисертаційна робота, що є вельми актуальним.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Сосса Богдан Ростиславович провів глибокий аналіз чинників, що впливають на точність даних, отриманих способом наземного лазерного сканування та можливість врахування їх впливу. В роботі проаналізовано та систематизовано значний обсяг теоретичних та практичних джерел, що стосуються калібрування наземних лазерних сканерів. Враховуючи широке використання сферичних тестових об'єктів для калібрування та реєстрації сканів, варто виділити запропоновані Сосою Богданом Ростиславовичем критерії прийнятності зміщення координат центру об'ємного площинного тестового об'єкта калібрування у випадку наявності похибок в одній з точок, що визначають сферу або циліндр а також розроблені ним методичні основи проектування калібрувального полігону за попередньо заданими мінімальними кутівими відстанями між тестовими об'єктами.

Розроблений автором порядок проведення калібрування наземних лазерних сканерів дозволяє, в тому числі, проводити поточні або періодичні

перевірки приладів користувачам обладнання а також слугувати основою для подальших досліджень з проведення періодичних калібрувань акредитованими калібрувальними лабораторіями.

Належний рівень обґрунтованості запропонованих здобувачем наукових положень забезпечується грамотним використанням загальнонаукових та спеціальних методів, що дало змогу авторові виконати сформульовані задачі та досягти поставленої мети дослідження.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації також забезпечується – широтою й різноманітністю опрацьованої здобувачем джерельної бази, використанням та узагальненням масиву результатів власних теоретичних розрахунків та опрацьованих експериментальних досліджень похибок вимірювань лазерними сканерами.

Основні теоретичні дослідження, розроблені схеми та методи вимірювань, математичні моделі та перспективи їх практичного застосування отримані з використанням методів лінійної алгебри, математичного аналізу, моделювання, а також застосуванням для проведення дослідження загальних та спеціальних наукових методів порівняльного аналізу, узагальнення, систематизації, класифікації, загальної теорії аналітичної фотограмметрії, математичної статистики, теорії похибок вимірювань, методу найменших квадратів, теорії матриць, лінійного чисельного і нелінійного способів параметричного вирівнювання, теорії прямого лінійного перетворення.

Достовірність основних положень. Достовірність теоретичних висновків та отриманих практичних результатів підтверджується:

- результатами, отриманими автором, за здійснення комплексного критичного аналізу теоретичних робіт і практичного досвіду за обраною тематикою;
- результатами лабораторних та польових експериментальних досліджень, результатами оброблення одержаних експериментальних даних та підтвердженням одержаних результатів у порівнянні з результатами одержаними іншими незалежними методами;
- широким оприлюдненням і позитивними оцінками на міжнародних конференціях та у рецензованих фахових вітчизняних і закордонних виданнях;
- апробацією результатів роботи в навчальному процесі кафедри інженерної геодезії Київського національного університету будівництва та архітектури при викладанні курсу інженерної фотограмметрії та інженерної геодезії під час підготовки бакалаврів та магістрів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій», спеціалізацій «Геодезія» і «Геоінформаційні системи та технології»;
- практичним впровадженням у виробничі процеси ПП «Геодезична інжинірингова агенція» при проведенні перевірки та калібрування наземного лазерного сканера під час виконання робіт зі сканування мостового переходу через річку Дніпро.

Таким чином, можна прийти до висновку, що отримані основні положення дисертації достовірні і науково обґрунтовані, а також відповідають меті і

завданням дослідження. Про високий рівень наукової підготовки дисертанта свідчить ґрунтовне опрацювання теоретичних і практичних матеріалів та грамотне використання ним наукових методів дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів. Після ознайомлення з наданими матеріалами дисертації Сосси Богдана Ростиславовича можна зазначити, що мету роботи досягнуто, а одержані в ході роботи результати мають таку наукову новизну:

- уперше проаналізовано і визначено вплив складових систематичної похибки та їх результуючий ефект на точність отриманих даних в розрізі універсальної моделі похибок інструмента безвідносно його типу;
- уперше розроблено методичні основи проектування калібрувального полігону за попередньо заданими кутовими відстанями та досліджено залежність між мінімальними розмірами площинних тестових об'єктів та відстанню, на якій можливо проводити калібрування;
- модифіковано і удосконалено математичну модель калібрування, що дозволяє уникнути кореляції між параметрами трансформації систем координат і параметрів калібрування;
- загалом, удосконалено метод системного калібрування даних, отриманих способом наземного лазерного сканування, що дозволило підвищити точність отриманих даних.

Практичне значення дослідження. Отримані Сосою Богданом Ростиславовичем результати дисертаційного дослідження мають вагоме практичне значення для подальшого використання. Зокрема, в галузі інженерної геодезії ці результати дозволять підвищити точність систем наземного лазерного сканування до нормативних вимог, що дозволить використовувати всі переваги технологій НЛС при геодезичному супроводженні будівництва та реконструкції цивільних і промислових будівель та споруд.

На окрему увагу заслуговують методичні основи проектування калібрувальних полігонів за попередньо заданими мінімальними кутовими відстанями між тестовими об'єктами, що може слугувати основою для подальших досліджень з влаштування польових і камеральних калібрувальних полігонів, призначених для здійснення калібрувань систем наземного лазерного сканування акредитованими калібрувальними лабораторіями.

Важливе значення для практичного застосування мають результати порівняння лінійного та нелінійного способів вирівнювання при пошуку параметрів калібрування. Автором доведено, що необхідної точності можна досягти без використання високоточного обладнання та спеціалізованого програмного забезпечення.

Оцінка наукових публікацій. Кількість опублікованих здобувачем праць за темою дисертаційного дослідження є достатньою. Основні положення, результати і висновки дослідження детально викладено в 12-ти наукових публікаціях, з яких 4 є одноосібними. З цих публікацій 10 – статті в наукових

фахових виданнях України категорії «Б», одна – в періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus (Q3) та одна теза доповідей міжнародних конференцій. Зміст зазначених публікацій відповідає заявленим задачам, об'єкту і предмету дослідження. Необхідно зазначити, що повнота викладення та апробація основних теоретичних положень дослідження повністю відповідає вимогам, що пред'являються до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії (п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії»).

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення.

Представлена на рецензію дисертація складається з анотацій, вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 192 сторінки, із яких: 130 сторінок основного тексту, ілюстрованого 59 рисунками та 28 таблицями; список використаних джерел зі 139 найменувань на 18 сторінках, 2 додатки на 23 сторінках, з них один акт впровадження.

У **вступі** автором викладено актуальність теми дослідження. Визначена мета відповідає обраній темі і розкрита в поставлених завданнях. Предмет дослідження узгоджено з назвою роботи і з об'єктом дослідження. Описано використані здобувачем наукові методи дослідження. Зазначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, а також показано їх апробацію.

У першому розділі «**Аналіз сучасних підходів до підвищення точності наземного лазерного сканування**» автором проведено аналіз сучасних досліджень калібрування наземних лазерних сканерів та визначено головні напрямки подальших досліджень. Зроблено висновок про те, які фактори варто досліджувати при вирішенні задачі підвищення точності наземного лазерного сканування. Також проведено короткий огляд сфер застосування НЛС, визначено переваги і недоліки технології.

Здійснено попередній розрахунок точності НЛС на підставі задекларованих виробником технічних характеристик для сканерів з фазовим та імпульсним способами вимірювання відстаней і різних типів – панорамних та гібридних.

При аналізі інструментальних похибок НЛС було виділено два основних джерела похибок, які впливають з геометричної моделі сканера – кутомірний та віддалемірний блок. Проведено огляд всіх відомих на сьогодні джерел похибок з метою подальшого вирішення задачі вилучення їх систематичної складової з результатів вимірювань. Проаналізовано способи визначення систематичної складової шляхом проведення калібрування на спеціально влаштованих калібрувальних полігонах. Зроблено огляд наявних моделей полігонів, визначено їх сильні та слабкі сторони. Розглянуто тестові об'єкти, що використовуються при калібруванні – їх тип, форма, способи визначення координат. Проведено їх попередню класифікацію.

Другий розділ **«Теоретичні основи калібрування наземних лазерних сканерів»** містить ряд досліджень, проведених з метою розроблення системного підходу до калібрування та розроблення універсального порядку калібрування. Здобувачем розроблено модель попереднього оцінювання впливу складових систематичної похибки в розрізі універсальної моделі похибок інструмента. Розглянуто вплив зазначених складових на отримані координати шляхом здійснення апріорного симуляційного моделювання отриманих результатів методом Монте-Карло з внесеною систематичною похибкою (дані до калібрування) та з її відсутністю (дані після калібрування) та проаналізовано отримані результати.

Проведено дослідження мінімальних розмірів площадних тестових об'єктів калібрування (ТОК) та встановлення мінімально необхідних розмірів ТОК для однозначного визначення просторового положення плоского, сферичного та циліндричного площадного об'єкта з внесенням похибки в одну з точок, на поверхні сфери або циліндра та наступним розрахунком кількості точок, необхідних для визначення його просторового положення.

Через наявність у різних моделей сканерів як ручного, так і автоматичного режиму визначення координат марок з хмари точок, в роботі запропоновано систему статистичного оцінювання цих режимів шляхом порівняння СКП відстаней між точками, що дозволить уникнути впливу похибок переходу між системами координат, та розроблено алгоритм оцінки доброякісності вимірювань з метою вибору оптимального режиму при калібруванні.

Заслуговує на увагу дослідження автора на тему проектування калібрувального полігону на основі досліджених типів ТОК та за визначеними максимальними відстанями. За основу проектування ним запропоновано взяти величини мінімальних вертикальних і горизонтальних кутів між тестовими об'єктами. Також досліджено критерії вибору тестових об'єктів та запропоновано використовувати точкові ТОК для проведення калібрування як такі, що дозволяють проведення калібрування віддалемірного блока

Здобувачем також проведено модифікацію загальноживаної математичної моделі калібрування. Для пошуку параметрів трансформації між системами координат полігона та сканера ним пропонується використовувати алгоритм Кабша-Умеями, після чого формувати параметричні рівняння зв'язку і здійснювати розрахунок параметрів калібрування. Автором було запропоновано спрощення чисельного розв'язку задачі калібрування методом найменших квадратів шляхом проведення оберненої трансформації координат з системи координат полігона в систему координат сканера і наступним розрахунком параметрів калібрування через раніше визначену модель впливу систематичних похибок. Також в роботі виконано нелінійний спосіб пошуку параметрів калібрування і створено програму в комплексі Mathcad для нелінійного розв'язання цієї задачі.

У третьому розділі **«Експериментальні дослідження підвищення точності наземного лазерного сканування шляхом калібрування»** автором проведено практичну апробацію проведених досліджень та проаналізовано її результати. Для проведення калібрування було створено калібрувальний полігон з тестовими об'єктами, після чого здійснювалося його сканування. Координати тестових об'єктів калібрування визначено з кожної станції

сканування і за допомогою високоточного електронного тахеометра. За розробленою модифікацією математичної моделі було проведено розрахунки лінійним і нелінійним способом.

Слід зазначити, що одним із зроблених важливих висновків є такий, що запропонований спосіб визначення параметрів калібрування доступний для користувачів систем НЛС в звичайних умовах без використання високоточного обладнання та спеціалізованого програмного забезпечення. Також автором зроблено загальний висновок про те, що внесення параметрів калібрування у дані, отримані способом НЛС, дозволяє підвищити точність цих систем до рівня, що відповідає нормативним вимогам виконання інженерно-геодезичних робіт при супроводженні будівництва.

Позитивні характеристики розглянутого дослідження.

– проведено ґрунтовний аналіз методів і моделей підвищення точності наземного лазерного сканування за даними калібрування; метод системного калібрування наземних лазерних сканерів удосконалено для використання в задачах інженерної геодезії;

– досліджено варіанти впливу складових систематичної похибки та методом математичного моделювання визначено їх вплив на кінцевий результат; встановлено, що при врахуванні систематичних похибок, як параметрів калібрування, точність сканування суттєво підвищується;

– розроблено універсальний порядок калібрування для практичного використання, який дозволяє проводити калібрування, незалежно від типу сканера, способу вимірювання відстаней, конфігурації і розміру калібрувального полігону, типу тестових об'єктів для калібрування та мінімізованим впливом навколишнього середовища; запропоновано методику внесення параметрів калібрування в результати спостережень.

Також, необхідно відзначити окремі **дискусійні моменти та висловити побажання** до дисертаційної роботи:

Перш за все технічна помилка - пункти 1.2.2 та 1.2.3 відсутні в змісті роботи.

В підрозділі 1.3 та в цілому за текстом дисертації слід більш акуратно використовувати термінологію і не переходити на професійний сленг. Наприклад, замість «...припадає, ... на кутову та лінійну похибки...» слід було б записати «...припадає, ... на похибки вимірювань горизонтальних та вертикальних кутів та віддалей». Або, в тексті та в таблиці 1.1 замість «кутова точність» та «лінійна точність» треба було б застосувати «СКП кутових вимірювань» та «СКП лінійних вимірювань» або «СКП вимірювань віддалі».

Замість терміну «Плоских» треба вживати термін «пласких».

В пункті 1.4.1 некоректно названі осі сканерів: «Горизонтальна вісь» та «Вертикальна вісь». Всім, і автору теж, добре відомо, що ці осі не горизонтальні і не вертикальні. Їх треба називати такими, як вони є. Назва

трохи довша, але правильна. Наприклад, «Вісь обертання дзеркала» «Вісь обертання приладу», «Вісь гойдання дзеркала» тощо.

В пункті 1.4.1 є вираз «Ексцентриситет осей лазерного сканера...» - це вираз в тексті та під рис. 1.4. Цей вираз неточний. На рис. 1.4 показано, що осі не перетинаються - показані відстані між осями, а не ексцентриситет. Ексцентриситет горизонтального круга – це неспівпадіння осі обертання сканера з центром його кутового енкодера. Ексцентриситет вертикального круга – це неспівпадіння осі обертання дзеркала з центром його кутового енкодера. Хоча вище є більш точний вираз: «Ексцентриситет (e) – ексцентриситет горизонтального круга відносно вертикальної осі.»

В пункті 1.5.1 є вираз «Складова систематичної похибки за виміряну відстань.» є невдалим. Правильно: «Систематична складова похибки вимірювань віддалі (або довжини)»

Термін «поправка віддалеміра» краще вживати більш точно: «постійна поправка віддалеміра».

Терміни «емпірична похибка віддалеміра», «емпірична похибка горизонтального напрямку», «емпіричні похибки зенітної відстані» - можна інтепретувати як випадкові складові похибки, яка залишилася після виключення систематичних складових, які містяться в моделі. Так їх і треба було б назвати. Термін «емпірична» слід вживати тоді, коли похибка визначається з вимірювань і порівнюється з розрахунковою (апріорною) чи нормованою похибкою.

В пункті 1.5.2 вираз «питання ваги вимірювань різних марок» - мабуть треба було б записати «питання ваг вимірювань, виконаних на різні марки».

Не можна погодитися з підходом автора до сканера, як аналога фотограметричної камери. Ще якось елементи зовнішнього орієнтування можна порівнювати. Але внутрішнє орієнтування двох знімків в скануванні начисто відсутні. Це просто визначення параметрів переходу з однієї системи координат до іншої, про що автор пише нижче за текстом.

В пункті 1.6.2 в формулах (1.14) записані «додаткові поправки u , відповідно, відстань, горизонтальний і вертикальний кут», але не розкрита їх природа і призначення.

Після формули (1.15) вираз «...нормальна відстань від початку координат до площини» мабуть повинен звучати як «... відстань за нормаллю до площини».

Перед формулами (1.15) та (1.16) вираз «...підставляються в рівняння найменших квадратів» не є коректним.

Рівняння (1.16) сфери треба було б лінеаризувати. Не зрозуміло також, чому рівняння представлено як сума всіх рівнянь для точок на сфері.

В пункті 1.7.1 автор вживає поряд два таких терміни «калібрування (юстування)». Це помилка тому, що ці терміни поряд вживати не можна. Це зовсім різні речі. Як правило, під час калібрування, у міжнародно прийнятому сенсі, юстування заборонене.

Можна говорити про деяку подібність фотограмметрії і НЛС але не тотожність. Автор не наводить доказів на прикладі формул, що формули для фотограмметрії підходять для НЛС. На мою думку, сенсу в цьому немає. При обробленні НЛС використовується ланцюг перетворень з системи в систему координат.

В пункті 1.7.2 в виразі «вертикальною віссю обертання (VV'), горизонтальною віссю обертання дзеркала (HH') та лазерним променем (ZZ')» не коректно називати вертикальна та горизонтальні вісь обертання для конкретного приладу. Фактично, автором досліджуються відхилення від вертикального та горизонтального положення осей обертання. Ці терміни придатні тільки для ідеальної моделі сканера. На цьому треба було наголосити.

В цілому, перший розділ це, одночасно, і аналіз джерел і систематизація та узагальнення тої інформації, яка наведена в джерелах разом з власними поглядами та ідеями. Достатньо повно викладені всі аспекти пов'язані з дослідженням складових похибок вимірювань лазерними сканерами

Недоліком можна вважати недостатню критичність до інформації взятої з джерел. Тобто не виділено чітко чого в розробках інших авторів не вистачає, що треба розробити. Висновки більше нагадують підсумок виконаної роботи, а не завдання на подальші дослідження. Хіба що, автор вказує, як на перспективний напрямок, на системне калібрування, тобто на калібрування, яке не потребує дорогого спеціального обладнання, яке зазвичай використовують фірми виробники сканерів.

Технічна помилка у підрозділі 2.1. Там зроблене посилання на рис. 2.6, а насправді там рис. 2.1.

У пункті 2.1.1 на стор. 58 пропонується підставляти масштабний коефіцієнт $s_p=1,000003$ для сканерів як для тахеометрів. Такий коефіцієнт зовсім непомітний під час моделювання в заданих умовах – 0,03 мм на 10 м. Насправді, для сканерів він нормується 1,00003 (в 10 разів більшим) – 0,3 мм на 10 м. Щоб його вплив був помітний при моделюванні його треба було б прийняти 1,0001– 1 мм на 10 м.

Там само, замість посилання на вираз 2.10 необхідно послатися на 2.1.

Про деякі важливі речі автор не пише, вважаючи їх такими, які самі собою розуміються. Наприклад, написано: «...похибки у виміряні відстані і кути у розмірі $m_p=0,002$ м, $m_\phi = m_\alpha = 6''$ » треба було б назвати випадковими складовими похибок вимірювань. А після фрази «Значення СКП вимірювання віддалі для приладів класу В6 бралось для режиму вимірювання по призмі і

становило $3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} \text{ L.}$ », треба було б сказати, що таким значенням прирівнювалася систематична складова похибок вимірювань. Під час моделювання.

На рисунках 2.4 – 2.13 та в таблицях автор використовує некоректне позначення одиниці вимірювань горизонтальних та вертикальних кутів, позначаючи їх «сек» або «секунда». Слід використовувати стандартизоване позначення «...''», якщо по осі координат рисунка відкладаються результати вимірювань кутів виражені в секундах дуги. За написання кутових величин в звичайному тексті треба писати не в «секундах», а в «секундах дуги».

Загалом, інтерпретацію результатів моделювання треба було б розширити, показавши як випадкові та систематичні складові похибки вимірювань впливають на кінцевий результат сканування. Мається на увазі, що ці складові так чи інакше спотворюють форму об'єкта, який сканується. В випадку, який розглядає автор, змодельовані пласкі стіни приміщення будуть виглядати не пласкими. Спотвореними будуть і загальні середні розміри приміщення.

Після аналізу кожної модельованої складової автор наводить «Значення СКП координат точок для даних з урахуванням інструментальної точності та складової...», наприклад, «...за колімацію склало 1,6 мм.». Не ясно, як ця цифра одержана, як зв'язана з вихідними даними моделювання.

У підрозділі 2.2 на стор. 78, за порівняння марок різного типу, краще застосовувати термін «площадні марки» замість «площинні».

Є хибним твердження, що є проблема з визначенням координат центру сферичної марки за допомогою тахеометра. Горизонтальний та вертикальний кут вимірюються ним за наведення по дотичній до сфери, а для вимірювання віддалі тахеометр наводиться на середній відлік і вимірювання виконуються у безвідбивному режимі.

У підрозділі 2.3 на стор. 80 вираз «Оскільки точність визначення координат електронним тахеометром також містить похибки...» є некоректним, оскільки точність не може містити похибки. Так само, в деяких інших місцях тексту термін «похибка» підміняється терміном «точність». Цього не можна робити, оскільки «точність» це характеристика обернено пропорційна до модулю «похибки» - вища точність – менша похибка і навпаки.

На стор. 81 замість терміну «стандартне відхилення» треба використовувати термін «стандартний відхил» і скрізь за текстом так само.

В формула (2.15) є описка – коефіцієнт 2 в знаменнику під коренем треба прибрати.

В підрозділі 2.3 автор говорить про вимірювання тахеометром як еталонним приладом, але не говорить про використання вимірювань, виконаних ним для обчислення систематичної складової похибки. Похибку (невизначеність) вимірювань виконаних еталонним тахеометром слід було б включити до невизначеності обчисленої систематичної складової похибки.

На початку підрозділу 2.4 опис вибору максимальних та мінімальних кутових та лінійних відстаней не ілюстрований, а тому погано зрозумілий. Хоча далі за текстом рисунки є.

В пункті 2.5.2 формула (2.58) записана в якійсь незвичній формі. Вираз в чисельнику треба було б взяти в лапки, а між різницями приростів координат поставити знаки плюс. Крім того, в знаменнику повинно стояти $n-k$ де k - кількість визначуваних параметрів перетворення з системи в систему координат.

Треба було б також наголосити, що за формулою (2.58) одержується також одна з основних узагальнених характеристик сканера – СКП вимірювання координат.

В підрозділі 2.6 на стор. 109 в одному реченні два рази вжите слово «досягти». Одне з них зайве.

Висновки до розділу 2 коротко підсумовують виконану дослідну роботу, але без акценту на новизну та практичну цінність.

В підрозділі 3.1 середні відхилення для ручного та автоматичного режимів, обчислені в таблицях 3.3 та 3.4, слід було б назвати оцінкою систематичної складової похибки вимірювань довжини за координатами точок одержаних за допомогою сканера (до речі, в таблицях це значення назване як середнє відхилення, що є не точним). Також, слід було б оцінити невизначеність систематичної складової похибки вимірювань спираючись на виконані дослідження.

У *висновках* до роботи підведений об'єктивний підсумок проведених досліджень, але у висновках, немає чіткої вказівки на те, що поставлені задачі виконані а мета роботи досягнута.

Крім названих, є в тексті дисертації невелика кількість незначних помилок редакційного характеру, які ніяк не впливають на сприйняття матеріалу.

Висловлені зауваження мають дискусійний характер та жодним чином не погіршують загального позитивного враження від наукового рівня дисертаційної роботи Сосси Богдана Ростиславовича. Дисертанту варто їх врахувати у подальшій науковій роботі.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...». Надана на рецензію дисертаційна робота Сосси Богдана Ростиславовича «Методи і моделі підвищення точності наземного лазерного

сканування за даними калібрування» цілком відповідає вимогам пунктів 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». Виконана робота є його особистою працею, написаною з дотриманням принципів академічної доброчесності. 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

Дисертаційну роботу Сосси Богдана Ростиславовича виконано на високому рівні. Це свідчить про успішне виконання наукового завдання та оволодіння науковою методологією. Попередньо сформульовані задачі дослідження було виконано в повному обсязі в межах дисертаційної роботи. Отримані висновки свідчать про ґрунтовність виконаної дисертації, її актуальні та вагомні результати. Робота має беззаперечну наукову новизну, яка дозволяє на тлі нових науково обґрунтованих та підтверджених теоретичних положень розгорнути новий та перспективний напрям досліджень зі створення калібрувальних полігонів. Отже, можна стверджувати, що дисертаційна робота Сосси Богдана Ростиславовича на тему «Методи і моделі підвищення точності наземного лазерного сканування за даними калібрування», представлена 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 напрямку освітньо-наукової програми Київського національного університету будівництва та архітектури з зазначеної спеціальності. Наукова значущість отриманих наукових результатів охарактеризувати 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, доктор технічних наук,
професор кафедри інженерної геодезії Київського
національного університету будівництва та архітектури,
Директор науково-виробничого інституту геометричних,
механічних та віброакустичних вимірювань та оцінки
відповідності засобів вимірювальної техніки ДП
«УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» Мінекономіки України



О.М. Самойленко

Людмила Самойленко
заоб'язую.

Анатолій
Управління персоналу



Александровича

А.І. Прохор