

## ВІДГУК

### офіційного опонента на дисертаційну роботу Перія Сергія Сергійовича «ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТРИГОНОМЕТРИЧНОГО ТА ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ»

що подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 - Геодезія, фотограмметрія та картографія  
05 - Технічні науки

#### Актуальність роботи

Кінець ХХ століття характеризувався розвитком технологій, які здебільшого стали екологічно небезпечними для людства. Конструкції агрегатів, дамб, реакторів та інших споруд потребують на сьогодні моніторингових спостережень. Однією зі складових контролю є висота конструктивних елементів об'єкта спостереження в режимі реального часу. Це ставить відповідні вимоги до виконання моніторингових спостережень, як за точністю, так і за новими методами і способами нівелювання, їх своєчасністю та репрезентативністю отриманих результатів. Основними напрямками в реалізації спостережень є автоматизація процесу моніторингу, виключення людського фактору та впливу на точність спостережень, опрацювання результатів у реальному часі та висока точність прогнозування процесів.

Розвиток високоточних електронних тахеометрів, кодових теодолітів і цифрових нівелірів дозволив суттєво покращити приладову точність вимірювання кутових і лінійних величин. А це, своєю чергою, зумовило завдання щодо створення нових і вдосконалення наявних методів нівелювання.

Виконання геодезичного моніторингу великих промислових об'єктів та навколишнього середовища, розробка й застосування надійних систем спостережень, оперативне опрацювання результатів вимірів забезпечить отримання якісних оцінок, а також прогнозування виникнення катастроф, стихійних лих або надзвичайних ситуацій.

Враховуючи науковий та економічний аспект цієї проблематики, можна говорити про те, що дані дослідження є необхідними та актуальними в наш час.

Дисертаційна робота відповідає науковим напрямкам кафедри вищої геодезії та астрономії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань» та кафедри геодезії «Дослідження сучасних методів, геодезичних вимірювань та умов їх виконання і опрацювання».

#### Наукова новизна одержаних результатів

Ознайомлення зі змістом дисертації, основними публікаціями та авторефератом дозволяє визнати, що мету дослідження виконано. Це знайшло відображення в основних положеннях роботи, які сформульовані автором особисто і характеризуються певною науковою новизною. Зокрема уперше:

- виведено та теоретично обґрунтовано формулу для визначення перевищення з двосторонніх спостережень із урахуванням вертикальної рефракції за флуктуаціями вимірних перевищень.



- Розроблено спосіб двостороннього геометричного нівелювання “вперед-назад”, який дозволяє підвищити точність нівелювання завдяки польовому контролю на лінії нівелювання та частковому врахуванню вертикальної рефракції.
- Виведено формулу для обчислення еквівалентної висоти променя нівелювання за відлічуванням рейки та висоти нівеліра.
- Розроблено теорію та сконструйовано лабораторний зразок нівеліра-рефрактометра, який визначає величину вертикальної рефракції у момент спостереження.
- Розроблено теорію та методику дослідження ходу фокусувальної лінзи із урахуванням вертикальної рефракції та кута негоризонтальності променя нівелювання.
- Удосконалено методику застосування двостороннього нівелювання з урахуванням вертикальної рефракції, методику компарування штрих-кодових рейок, методику прокладання висотних ходів тригонометричним нівелюванням та методику побудови дискретного просторового рефракційного поля для безперервних моніторингових спостережень в реальному часі.

### **Практичне значення роботи**

Висновки повністю відповідають сформульованим завданням та змісту самої роботи та впливають з її основних положень. Дисертант стисло формулює основні результати дослідження, які викладені у тому числі і у структурній частині автореферату.

Ці положення у поєднанні з іншими теоретичними узагальненнями автора в сукупності розв’язують важливе науково-практичне завдання підвищення точності й ефективності тригонометричного та геометричного нівелювань.

Підсумовуючи сказане, слід відзначити, що докторська дисертація Перія Сергія Сергійовича є самостійним і структурно завершеним дослідженням, що характеризується єдністю змісту й, безперечно, має постульовану саме автором науково-теоретичну та практичну цінність.

Практична цінність роботи полягає у тому, що результати досліджень, а саме методи підвищення точності способів геометричного та тригонометричного нівелювань із застосуванням сучасних приладів та технологій можуть бути використані в геодезії, картографії та землевпорядкуванні.

Отримані результати теоретичних і експериментальних досліджень мають низку практичних застосувань, а саме:

- визначення перевищення з двосторонніх спостережень із урахуванням вертикальної рефракції за флуктуаціями виміряних перевищень може бути застосовано як для тригонометричного, так і для геометричного нівелювань у реальному часі спостережень;

- удосконалена методика виконання неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання дозволяє досягнути точності геометричного нівелювання II – го класу по лініях довжиною до 1 км із застосуванням одного тахеометра для виконання вимірювань;

- спосіб двостороннього геометричного нівелювання “вперед-назад” окрім підвищення точності нівелювання, дозволяє спростити вибір лінії нівелювання та

виконувати нівелювання у одному напрямку без прокладання зворотного ходу, що суттєво скорочує час виконання робіт;

- обчислення еквівалентної висоти променя геометричного нівелювання за відлічуванням рейки дозволяє автоматизувати процес уведення поправок за вертикальну рефракцію в результати вимірювань на станції нівелювання;

- нівелір-рефрактометр геометричного типу можна застосувати для автоматизації процесу геометричного нівелювання, а також для визначення і прогнозу вертикальної рефракції за напрямом спостереження, що підвищує точність робіт;

- методика і розроблені алгоритми врахування рефракційного поля під час безперервних геодезичних моніторингових спостережень із використанням кореляційних взаємозв'язків спостережуваних напрямів дозволяє виключати його вплив на результати спостережень за деформацією споруд у реальному часі.

**Відповідність паспорту спеціальності та назві роботи.** Дисертаційна робота Перія Сергія Сергійовича відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 - Геодезія, фотограмметрія та картографія та спрямована на підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання завдяки впровадженню та використанню сучасних технологій і приладів, врахування атмосферних впливів на результати геодезичних вимірювань у реальній атмосфері.

Щодо назви дисертації, то, на нашу думку, вона відповідає змісту досліджень.

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

Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 284 сторінки, ілюстрації складають 100 рисунків, 24 таблиці. Перелік використаних джерел містить 158 найменування.

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

Дисертація та автореферат оформлені відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України, що висуваються до такого роду наукових робіт. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету, об'єкт, предмет і основні задачі дослідження, розкрито наукову новизну, теоретичне та практичне значення одержаних результатів, наведено зв'язок роботи із науковими програмами. Також розписано особистий вклад автора у опублікованих статтях.

У **першому розділі** дисертаційної роботи «**Аналіз методики і точності тригонометричного нівелювання**» розглянуті теоретичні засади та похибки одностороннього тригонометричного нівелювання. Відмічено, що найбільш важливі дослідження в цій галузі належать таким науковцям, як В. Я. Струве, Н. Я. Цингеру, І. І. Померанцеву та іншим.

На основі детального аналізу методики і точності тригонометричного нівелювання обґрунтовано, що основним і вагомим чинником у підвищенні точності одностороннього тригонометричного нівелювання є точність урахування атмосферних впливів на результати вимірювань вертикальних кутів у реальному часі. В роботі розраховані необхідні точності вимірювання лінійних, кутових та

метеорологічних величин для підвищення точності визначення перевищень. Підтверджено, що для підвищення точності кутових вимірювань їх слід виконувати за сприятливих атмосферних умов із слабо вираженою турбулентністю. На основі теорії турбулентності та статистичної фізики атмосфери уточнені функціональні зв'язки вертикальної рефракції з коливаннями зображень для різної стратифікації атмосфери.

У цілому розділ достатньо повно розкриває сучасні підходи і тенденції у даному напрямі досліджень.

**Другий розділ** дисертаційної роботи **“Розрахунок і обґрунтування підвищення точності способів тригонометричного нівелювання”** присвячений питанню способів тригонометричного нівелювання, які ґрунтуються на подвійних вимірюваннях перевищень із частковою компенсацією вертикальної рефракції, отриманої за різницею напрямів спостереження. Розглянуто способи двостороннього, дистанційного (із середини) та тригонометричного нівелювання через точку. Теоретично доведено і практично підтверджено можливість застосування неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання, яке по точності відповідає геометричному нівелюванню II класу на лініях спостереження до 1 км.

В роботі проведений детальний аналіз способів тригонометричного нівелювання із виконанням подвійних вимірювань перевищень показав їх перевагу перед одностороннім тригонометричним нівелюванням. Розглянуті способи нівелювання на 70% компенсують дію вертикальної рефракції на виміряні перевищення завдяки різниці коефіцієнтів вертикальної рефракції, яка входить у розрахункові формули. Запропоновано розрахункові формули оцінки точності для двостороннього тригонометричного нівелювання, дистанційного нівелювання між точками та нівелювання через точку виконувати використовуючи точність визначення різниць коефіцієнтів вертикальних рефракцій спостережуваних напрямів.

Дисертантом вперше запропоновано та апробовано спосіб визначення перевищення двостороннім тригонометричним нівелюванням без вимірювання висот приладу та візорних цілей, що підвищує точність і спрощує процес вимірювань у висотних ходах. Експериментально доведена можливість застосування неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання для визначення висот пунктів у полігонометричних ходах мереж згущення. Запропонована та апробована методика визначення відхилення прямовисних ліній за спільними ОКББ і двосторонніми тригонометричними спостереженнями на пунктах опорних мереж геодинамічних полігонів.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи **«Підвищення точності способів геометричного нівелювання»** розглянуто теоретичні засади способів геометричного нівелювання.

Відмічено, що високоточне геометричне нівелювання є основою побудови висотної основи на поверхні Землі. Проблеми високоточного нівелювання, підвищення його точності актуальні і сьогодні тому, що геометричне нівелювання було і залишається основним методом створення Державних висотних мереж країн і континентів.



Показано, що геометричне нівелювання є частковим випадком тригонометричного нівелювання за умови встановлення променя візування за zenітною відстанню рівною  $Z = 90^\circ$ , що відповідає горизонтальному положенню променя візування. Для виконання геометричного нівелювання, порівнюючи із тригонометричним нівелюванням, в основному, застосовується дистанційний спосіб визначення перевищення (нівелювання із середини) із дотриманням умови рівності пліч. Обґрунтовані основні похибки геометричного нівелювання “із середини”. Показано, що основними недоліками даного способу є неконтрольованість стабільності встановлення візирного променя в горизонтальне положення та неврахування вертикальної рефракції у виміряні перевищення.

В роботі запропоновано спосіб двостороннього геометричного нівелювання “вперед-назад”, який передбачає подвійні вимірювання перевищень способом “вперед” з кінців лінії нівелювання (прямо і зворотно). Запропонований спосіб двостороннього геометричного нівелювання “вперед-назад” пройшов експериментальну апробацію 2009-2011 роках і показав реальні результати вимірювань перевищень порівняно із способом нівелювання із середини. Основні переваги даного способу полягають у контролі спостережень на лінії двостороннього нівелювання та введення поправок за вертикальну рефракцію у реальному часі. Порівнюючи перевищення, визначені способом “вперед” і способом “вперед-назад” за весь період експериментальних спостережень, автор відзначає, що отримані результати способом “вперед-назад” у три рази точніші. С.к.п. у визначенні перевищення способом “вперед” склала 0.51 мм, а відповідна похибка способом “вперед-назад” дорівнює 0.16 мм. В роботі розглянуто і запропоновано нові способи компарування рейок в польових умовах.

Для оперативного визначення вертикальної рефракції у реальному часі дисертантом опрацьовано метод і зібрано лабораторний зразок нівеліра рефрактометра геометричного типу.

В основу теорії рефрактометра покладено принцип відбитого променя від прямовисно встановленого дзеркального відбивача.

Для застосування нівеліра рефрактометра під час нівелювання розроблено блок-схему автоматизованого комплексу, який забезпечив би вимірювання і опрацювання отриманих результатів із урахуванням вертикальної рефракції у реальному часі.

Вперше запропоновано спосіб двостороннього геометричного нівелювання “вперед-назад” та розроблена теорія і методика його виконання. Перевагами способу полягає у можливості визначення сумарного кута  $\epsilon$  негоризонтальності променя візування і вертикальної рефракції, що дозволяє контролювати нестабільність горизонтального положення візирного променя в процесі нівелювання та вносити поправки за вертикальну рефракцію в реальному часі.

Теоретично і експериментально підтверджено можливість підвищення точності геометричного нівелювання способом двостороннього геометричного нівелювання “вперед-назад” в 42 раз, через врахування вертикальної рефракції.

Показано, що величина сумарного кута негоризонтальності візирного променя за період спостережень показала себе нестабільною величиною, а середнє квадратичне відхилення від середнього значення склало - 0.77", тоді як компенсатор нівеліра гарантує установалення променя візування в горизонтальне

положення з точністю 0.3". Цей факт вказує на присутність впливу вертикальної рефракції.

Розроблено спосіб компарування штрих-кодових рейок із застосуванням повіреного контрольного метра та фотофіксації відліків, який задовольняє вимогам точності компарування рейок для нівелювання I класу і може суттєво здешевити процес компарування.

Вперше створено лабораторний зразок нівеліра-рефрактометра геометричного типу з електронним рівнем, а його експериментальні дослідження підтвердили можливість визначати коефіцієнти вертикальної рефракції з граничною точністю 0.1 на віддалі до 30 м.

Теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена можливість оперативного та безпосереднього визначення вертикальної рефракції в реальному часі за спостереженнями зображення шкали нівеліра горизонтальним візирним променем у прямовисно встановленому плоскому дзеркальному відбивачі.

Розроблена методика та виконані дослідження ходу фокусувальної лінзи цифрових нівелірів із урахуванням вертикальної рефракції. Аналіз результатів вказує на необхідність автоматизованого вилучення цієї похибки.

У цілому розділ достатньо повно розкриває сучасні підходи і тенденції у даному напрямі досліджень.

У **четвертому** розділі «Підвищення точності тригонометричного нівелювання на важливих великих промислових об'єктах» розглянуто підвищення точності геодезичних моніторингових спостережень. Зокрема розглянуто теоретичні і практичні можливості застосування кореляційних зв'язків спостережуваних напрямів для прогнозу та врахування вертикальної рефракції з метою підвищення точності тригонометричного нівелювання в реальному часі спостережень.

На основі проведених досліджень, отримано в лінійному наближенні твердження: "У просторово стаціонарному випадковому полі приземної рефракції відношення математичних сподівань кутів динамічної (аномальної) рефракції по двох напрямках пропорційне відношенню дисперсій короткоперіодичних коливань зображень, відношенню еквівалентних висот до довжин ліній, а також коефіцієнту регресії часових процесів зміни рефракцій".

Запропоновану методику врахування впливу вертикальної рефракції на результати неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання було перевірено під час створення опорної геодезичної мережі для будівництва Бескидського тунелю.

Для встановлення можливості застосування наземних світловіддалемірних вимірів та тригонометричного нівелювання в 2012-2018 рр. було виконано високоточні лінійно-кутові вимірювання векторів на пунктах опорної геодезичної мережі Дністровської ГАЕС. Наземні лінійні спостереження виконано роботизованим тахеометром TCRP-1201. Вимірювання електронним тахеометром проведено в прямому і зворотному напрямі.

Максимальна с.к.п. визначення перевищення із двосторонніх неодноразових спостережень за період 2012-2016 рр. склала 3.9 мм для лінії п.Створний OGZ2-1A довжиною 1010 м.

Розроблені методи дозволяють підвищити точність і ефективність геометричного та тригонометричного нівелювань і впроваджено у автоматизованих системах моніторингу просторових деформацій великих інженерних споруд.

Доказана можливість застосування кореляційних взаємозв'язків рефракцій різних напрямів для визначення вертикальної рефракції.

Встановлено зв'язок між співвідношенням аномальних складових вертикальної рефракції, метеорологічних елементів, еквівалентних висот, флуктуацій zenітних віддалей і коефіцієнтом лінійної регресії zenітних відстаней між спостережуваними напрямками. Це дає можливість прогнозування вертикальної рефракції по спостережуваних напрямках.

Експериментально, на прикладі врівноваження мереж Бескидського тунелю, Дністровської ГАЕС, Теремле-Ріцької ГЕС, доказана можливість застосування неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання із урахуванням вертикальної рефракції за флуктуаціями zenітних відстаней по точності відповідній точності геометричного нівелювання II класу на лініях спостереження до 1 км.

Проведені експериментальні дослідження кореляційних взаємозв'язків спостережуваних напрямів на геодезичних моніторингових мережах Дністровської і Канівської ГЕС. Отримані величини зв'язку дають можливість застосування лінійної регресії для прогнозування поправок у виміряні величини викликані зовнішніми факторами в якості вагових коефіцієнтів.

Запропонована методика створення динамічної моделі просторового рефракційного поля побудованої за кореляційними зв'язками між напрямками спостереження. Встановлено, що вона у 2 рази підвищує точність результатів визначень перевищень.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації**

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають вимогам до такого виду досліджень. Високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, їх вірогідність, забезпечені: професійним вирішенням автором низки наукових завдань, що сприяло реалізації поставленої мети дослідження, та адекватністю структурно-логічної схеми дослідження визначеній меті: кожен наступний розділ чи підрозділ органічно пов'язаний з попереднім і доповнює його;

використанням широкої джерельної бази за темою дисертації і достатнім масивом аналітичних даних (список використаної літератури становить 158 найменування); відповідності предметної спрямованості дисертаційного дослідження паспорту наукової спеціальності 05.24.01 - геодезія, фотограмметрія та картографія; достатньо великою кількістю напрямів в апробації отриманих результатів на науково-практичних конференціях, у тому числі й міжнародних.

*Разом із тим дисертаційна робота Перія С.С. не позбавлена окремих недоліків і дискусійних питань. Аргументую деякі зауваження:*

1. В роботі розроблено теорію та сконструйовано лабораторний зразок нівеліра-рефрактометра, який визначає величину вертикальної рефракції у момент спостереження. Але не приведений розрахунок точності самого нівеліра-рефрактометра.



2. У третьому розділі дисертаційної роботи Обґрунтовані основні похибки геометричного нівелювання “із середини”. При цьому не достатньо розглянуті похибки геометричного нівелювання, такі як нагрів рейок та зміна кута негоризонтальності променя візування нівеліра під дією температури і т.п.
3. В роботі подано методикау тригонометричного нівелювання, яку можна застосовувати і під час сумісного прокладання полігонометричних і висотних ходів. На Бережанському науковому полігоні дисертантом було прокладено експериментальний полігонометричний хід із використанням роботизованого тахеометра TCRP-1201. При цьому слід було навести точність автоматизованого наведення роботизованого тахеометра на ціль.
4. Предметом дослідження в дисертаційній роботі є методи підвищення точності способів геометричного та тригонометричного нівелювань із застосуванням сучасних приладів та технологій. При цьому не приведено порівняльний аналіз двостороннього тригонометричного і двостороннього геометричного нівелювання.

#### **Висновок про відповідність дисертації вимогам Порядку присудження наукових ступенів**

З огляду на актуальність, новизну, важливість одержаних автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків вважаю, що дисертаційна робота Перія Сергія Сергійовича «Теоретико-експериментальне обґрунтування методів підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання» є самостійним, завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне наукове завдання підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання завдяки впровадженню та використанню сучасних технологій і приладів, врахування атмосферних впливів на результати геодезичних вимірювань у реальній атмосфері, що має суттєве значення для галузі науки «Геодезія».

На підставі вищезазначеного можна зробити висновок, що дисертаційна робота С.С. Перія відповідає вимогам МОН України, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, пп. 9, 11, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор, Перій Сергій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 - Геодезія, фотограмметрія та картографія.

Офіційний опонент

Професор кафедри міського  
будівництва і господарства  
інженерно технічного  
факультету Ужгородського  
національного університету,  
д.т.н



*[Signature]*  
Н.І.Каблак

Підпис Каблак Н.І. завіряю:  
Вчений секретар ДВНЗ «УжНУ»

*[Signature]*  
О.О.Мельник