

ВІДГУК

**офіційного опонента Куліковської Ольги Євгенівни
на дисертаційну роботу
Перія Сергія Сергійовича
« ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТРИГОНОМЕТРИЧНОГО ТА
ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія
05 – Технічні науки**

Дисертаційна робота **Перія Сергія Сергійовича** складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел із 158 найменувань. Загальний обсяг дисертації становить 284 сторінки, в тому числі ілюстрації складають 100 рисунків і 24 таблиці.

Актуальність теми дисертації

Загальновідомо, що бурхливе зростання міст в останні десятиліття супроводжується, з однієї сторони, повсюдним зведенням висотних будівель та інших великих споруд, з іншої – активним впливом на природне середовище. Будівництво великих міст і промислових майданчиків, видобуток корисних копалин, заповнення водосховищ тощо – все це провокує виникнення різних деформаційних процесів.

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.

Поява нових технологій дає нові можливості для моніторингу будівель, споруд та небезпечних геологічних процесів. Однак застосовувані технологічні рішення багато в чому відстають від потенційних, тобто при роботі з принципово новим обладнанням часто використовуються традиційні підходи. Розвиток геодезичного приладобудування не тільки дає багато нових можливостей, але і вимагає розробки спеціальних методик вимірювань і опрацювання даних.

Це також 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 і його впливу на точність спостережень, опрацювання результатів у реальному часі та висока точність прогнозування процесів.

Виходячи із приведеної вище аргументації, наукова робота, автор якої намагається на основі впровадження та використання сучасних технологій і

приладів, врахування атмосферних впливів на результати геодезичних вимірювань у реальній атмосфері досягти підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання, безумовно є актуальною.

Обрана тема дослідження відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки, що визначені законодавством України в сферах топографо-геодезичної діяльності. Дисертаційна робота співпадає з науковими напрямками кафедри вищої геодезії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань» та кафедри астрономії і геодезії НУ «Львівська політехніка» «Дослідження сучасних методів, геодезичних вимірювань та умов їх виконання і опрацювання».

Дослідження також пов'язано з планами, темами і науковою тематикою робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичний моніторинг та рефрактометрія» Інституту геодезії НУ «Львівська політехніка».

Базовими для роботи стали НДР «Визначення та прогноз просторових деформацій і напружень інженерних споруд Тересля-Ріцької ГЕС», держ. реєстр. № 0196U017612; «Визначення і прогноз деформацій будівель дросельного затвору Тересля-Ріцької ГЕС зосередженої у полі геодинамічних навантажень», держ. реєстр. № 0196U017613; «Дністровська ГАЕС. Визначення горизонтальних переміщень пунктів опорної геодезичної методом GPS» держ. реєстр. № 0117U0007363; «Виконання геодезичних спостережень за зміщеннями зсувів, опор та труб розташованих на ділянках нафтопроводів I та II черг Броди Держкордон 32км, 174км» держ. реєстр. № 0117U0004008; «Виконання робіт та надання послуг на користь «Укргідрсенорго» (замовник компанія «Leica Geosystems», Швейцарія). Значний обсяг досліджень проведено під час виконання та опрацювання результатів високоточних спостережень по створенню геодезичної основи для будівництва Бескидського тунелю.

Обґрунтування мети, завдань та напрямів дослідження

Автор поставив перед собою мету розв'язання науково-прикладної проблеми з підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання завдяки впровадженню та використанню сучасних технологій і приладів, врахування атмосферних впливів на результати геодезичних вимірювань у реальній атмосфері.

Аналіз стану проблеми, обґрунтування мети, завдань та напрямів дослідження виконано у вступній частині та в першому розділі дисертації «Аналіз методики і точності тригонометричного нівелювання».

Автором описано теорію тригонометричного нівелювання, досліджено точності одностороннього тригонометричного нівелювання в сучасних умовах, виконано обґрунтування точності вимірювання нахилених віддалей з метою забезпечення необхідної точності тригонометричного нівелювання та обґрунтування точності вимірювання зенітних відстаней для визначення перевищення тригонометричним нівелюванням.

Здобувачем здійснено розрахунок необхідної точності визначення коефіцієнта вертикальної рефракції для забезпечення точності визначення перевищення із одностороннього тригонометричного нівелювання, обґрунтовано точності визначення радіусу кривизни Землі, точності врахування відхилення прямовисних ліній для забезпечення точності нівелювання в геодезичній системі координат.

Заслуговують на увагу теоретичні дослідження щодо встановлення точності визначення висоти приладу та візирних цілей для забезпечення відповідної точності тригонометричного нівелювання. Детально описано зв'язок вертикальної рефракції з метеорологічними параметрами приземного прошарку атмосфери, методи визначення атмосферної вертикальної рефракції та метеорологічний спосіб визначення рефракції на наземних трасах.

У цілому, здійснені автором аналіз стану проблеми застосування методики і точності тригонометричного нівелювання в Україні, обґрунтування мети, завдань та напрямів дослідження слід вважати достатньо доказовим, вони базуються на аналізі понад 90 сучасних наукових публікацій та нормативних документів, в тому числі зарубіжних джерел. Висновки до розділу конкретні та відповідають його змісту.

Новизна висновків та рекомендацій, їх обґрунтованість і достовірність.

Ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи, сутністю автореферату та опублікованих праць Перія С.С. дозволяє зробити висновки щодо обґрунтованості й достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій виконаного дослідження.

Результати дисертаційної роботи Перія С.С. є вагомим внеском автора у формування ґрунтовної теоретичної та методологічної бази щодо підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання в сучасних умовах.

Автор виносить на захист такі основні результати:

1. Розроблено методику застосування неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання, яка по точності відповідає геометричному нівелюванню II класу на віддаль до 1 км із урахуванням вертикальної рефракції за кореляційними зв'язками взаємо-зворотних спостережень.

Це досить емний результат дослідження, якому присвячено практично увесь другий розділ дисертації. Він містить декілька часткових нових результатів, які варто було б виділити, зокрема:

– проведено детальний аналіз способів тригонометричного нівелювання із виконанням подвійних вимірювань перевищень, який показав їх перевагу перед одностороннім тригонометричним нівелюванням;

– доведено, що запропоновані 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 із використанням точності визначення різниць коефіцієнтів вертикальних рефракцій спостережуваних напрямів;

– рекомендовано застосовувати коефіцієнт рефракційного співвідношення для врахування вертикальної рефракції у двосторонньому тригонометричному нівелюванні. Зроблено висновок щодо можливості обчислення його за відношеннями інтегральних вертикальних градієнтів температури і еквівалентних висот, за співвідношенням виміряних флуктуацій зенітних відстаней або флуктуацій визначених перевищень спостережуваних напрямів;

– вперше запропоновано та апробовано спосіб визначення перевищення двостороннім тригонометричним нівелюванням без вимірювання висот приладу та візирних цілей, що підвищує точність і спрощує процес вимірювань у висотних ходах;

– експериментально доведено можливість застосування неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання для визначення висот пунктів у полігонометричних ходах мереж згущення.

Новизну результату можна кваліфікувати як узагальнення та систематизацію теоретичних і практичних досліджень з підвищення точності тригонометричного та геометричного нівелювання завдяки впровадженню та використанню сучасних технологій і приладів, врахуванню атмосферних впливів на результати геодезичних вимірювань у реальній атмосфері.

Обґрунтованість і достовірність цього результату підтверджується відповідністю розроблених методик вимогам національних нормативів в топографо-геодезичній сфері, застосуванням результатів напрацювань під час виконання робіт щодо створення геодезичної основи для будівництва Бескидського тунелю, моніторингових спостережень на Дністровській ГАЕС і Терезької-Ріцької ГЕС за практичною участю здобувача.

Зауваження і рекомендації до цього результату – удосконалена методика здійснення неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання по лініях довжиною до 1 км передбачає застосування одного тахеометра для виконання вимірювань, але залишилося відкритим питання точності автоматизованого наведення роботизованого тахеометра на ціль.

2. Розроблено теорію та методику виконання способу двостороннього геометричного нівелювання «вперед-назад».

Це другий суттєвий результат дослідження, якому присвячено практично увесь третій розділ дисертації. Він містить кілька окремих нових результатів, на яких варто було б зробити акцент, зокрема:

– теоретично і експериментально підтверджено можливість підвищення точності геометричного нівелювання способом двостороннього геометричного нівелювання «вперед-назад» в $\sqrt{2}$, 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 – $\pm 0.77''$, тоді як компенсатор нівеліра гарантує устанoвлення променя візування в горизонтальне положення з точністю $\pm 0.3''$;

– 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;

– 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 виконано дослідження ходу фокусувальної лінзи цифрових нівелірів із урахуванням вертикальної рефракції, що дозволило рекомендувати процедуру автоматизованого вилучення цієї похибки.

Новизну результату можна визначити як систематизацію теоретичних і експериментальних досліджень з розробки способу нівелювання «вперед-назад», перевагами якого є можливість визначення сумарного кута 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.

Обґрунтованість і достовірність цього результату затверджується відповідністю розроблених методик вимогам національних нормативів в топографо-геодезичній сфері, а також практичною реалізацією і впровадженням розроблених методик під час виконання безперервних моніторингових спостережень на Дністровській і Канівській ГЕС за безпосередньою участю здобувача.

Зауваження і рекомендації до цього результату – Автором виконаний змістовний аналіз основних похибок геометричного нівелювання. Показано, що найбільш не вирішеною на сьогоднішній час залишається проблема врахування вертикальної рефракції в процесі виконання нівелювання. В той же час не розглянуто деякі інші похибки геометричного нівелювання, такі як нагрів рейок та зміна кута негоризонтальності променя візування нівеліра під дією температури тощо.

3. Запропоновано методикy обчислення еквівалентної висоти променя нівелювання за відлічуванням рейки і висоти нівеліра та її застосування для автоматизованого врахування вертикальної рефракції.

Цей результат висвітлений у пункті 1.2.3 дисертації. Відомо, що відсутність врахування вертикальної рефракції може ввести великі похибки у виміряне перевищення. Коефіцієнт вертикальної рефракції, у залежності від умов спостереження і стратифікації атмосфери, може змінюватись у межах від -2 до +2 у екстремальних випадках і більше. Виконаний здобувачем аналіз

точності вимірювання перевищення від точності визначення коефіцієнта вертикальної рефракції дозволив запропонувати методику обчислення еквівалентної висоти променя нівелювання за відлічуванням рейки і висоти нівеліра.

Новизну результату можна кваліфікувати як підвищення точності визначення коефіцієнта вертикальної рефракції за рахунок збільшення точності визначення інтегрального градієнта температури повітря та вибору ліній спостереження із великими еквівалентними висотами проходження променя над підстильною поверхнею. Безсумнівно це корисний результат і для подальших досліджень.

Обґрунтованість і достовірність цього результату підтверджується коректністю використання широкого кола загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, математичних методів і моделей, статистичних та експериментальних матеріалів, зібраних і опрацьованих особисто здобувачем.

4. Розроблено теорію та спосіб побудови динамічного просторового рефракційного поля для геодезичних моніторингових спостережень із використанням кореляційних взаємозв'язків спостережуваних напрямів у реальному часі.

Даний результат дослідження детально представлено у п. 1.4.3 і п. 4.6. Неупереджений аналіз раніш виконаних наукових робіт, застосування сучасних можливостей математичного і статистичного апаратів дозволив здобувачеві виконати моделювання рефракційних полів шляхом перерахунку рефракції з еталонного напрямку на інші. Запропоновано для визначення коефіцієнта рефракційного співвідношення застосувати емпіричну залежність, яка оснований на флуктуаціях зенітних віддалей по даним напрямкам спостереження з урахуванням довжини лінії візування. При цьому, точність визначення коефіцієнта вертикальної рефракції за коливаннями зображень залежить від точності вимірювання самих флуктуацій і від віддалі.

Новизну результату можна визнати як розширення способів прогнозування вертикальної рефракції на спостережувані візирні цілі шляхом вибору найбільш стабільного і характерного напрямку, по якому визначається рефракція і на основі її величини перераховується на інші напрями.

Обґрунтованість і достовірність цих результатів забезпечується використанням великого масиву реальних даних в експериментах, правильним використанням математичного апарату для визначення функціональних залежностей та їх коректним аналізом. Апробація побудованих динамічних моделей просторових рефракційних полів за результатами геодезичних моніторингових спостережень на Дністровській і Канівській ГЕС дозволила підвищити точність результатів спостережень у два рази.

5. Розроблено теорію визначення вертикальної рефракції за спостереженням зображення у прямовисно встановленому дзеркальному відбивачі.

Заслуговує уваги створений вперше автором 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.

Розгорнуто описано сформульовану теорію у п. 3.7 і п. 3.8 дисертації.

Новизну результату можна кваліфікувати як розроблення способу виконання спостережень зображення у прямовисно встановленому дзеркальному відбивачі для юстування геодезичних приладів (теодолітів, тахеометрів, нівелірів). На основі запропонованої теорії сконструйовано нівелір-рефрактометр, який дозволяє безпосередньо визначати вертикальну рефракцію в реальному часі спостережень.

Обґрунтованість і достовірність цих результатів підтверджується використанням апробованих в геодезичному виробництві технологій, коректним застосуванням напрацьованих статистичної фізики атмосфери, строгим використанням методів кореляційного і регресійного аналізів, результатами апробації під час виконання НДР.

Зауваження і рекомендації до цього результату – Автором дослідження розроблено і запропоновано методичку та технологічну схему застосування нівеліра-рефрактометра для автоматизації геометричного нівелювання з врахуванням вертикальної рефракції і в той же час не приведений розрахунок його точності.

Четвертий розділ дисертації «**Підвищення точності тригонометричного нівелювання на важливих великих промислових об'єктах**» має прикладне спрямування, значний за обсягом (57 сторінок), містить результати практичної реалізації розроблених теорій, методик і моделей.

Автор приводить результати дослідження кореляційних взаємозв'язків між рефракціями різних напрямів спостереження; аналізує встановлений кореляційний зв'язок для визначення вертикальної рефракції із двосторонніх спостережень; виконує порівняння застосування двостороннього тригонометричного нівелювання з геометричним під час будівництва геодезичної основи Бескидського тунелю; наводить дані щодо застосування тригонометричного нівелювання для геодезичних моніторингових спостережень на Дністровській ГАЕС і напірного водопроводу на Теребле-Річській ГЕС.

Автором доведено ефективність вирішення прикладних задач геодезичного моніторингу з використанням запропонованих та розроблених теорій, методик і моделей на важливих великих промислових об'єктах.

В цілому, приведені в четвертому розділі технологічні моделі та приклади практичної реалізації підвищення точності геометричного і тригонометричного нівелювань дають змогу автору **практично підтвердити достовірність та правомірність** одержаних науково-прикладних результатів дослідження.

Недоліки та зауваження до змісту дисертації, дискусійні питання

В доповнення до зауважень та рекомендацій, поданих в попередньому пункті відгуку, вважаю за доцільне зупинитися на таких зауваженнях до змісту

та оформлення дисертації:

1. Не виконано порівняльний аналіз двостороннього тригонометричного і двостороннього геометричного нівелювання.

2. На стор. 41 дисертації одержані найвагомійші результати дослідження автор не коректно іменує «Основні положення, що виносяться на захист».

3. Під час розкриття наукової новизни здобувач зазначає, що уперше (із списку номер 2, стор. 37 дисертації; стор. 3 автореферату) «Розроблено спосіб двостороннього геометричного нівелювання «вперед-назад», який дозволяє підвищити точність нівелювання завдяки польовому контролю на лінії нівелювання та частковому врахуванню вертикальної рефракції». На мою думку, дійсно результат дослідження вагомий, але у такій редакції не відображає повністю сутність цього результату.

4. На стор. 250 автор зазначає, що «величина коефіцієнта кореляції вказує на сильний зв'язок незважаючи на різне розташування точок спостереження». При цьому коефіцієнти кореляції мають значення від 0,08 до 0,85 (рис. 4.32 – 4.38). До якого зв'язку, між якими змінними відноситься дана фраза?

5. У п. 2.7 «Застосування двостороннього тригонометричного нівелювання у нівелірних ходах без вимірювання висот приладу і візирних цілей» на стор. 120, стор.121, стор. 126 (рис. 2.11, 2.12, 2.15) наведено схеми трьох висотних тригонометричних ходів. Для кращого сприйняття і розуміння застосування розробленої методики і технології бажано було б відобразити пункти із прив'язкою до ситуації і таким чином оцінити місце розташування експериментального полігону.

6. Необхідно зауважити на те, що:

– розділ 1 має іноді загальновідому інформацію, через це його обсяг сягає 53 сторінок (достатньо було зробити посилання на наукові праці із списку використаних літературних джерел);

– п. 1.2.6 «Обґрунтування точності визначення висот приладу та візирних цілей для забезпечення точності тригонометричного нівелювання» має всього 15 рядків. Виникає питання: чому ці результати так відокремлено?

– п. 4.2 (стор. 212) починається із рис. 4.1 «Геометричний зміст двосторонніх спостережень з врахуванням вертикальної рефракції» і передуює посиланню на нього у тексті.

7. В різних розділах дисертації графічні схеми мають дещо різний стиль оформлення (рис. 5, рис. 6, рис. 10 автореферату, рис. 1.11 і рис. 3.10 дисертації). Для кращого сприйняття змісту дисертації доцільно було б уніфікувати ці стилі, використовувати однаковий формат створення рисунків. Наприклад, незрозумілими залишаються позначення x і y на рис. 4.32 – 4.39.

8. В цілому зміст дисертації викладено сучасною технічною українською мовою, але мають місце граматичні неточності типу: «в якості основних вимірювальних засобів за горизонтальними зміщеннями пунктів геодезичної мережі використовуються ...» (стор. 223) – коректно українською «як основні вимірювальні засоби використовуються...»; «...оскільки розташовані поза межами дії деформацій об'єкту досліджень» (стор. 257) – для родового

відмінка чоловічого роду вірно «... об'єкта досліджень»; замість «GNSS-вимірювання» – «GPS-вимірювання» (стор. 225) тощо.

Вказані вище зауваження не мають принципового значення, скоріше носять стилістичний і технічний характер, та не зменшують наукову та практичну цінність результатів роботи.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях

Основні результати і положення дисертаційної роботи в повній мірі викладено у 48 друкованих працях, із них: 30 публікацій у наукових фахових виданнях, з яких 6 у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, що включені до наукометричних баз даних, і 24 публікації у наукових фахових виданнях України; 8 патентів України; 1 колективна монографія та 9 статей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

В працях автором відображені та аргументовані основні положення проведеного дослідження, його наукова і практична значимість.

Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, у роботі використано лише ті поняття, розрахунки та положення, які становлять особистий внесок автора. Наукові положення і результати, що виносились на захист у кандидатській дисертації, не використовувались.

Основні положення та результати наукових досліджень пройшли апробацію на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях та семінарах.

Текст автореферату дисертації відповідає основним положенням та результатам дисертації.

Зміст роботи викладено сучасною науково-технічною діловою мовою, характеризується послідовним поданням матеріалу, конкретними висновками та рекомендаціями. Автор показав широке знання наукових робіт попередників, виконав об'єктивний аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень. Критичні зауваження сформульовані в коректній формі.

Загальні висновки

Праця Перія Сергія Сергійовича відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія, зокрема за напрямком *«Основні геодезичні роботи на суходолі - засоби та методи виконання вимірів, астрономічні спостереження й системи глобального позиціонування, розвиток астрономо-геодезичних мереж і мереж перманентних станцій як основи для виконання геодезичних робіт на території країн і континентів...»*.

Назва дисертації відповідає змісту роботи. Методичний рівень досліджень забезпечив одержання в повному обсязі вірогідної інформації, достатньої обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність.

Дисертація Перія Сергія Сергійовича є завершеною працею, у якій розв'язано складну науково-прикладну проблему підвищення точності й ефективності тригонометричного та геометричного нівелювань.

Одержаний науковий результат може бути підґрунтям для подальших теоретичних і прикладних досліджень, які направлені на розробку засобів та методів виконання основних геодезичних робіт.

Згідно «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» дисертаційна робота Перія Сергія Сергійовича за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю та редакційним оформленням відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до докторських дисертацій.

Викладене дає підстави зробити загальний висновок, що здобувач Перій Сергій Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія, 05 – технічні науки.

**Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри геодезії
ДВНЗ «Криворізький національний університет»**

О.Є. Куліковська
«19» 11 2019 р.

