

ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри геодезії, землеустрою та геоінформатики
Ужгородського Національного університету, доктора технічних наук

Каблак Наталії Іванівни

на дисертаційну роботу **Брусака Івана Віталійовича**

«ОЦІНКА ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНОСТІ ТА НЕПРИПЛИВНИХ АТМОСФЕРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ДЕФОРМАЦІЇ ЗЕМНОЇ КОРИ ЗА ДАНИМИ ГНСС-ВИМІРІВ»

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (галузь знань 10 «Природничі науки»)

Одним із способів дослідження деформацій земної кори, як для значних за площею територій, так і великих інженерних споруд є використання даних часових серій координат ГНСС-станцій. Часто аналізуючи часові серії координат мереж ГНСС-станцій помітні одночасні зміщення декількох станцій. При виключені групи інструментальних похибок можна припускати, що такі зміщення викликані геофізичними факторами: припливними, неприпливними навантаженнями чи процесами в надрах планети. У даній роботі розглянуто два фактори: сейсмічність та неприпливні атмосферні навантаження. Вибір теми дослідження і її актуальність зумовлені необхідністю виявлення та аналізу аномальних зміщень у мережі ГНСС-станцій. Для пошуку взаємозв'язків між деформаціями за вплив землетрусів та ГНСС-даних часто оперують багаторічними рядами даних, кількість набору яких постійно зростає.

Актуальність теми дисертації.

На сьогодні оцінка сучасних геодинамічних процесів та моніторинг великих інженерних об'єктів часто ґрунтується на аналізі часових рядів координат ГНСС-станцій, які отримані супутниковим методом спостереження. У часових серіях координат ГНСС-станцій можна виділити тривалі лінійні тренди і короткотривалі нелінійні зміни, спричинені як глибинними геодинамічними і сейсмічними процесами, так і деформаціями земної поверхні під дією приливних чи неприливних навантажень. Автор детально досліджує вплив двох явищ: сейсмічності та неприливних атмосферних навантажень на деформації земної кори ґрунтуючись на великому експериментальному матеріалі. Дана тема є актуальною з точки зору виявлення та прогнозування часових змін координат ГНСС – станцій шляхом врахування впливу геофізичних явищ.

Обґрунтованість наукових положень висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційна робота І.В. Брусака «Оцінка впливу сейсмічності та неприливних атмосферних навантажень на деформації земної кори за даними ГНСС-вимірів» складається з анотації, вступу, трьох розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 170 сторінок, у тому числі 124 сторінки основної частини, включаючи 57 рисунків, 15 таблиць та 159 позицій списку літератури.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, сформульовано мету, методи і задачі досліджень, охарактеризовано основні наукові результати та їх

новизну. Метою дисертаційної роботи є виявлення деформацій земної кори за даними ГНСС-станцій спричинених землетрусами та неприпливними атмосферними навантаженнями, проведення досліджень причин цих зміщень та розроблення інтерпретації. Тобто, автор ставить перед собою мету опрацювати дані вимірювань з ГНСС- станцій та спрогнозувати часові зміни координат ГНСС-станцій на основі геодинамічної інтерпретації.

У першому розділі розглянуто стан досліджень впливу різних факторів на деформації земної кори за ГНСС-даними, та детально приділено увагу сейсмічності та неприпливним атмосферним навантаженням. За результатами аналізу літературних джерел проаналізовано особливості методики досліджень різних факторів впливу на результати ГНСС-вимірів.

Автор зазначив, що на сьогодні для оцінки сучасної геодинаміки територій та моніторингу великих інженерних об'єктів прийнято використовувати аналіз часових серій постійно діючих ГНСС-станцій. Вагомою перевагою над іншими класичними геодезичними чи геофізичними методами є те, що метод може застосовуватись як для визначення глобальної чи регіональної геодинаміки територій, так і для локальних об'єктів. При цьому кількість даних з часом накопичується, густина розміщення ГНСС-станцій постійно збільшується. Як правило, модель руху часових серій координат ГНСС-станцій можна охарактеризувати чотирма основними частинами: тривалий лінійний тренд (тренд), стрибки, періодичні (сезонні) складові та моделі постсейсмічної деформації

Автор робить висновок, що геодинамічні зміщення, що характерні для декількох ГНСС-станцій певної мережі, які відносно близько розташовані, переважно, спричинені геофізичними факторами. Для аналізу та правильного врахування таких факторів важливим є розроблення методики пошуку одночасних зміщень ГНСС-станцій мережі. Неприпливні атмосферні навантаження, можуть деформувати земну поверхню до 20-30 мм.

У другому розділі розглянуто вплив неприпливних атмосферних навантажень та сейсмічності на регіональну геодинаміку.

Опрацювання даних перманентних ГНСС-станцій мережі Геотерраса є однією із задач Інституту геодезії, Національного університету «Львівська політехніка», що забезпечує функціонування цієї державної мережі. Для задач геодинаміки одними із основних даних слугують добові розв'язки перманентних ГНСС-станцій, що включають набір геодезичних планових координат та геодезичної висоти для однієї станції на день. Станом на початок 2020 року центр опрацювання Інституту геодезії, Національного університету «Львівська політехніка» аналізував дані близько 30 перманентних станцій на території України та 10 станцій на території Польщі.

В роботі показано два експериментальних дослідження. Перше – виявлення та оцінка висотного зсуву ГНСС-станцій в кінці грудня 2019 р. на території континентальної Європи. Досліджуване геодинамічне явище просідання на території заходу України за станціями 68 мережі Геотерраса тривало від 4-ох до 9-ти днів. Усі станції впродовж явища зазнали просідання по висоті: найменший висотний зсув у станції BRGN, Бережани $\Delta h = -6$ мм, а найбільший – станції SOLT, Солотвино $\Delta h = -27$ мм. Швидкість зміщень за добу V_h варіюється досить сильно від -1.0 до $-4,7$ мм/день. Виходячи з методики

оцінки обґрунтовано висновок про зв'язок висотного зсуву з особливостями геологічної будови регіону. Друге - досліджено просторово-часові взаємозв'язки між узагальненою сейсмічністю і горизонтальними деформаціями у Карпато-Балканському регіоні за даними сейсмологічних спостережень та ГНСС-вимірів. Виявлені зони високої кореляції між сейсмічністю і горизонтальними деформаціями співпадають з активними тектонічними розломами і зонами субдукції тектонічних плит. Підсумовуючи дослідження, автор зазначає, що висотний зсув у часових серіях ГНСС станцій до 20-30 мм за такий короткий період до 10 днів під впливом NTAL є важливим фактором для ГНСС-моніторингу великих інженерних об'єктів таких як ГЕС, ГАЕС, АЕС, особливо враховуючи неоднорідність геологічної будови довкола станцій. Важливо зазначити, що короткотривалі висотні зміщення виявлені у грудні 2019 року на території Європи не є одноразовою подією. Далі у дисертаційному дослідженні на прикладі усієї ГНСС-мережі Дністровської ГЕС-1 показано короткотривалі висотні зміщення у лютому 2021 року та на прикладі станцій греблі Дністровської ГЕС-1 висотні зміщення на епохи 2017.8, 2019.0 та 2019.4.

У **третьому** розділі наведено результати дослідження впливу сейсмічності та неприливних атмосферних навантажень на деформації великих інженерних об'єктів на прикладі Дністровської ГЕС-1. З метою виявлення короткотривалих зміщень земної поверхні, дисертантом запропоновано та апробовано метод статистичного аналізу часових серій ГНСС-станцій. Такий метод може застосовуватися для густих ГНСС-мереж на промислових об'єктах. У розділі розглянуто наведену сейсмічну активність району розміщення Дністровського енергокомплексу, яку дисертант пов'язує з активністю водонаповнення водосховища. У розділі також виконано диференціацію деформацій висотних зміщень ГНСС-станцій Дністровської ГЕС-1, під впливом неприливних атмосферних навантажень. Автор робить висновок, що аномальні зміщення можуть бути викликані особливостями будови і динаміки земної кори конкретного регіону, що особливо помітно на великих інженерних об'єктах.

Унаслідок експлуатації впродовж півстоліття ряд геодинамічних явищ можуть призвести до активізації деформаційних процесів інженерних споруд, до загибелі людей, аварій, руйнувань та матеріальних збитків. Оскільки греблі становлять найвищу гідродинамічну небезпеку техногенного характеру, то вони потребують детального геодезичного моніторингу

У **висновках** наведено основні результати роботи. Достовірність наукових і практичних результатів підтверджується узгодженістю теоретичних напрацювань з наявними експериментальними даними, а також апробацією одержаних результатів в опублікованих роботах і на конференціях різного рівня.

Узгодження і висновки, викладені в дисертації досить аргументовані теоретичними розробками і експериментальними даними, що свідчить про належний рівень компетенції та професійної кваліфікації здобувача.

Новизна наукових положень і практичне значення отриманих результатів.

У дисертаційній роботі автором запропоновано новий підхід, щодо виявлення короткотривалих зміщень земної поверхні за статистичним аналізом часових рядів зміни координат ГНСС-станцій. Для території континентальної Європи виявлено просторово-часовий розподіл короткотривалих вертикальних

деформацій земної поверхні. Під впливом неприпливних атмосферних навантажень оцінено вплив геологічної будови території Дністровської ГЕС-1 на кінематику ГНСС-станцій. Встановлено зв'язок між наведеною сейсмічністю та змінами об'єму Дністровського водосховища.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні положення дисертації опубліковані у 7 наукових працях. Опубліковані праці відповідають пункту 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р., з них: 1 публікація у науковому фаховому виданні України, 2 – у науковому періодичному виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз, 1 публікація у науковому виданні, яке додатково відображає наукову цінність дисертації, та 3 публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та які додатково відображають наукові результати дисертації».

Результати наукових досліджень, що включені до дисертації, доповідались і обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Дискусійні положення, зауваження та пропозиції.

Відчутно, що автором виконано значну частину експериментальних досліджень щодо впливу сейсмічності та неприпливних атмосферних навантажень на деформації земної кори за ГНСС-даними.

Проте, у роботі (розділ 2) наводиться висновок, що вивільнена сейсмічна енергія може у свою чергу привести до вертикальних і горизонтальних деформацій і цей процес має циклічний характер. Але досліджень, щодо циклічності, автор не наводить.

У розділі 3 автор запропонував метод виявлення короткотривалих зміщень земної поверхні за статистичним аналізом часових серій зміни координат ГНСС-станцій, який дозволяє автоматизувати цей процес. Алгоритм можна використовувати для диференціації кінематики конструктивних елементів інженерних споруд, промислових територій, геодинамічних полігонів, на території яких встановленні ГНСС-станції. Апробація методики виконана для узагальнення диференціації кінематики греблі Дністровської ГЕС-1, ГНСС-станцій мережі Геотерраса. Тобто немає чіткого пояснення щодо запропонованої методики, методу чи алгоритму.

У тексті роботи не всі рисунки мають підписані шкали. Також, слід більш детально, звернути увагу на оформлення списку використаних джерел.

Основні результати наукових досліджень, які представлені у дисертаційній роботі в достатній мірі висвітлені у 7-ми наукових працях. Але можливо варто було б розширити географію публікацій (не тільки у виданнях Львівської Політехніки).

Відповідність змісту анотації основним положенням дисертаційної роботи.

Зміст анотації повністю відображає основні положення дисертаційної роботи та відповідає змісту розділів дисертації, містить основні результати виконаних досліджень і дає змогу достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну цінність. Стиль викладення матеріалу у дисертації та анотації

відповідає загальноприйнятим вимогам. Анотація оформлена згідно вимог ДАК МОН України.

Висновок про дисертацію в цілому та її відповідність чинним вимогам.

Дисертаційна робота Івана Брусака «Оцінка впливу сейсмічності та неприливних атмосферних навантажень на деформації земної кори за даними ГНСС-вимірів» є завершеною науковою працею і відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами внесеними від 12.07.2019), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 зі змінами внесеними від 22.03.2022).

Професорка кафедри геодезії,
землеустрою та геоінформатики
Ужгородського Національного університету,
професор, доктор технічних наук

Каблак Наталія Іванівна

Підпис Н.І.Каблак засвідчую
Вчений секретар к.т.н.



О.О.Мельник