

ВІДГУК

офіційного опонента

доцента кафедри геодезії та картографії Національного університету водного господарства та природокористування, кандидата технічних наук, доцента

Тадєєва Олександра Антоновича

на дисертаційну роботу **Сосонка Ірини Іванівни**

«Аналіз та оцінка якості часових серій координат референціальних GNSS-станцій України»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (галузь знань 10 «Природничі науки»)

Актуальність теми дослідження. Метод GNSS останніми роками набув широкого практичного застосування у вирішенні задач різних природничих наук у розрізі моніторингу системи «Земля», а також вирішенні багатьох прикладних геодезичних задач. Вирішення таких задач досягається завдяки використанню часових рядів координат GNSS-станцій. Визначення координат станцій розглядається у контексті вирішення проблеми «шум-сигнал» ряду з урахуванням його амплітуди і зміщень. Дані для часових рядів координат отримують з первинних результатів GNSS-спостережень шляхом використання різних стратегій їх опрацювання, які реалізуються використанням відповідних пакетів спеціалізованого програмного забезпечення. Будь-який з них переслідує мету врахування і мінімізації впливу джерел похибок різного походження для визначення оптимістичних показників сигналу координатного ряду. Залежно від характеру сигналу та факторів, що спричиняють зміни часового ряду, необхідне використання методів фільтрації для виділення складових сигналу, наприклад, тектонічного походження, сезонних коливань тощо. Ці методи покликані забезпечити розділення впливу систематичних і залишкових похибок ряду. Вирішення такого завдання складає предмет одного з найбільш актуальних сучасних досліджень окресленої проблеми.

У власних дослідженнях автор акцентує увагу на використанні методів статистичного аналізу для врахування джерел систематичних та оцінки залишкових похибок ряду. Використовуються класичний підхід до вирішення проблеми, який заснований на концепції нормального закону розподілу залишкових похибок ряду (закон Гаусса) і альтернативний підхід, який ґрунтується на використанні нетрадиційних (негаусових) законів розподілу

похибок. Здобуття кінцевих розв'язків шляхом поєднання обох підходів – це інноваційне сучасне вирішення проблеми. Цим, власне, й визначається актуальність вибору теми досліджень дисертаційної роботи.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки, у тому числі 97 сторінок основної частини, включаючи 22 рисунки, 27 таблиць та 146 позицій списку літератури. Всі положення в дисертації викладені у логічній послідовності.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання досліджень, визначено предмет та об'єкт дослідження, а також наукова новизна і практичне значення отриманих результатів дослідження.

У розділі 1 «Аналіз методів опрацювання GNSS-даних та створення часових серій координат» розглянуто методи дослідження часових серій координат. Класичні методи дослідження часових серій координат дозволяють виключати відомі джерела похибок з достатньо високою точністю незалежно від використаних методів опрацювання даних та їх чисельності. При великій вибірці спостережень класичні методи неспроможні виявляти залишкові похибки. У цьому випадку доцільно залучати некласичні методи аналізу.

У розділі 2 «Фільтрація та аналіз часових серій координат» розглянуто процедуру аналізу часових серій координат. Фільтрування часових серій від лінійного тренду, річних сигналів, випадкових значень та зсувів дозволило вилучити систематичні похибки та випадкові значення, що забезпечило згладжування часових серій координат. Порівняння отриманих значень середніх квадратичних похибок до та після проведення процедури фільтрації показало, що застосування класичних методів аналізу часових серій дозволяє зменшити вплив різного роду похибок в середньому на 40-50% для всіх складових координат. Проведення фільтрації для мережі станцій України дало змогу виконати уточнення координат окремих станцій.

У розділі 3 «Математичний апарат для аналізу часових серій координат» розглянуто класичні методи та некласичний метод аналізу часових серій координат. Виявлено, що кореляція між окремими станціями мережі може досягати значних величин, через що часові серії містять похибки загального

режиму (Common Mode Errors, CME). Вони можуть бути вилучені класичними методами. Використання просторово-часової фільтрації, методу найменших квадратів, оцінки максимальної правдоподібності дало змогу зменшити вплив цих похибок в середньому на 40%. Проте подальший аналіз отриманих часових серій, наприклад, при порівнянні різних періодів спостережень, показав, що результати значно відрізняються в залежності від обраного методу опрацювання. Це вказує на наявність залишкових похибок, виявити які класичними методами неможливо. Застосування неklasичної теорії похибок вимірів передбачається при математичному опрацюванні великих обсягів спостережень, оскільки вони не підпорядковуються нормальному закону розподілу. Апробація неklasичних методів на перманентних станціях України, які включені до мереж IGS та EPN, показала, що ймовірність того, що виміри є вибірковими із нормальної генеральної сукупності відповідно змінюється в межах від 0.001 до 0.92. Це посвідчило, що розподіли похибок вимірів не підпорядковуються нормальному закону.

У розділі 4 «Методика оцінки придатності GNSS-станцій для геодинамічних досліджень» було розроблено та реалізовано методику оцінки точності визначення координат та оцінки придатності GNSS-станцій для потреб геодинаміки. Апробація методики проведена на перманентних станціях Європи, що відносяться до різних класів точності. Перевірка нормального закону розподілу для вимірів на станціях, що віднесені до категорії точності C0, підтвердила гіпотезу їх підпорядкованості нормальному закону: ймовірності $p(\chi^2)$ того, що виміри на станціях є вибірковими з нормальної генеральної сукупності склали від 0,14 до 0,98 для всіх складових координат. Для станцій категорії точності C6 ця перевірка показала, що $0,001 < p(\chi^2) < 0,16$. Це посвідчило наявність слабких не вилучених систематичних похибок. Практичне застосування методики проведено для аналізу 72 референсних станцій України. За отриманими значеннями асиметрії, ексцесу, емпіричних розподілів та значень ймовірностей реалізовано класифікацію станцій з точки зору придатності для використання в геодинамічних дослідженнях.

Узагальнення і висновки, викладені у тексті дисертації, цілком аргументовані, що свідчить про належний рівень наукової компетенції та професійної кваліфікації здобувача наукового ступеня.

Достовірність наукових і практичних результатів підтверджується використанням сучасних наукових методів, збіжністю даних теоретичних досліджень з результатами експериментальних досліджень, апробацією результатів на конференціях різного рівня.

Новизна наукових положень і практичне значення отриманих результатів. Поставлені і вирішені завдання, пов'язані з встановленням придатності перманентних GNSS-станцій до розв'язування задач геодинаміки на основі використання неklasичної теорії похибок вимірів. Ступінь наукової новизни дисертаційних досліджень визначають наступні основні результати:

- розроблено методика оцінювання точності координат станцій GNSS-спостережень неklasичною теорією похибок вимірів;
- підтверджено дію не вилучених із вимірювань чи опрацювання джерел похибок у часових серіях координат;
- розроблено та реалізовано методика виявлення придатності результатів спостережень окремих GNSS-станцій для задач геодинаміки.

Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані числові значення емпіричних розподілів координат станцій із застосуванням розробленої методики дозволяють розробити класифікацію референцних станцій України для їх використання при розв'язуванні задач геодинаміки.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. Основні положення дисертації опубліковано у 13 наукових працях. Серед них: 1 публікація у науковому періодичному виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз даних, 1 публікація у науковому виданні, яка додатково відображає наукову цінність дисертації, 1 публікація у науковому фаховому виданні України, 1 публікація у науковому періодичному виданні іншої держави, яке включено до міжнародних наукометричних баз, 9 публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та які додатково відображають наукові результати дисертації.

Опубліковані праці відповідають п.11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 року.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. За результатами перевірки дисертації на наявність ознак академічного плагіату

встановлено коректність посилань на першоджерело для текстових та ілюстративних запозичень. На цій підставі можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності в дисертації здобувача Сосонка І.І. «Аналіз та оцінка якості часових серій координат референцних GNSS-станцій України».

Дискусійні положення та зауваження по дисертації.

За результатами аналізу дисертаційної роботи висловлюю такі **зауваження**.

1. Формулювання завдань дисертаційних досліджень (стор. 23, 24) не співпадає з констатацією отриманих результатів, які складають ступінь наукової новизни роботи (стор. 24), а також із загальними висновками (стор. 128, 129).

2. Відсутній перелік використаних методів дослідження у вступі (стор. 24). Використовувані в роботі методи потрібно конкретизувати.

3. У п. 1.2.2 подано детальний аналіз наукового програмного забезпечення опрацювання GNSS-даних, зокрема, Bernese, GAMIT/GLOBK, GIPSY/OASIS. Виходячи із завдань, які поставлено у роботі, варто було б додати до аналізу комбіноване GAMIT-GIPSY програмне забезпечення QOCA (JPL Comb). З точки зору використання координатних розв'язків для потреб геодинаміки, QOCA представляє особливий прикладний інтерес.

4. На стор. 99 невірно вказано межі значень ексцесу, зокрема, $6 \leq \varepsilon \leq 1,2$.

5. Занадто часто у тексті дисертації замість слова «тобто» чи його синонімів вживається аббревіатура «т.е.».

Крім того, є **зауваження, що мають дискусійний характер**. У підрозділі 4.5 для проведення експерименту обрано GNSS-станції України з тривалістю спостережень на них до двох років. В умовах відносної тектонічної стабільності території України такого короткого періоду спостережень може бути недостатньо, щоб отримати оцінки координат і зміщення станцій міліметрового порядку точності. Сантиметровий порядок точності не забезпечить об'єктивне оцінювання зміщень. З цієї точки зору є небезпека отримати занадто оптимістичні результати застосування розробленої автором методики з метою класифікації GNSS-станцій щодо їх придатності для геодинамічних досліджень. Але навіть якщо так, то подану класифікацію станцій варто було б доповнити і обґрунтувати з точки зору середніх квадратичних оцінок точності координат.

Вважаю, що наведені зауваження не знижують загальної цінності дисертаційної роботи, новизни та значущості одержаних результатів і не є підставою піддавати сумнівам досягнення автора. Врахування зауважень посвідчило б ще більшу вагомість проведених досліджень та їх результатів.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України.

Дисертаційна робота здобувача Сосонка І.І. «Аналіз та оцінка якості часових серій координат референцних GNSS-станцій України» є завершеною науковою працею, яка містить нові теоретичні положення і науково обґрунтовані експериментальні результати, що в сукупності є істотними для розвитку сучасної геодезії в частині дослідження результатів моніторингу Землі GNSS-методом, їх аналізу і використання для потреб геодинаміки.

Дисертація «Аналіз та оцінка якості часових серій координат референцних GNSS-станцій України» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами від 31 травня 2019 року), «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 року, а її автор Сосонка Ірина Іванівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (галузь знань 10 «Природничі науки»).

Офіційний опонент,
доцент кафедри геодезії та картографії
Національного університету водного
господарства та природокористування,
кандидат технічних наук, доцент



О.А. Тадеєв

Підпис О.А. Тадеєва засвідчую:

Вчений секретар Національного університету
водного господарства та природокористування



А.А. Подлевський