

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Яковенко Михайла Сергійовича «ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА ІНКЛІНОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 193 – Геодезія, фотограмметрія та землеустрій

Актуальність обраної теми. Дослідження М. С. Яковенка присвячене надзвичайно актуальній науково-практичній проблемі — розробки та впровадження технології комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу деформацій будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах. Актуальність теми обумовлена одночасно кількома факторами: інтенсивною урбанізацією, зростанням щільності забудови, активним використанням глибоких котлованів у складних інженерно-геологічних умовах, поширеністю зсувних процесів та збільшенням масштабу геотехнічних ризиків. Для України додаткову актуальність створює сучасна безпекова ситуація: масове пошкодження житлових і промислових будівель унаслідок вибухових навантажень та ударів різного типу, що спричинило безпрецедентну потребу в оперативній і достовірній діагностиці технічного стану конструкцій.

Традиційні методи геодезичного контролю (нівелювання, кутові та лінійні вимірювання, GNSS) забезпечують високу точність визначення переміщень конструкцій. Водночас вони не розкривають просторової картини внутрішніх глибинних процесів у ґрунтовому масиві, які є ключовими у формуванні деформацій споруд. Інклінометричні методи, навпаки, дають детальну інформацію про розвиток глибинних зсувних процесів, але не забезпечують повної інтегрованої оцінки поведінки будівель, фундаментів і територій. У цьому контексті поєднання геодезичних та інклінометричних даних у єдиному деформаційному полі є перспективним напрямом, який відповідає сучасним світовим тенденціям інженерного моніторингу.

Наукова новизна дисертації полягає у створенні єдиної технологічної концепції комбінування методів моніторингу та застосуванні розробленої технології для аналізу деформацій пошкоджених будівель у воєнних умовах. Такі дослідження не лише актуальні, а й соціально значущі, адже дають можливість приймати обґрунтовані рішення щодо подальшої експлуатації, консервації або демонтажу об'єктів, що зазнали руйнувань.

Особливої актуальності роботі додає інтеграція результатів моніторингу в процедури побудови геометричних цифрових двійників, що відповідає глобальним тенденціям цифрової трансформації будівельної галузі та розвитку інтелектуальних систем керування ризиками. У світовій практиці цифрові двійники поступово стають стандартними інструментами для діагностики та

прогнозування поведінки складних інженерних об'єктів, однак їх практичне застосування в Україні наразі обмежене. Дисертаційне дослідження, таким чином, фактично закладає науковий фундамент для системної інтеграції цифрових технологій у національну практику.

Таким чином, актуальність дослідження не викликає сумніву — воно спрямоване на вирішення нагальної науково-прикладної задачі з відновлення та безпечної експлуатації пошкоджених інженерних споруд в умовах післявоєнної відбудови України.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення побудовані на комплексному підході, який поєднує теоретичні дослідження, математичне моделювання та експериментальні натурні вимірювання. У дисертаційній роботі здійснено ґрунтовний аналіз нормативно-правової бази моніторингу деформацій, узагальнено сучасні наукові розробки у сфері геодезичного й інклінометричного контролю, розглянуто міжнародний досвід застосування цифрових технологій. Здобувач обґрунтовано демонструє, що існуючі підходи не забезпечують достатнього рівня інтеграції даних, а їх поєднання дає значно ширшу картину деформацій.

Особливої уваги заслуговує обґрунтування технологічних схем комбінування методів моніторингу, в яких детально описано алгоритми спостережень, параметри вимірювань, порядок математичної обробки даних та їх інтеграції у спільне деформаційне поле. Теоретичні положення підкріплені натурними даними з експериментального полігону у Києві, де упродовж кількох років здійснювався циклічний контроль горизонтальних деформацій огороження котловану, вертикальних переміщень фундаментів та глибинних зсувних процесів. Такі багаторічні дослідження є рідкістю у вітчизняній науковій практиці й мають особливу цінність як джерело реальних спостережень для верифікації моделей.

Узагальнення результатів вимірювань виконане на високому методичному рівні: застосовано статистичну обробку, виконано кореляційний аналіз, проаналізовано часові ряди та їх закономірності. Особливо переконливими є демонстрації причинно-наслідкових зв'язків між зсувними процесами в ґрунтовому масиві та деформаціями огороження котловану і прилеглих будівель.

Не менш обґрунтованими є результати застосування технології в умовах воєнного часу, де автор адаптував розроблені методики до нових типів руйнувань. Аналіз деформацій залізобетонних каркасів, пошкоджених вибуховими навантаженнями, підтвердив релевантність комбінованого підходу та продемонстрував його високу ефективність у кризових умовах.

Висновки дисертації логічно витікають із проведених досліджень і ґрунтуються на переконливих доказах, а рекомендації мають практичну спрямованість, чіткість і доцільність для інженерної практики.

Достовірність основних положень. Достовірність наукових результатів підтверджується багаторівневою системою доказів:

- експериментальною верифікацією на спеціально створеному полігоні;
- застосуванням стандартних і сертифікованих засобів вимірювальної техніки (нівелірів, тахеометрів, інклінометричних систем);
- підтвердженням результатів на реальних об'єктах будівництва та під час обстеження пошкоджених споруд;
- нормативним впровадженням — включенням напрацьованих методик до галузевих стандартів.

Порівняння результатів, отриманих різними методами, демонструє узгодженість деформаційних графіків, що свідчить про високу точність інтеграції геодезичних та інклінометричних вимірювань. Фактичні дані, отримані на полігоні та будівельних майданчиках Києва і Чернігова, показують закономірності деформацій у часі, що узгоджуються з відомими теоретичними моделями ґрунтової механіки і поведінки фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах.

Достовірність також забезпечується значним обсягом публікацій автора у фахових виданнях та результатами апробації на міжнародних наукових конференціях, що свідчить про відповідність отриманих результатів вимогам наукової спільноти.

Практичне значення дослідження. Практична цінність дисертації полягає у створенні технологічно та економічно доцільних методів моніторингу, придатних для широкого впровадження у практику будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів.

Розроблена технологія застосована на реальних будівельних об'єктах: під час моніторингу глибоких котлованів, контролю стійкості схилів, оцінки технічного стану багатопверхових будівель. Результати використано для коригування проєктних рішень та запобігання аварійним ситуаціям.

Методика інтегрованого моніторингу виявилась ефективною у надзвичайних умовах — для оцінки пошкоджених споруд після вибухових навантажень. Вона забезпечує можливість оперативно визначати небезпечні зони, ступінь пошкоджень та тенденції розвитку деформацій.

На основі результатів моніторингу реалізовано побудову геометричних цифрових двійників, які можуть бути використані при чисельному моделюванні напружено-деформованого стану конструкцій. Це дозволяє не лише фіксувати поточні деформації, а й виконувати прогноз розвитку ситуації.

Результати дослідження впроваджено у нормативні документи — СОУ ДП НДІБК В.2.6-02495431-010:2024 та ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Це підвищує стандартизацію процесів моніторингу та обстеження споруд в Україні.

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності та оформлення. Дисертація має чітку логічну структуру, що відповідає вимогам до робіт на здобуття ступеня доктора філософії. Робота складається з чотирьох розділів, кожен із яких містить обґрунтований теоретичний матеріал, опис експериментальних досліджень та узагальнюючі висновки. Логіка викладу витримана, відсутні змістові розриви або суперечності між окремими частинами.

Мова роботи науково коректна, термінологічний апарат витримано в межах чинних стандартів геодезії та будівництва. Стиль викладу притаманний науковим працям технічного профілю — точний, аргументований, позбавлений декларативності. Автор вміло поєднує аналітичні міркування з описом практичних результатів.

Оформлення дисертації відповідає вимогам МОН України: наявний перелік умовних позначень, зміст, повний список використаних джерел (понад 200 позицій), ілюстративний матеріал якісно виконаний. Варто відзначити велику кількість деталізованих таблиць з результатами знімів та графіків з відображенням результатів моніторингу, які представлені в додатках до роботи.

Позитивні характеристики розглянутого дослідження. Дисертаційна робота має численні наукові, методологічні та практичні переваги, які визначають її як ґрунтовне та інноваційне дослідження сучасного рівня.

Однією з ключових позитивних характеристик є цілісність сформованої наукової концепції комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу. Дисертація демонструє не фрагментарний, а повноцінно інтегрований підхід до просторово-часової оцінки деформаційної поведінки об'єкта. Це підтверджується розробленням:

- технологічної схеми комбінування методів моніторингу
- єдиної просторово-часової схеми інтеграції даних, що дозволяє об'єднувати результати різних типів вимірювань у загальне деформаційне поле
- кореляційної матриці для комбінованого моніторингу, яка фактично забезпечує можливість формування математично узгодженої моделі поведінки об'єкта.

Робота безпосередньо відповідає нагальним потребам України у сфері відновлення пошкодженої інфраструктури після бойових дій. Комбіновані технології, розроблені дисертантом, є необхідними для безпечного обстеження та реконструкції будівель і споруд.

Дослідження базується на 5,5-річному циклі спостережень, що є винятковим для дисертацій такого рівня. Це дозволяє вивчати не короточасні, а стабільні тренди деформаційних процесів. Такі кількарічні експериментальні дані мають високу цінність, оскільки дозволяють відстежити послідовність виникнення деформацій у взаємодіючій системі “котлован – ґрунтовий масив – будівлі”, що зазвичай не може бути забезпечено короткостроковими спостереженнями.

Розроблена технологія має універсальне застосування адже показала ефективність як при невеликих переміщеннях (до 10–15 мм), так і при значних деформаціях пошкоджених конструкцій, де важливо не лише виміряти, але й оперативно діагностувати небезпеку.

На основі результатів роботи розроблено галузевий стандарт СОУ ДП НДІБК В.2.6-02495431-010:2024, що саме по собі є вагомим доказом прикладної цінності.

Методика апробована на низці об’єктів: житлових і громадських спорудах у Києві (район Кловського яру, ЖК «Династія») та в Чернігові. Отримані результати використано для технічної експертизи та розроблення проєктів підсилення конструкцій.

Зауваження та рекомендації по роботі. Запропоновано єдину матрицю спостережень із параметрами осідання фундаментів, тріщини, переміщення огороження, глибинні зміщення ґрунтів, проте недостатньо детально розкрито алгоритм приведення результатів інклінометричних (кутових/відносних) та геодезичних (лінійно-кутових/абсолютних) вимірювань до єдиної системи координат у режимі реального часу. Існує ризик накопичення похибок при переході від локальних нахилів до загальних векторів переміщень.

Геодезичні вимірювання (нівелювання, засічки) зазвичай є дискретними в часі (цикли), тоді як інклінометричні системи можуть працювати в автоматизованому безперервному режимі. У дисертації варто було б чіткіше прописати методику часової інтерполяції геодезичних даних для їх коректного зіставлення з безперервними даними датчиків нахилу.

Автор використовує концепцію 5-рівневої архітектури цифрового двійника (Digital Twin). Однак у розділі 3, при описі об’єкта в м. Чернігів, результати більше нагадують «цифрову тінь» (Digital Shadow), оскільки зворотний зв’язок (Level 4-5) на об’єкті, що відновлюється, є обмеженим. Слід розмежувати поняття статичної 3D-моделі та динамічного цифрового двійника.

У дослідженні зафіксовано вплив сезонних температур на розкриття тріщин. Було б доцільно додати аналіз температурного дрейфу самих інклінометричних датчиків, який у складних польових умовах може давати хибнопозитивні сигнали про деформації.

У різних частинах документа використано різні варіанти назви:

- «технологія комбінування геодезичних та інклінометричних методів»,

- «інтегрована технологія комбінованого моніторингу»,
- «комбіновані технології моніторингу»

У деяких місцях термін «цифровий двійник» вжито без попереднього чіткого визначення. Подекуди терміни змішуються, що може спричинити непорозуміння між експертами різних галузей (геодезія, геотехніка, ВІМ, сейсмостійкість). У фрагментах розділу 3 деякі визначення цифрового двійника повторюються дослівно у кількох місцях.

Дискусійні моменти та побажання до дисертаційної роботи. Попри загальну високу якість дослідження, можна висловити кілька зауважень і побажань, які мають характер конструктивних рекомендацій:

- доцільно розширити підхід у напрямі використання алгоритмів машинного навчання для автоматизованої обробки інклінометричних і геодезичних даних.
- раціональним є включення волоконно-оптичних технологій, радарного моніторингу та InSAR, що могло б підсилити комбіновану систему.
- існує потенціал застосування складних нелінійних моделей для прогнозування деформацій з урахуванням властивостей ґрунтів.
- можна розглянути інтеграцію цифрових двійників зі штучним інтелектом для автоматичної діагностики та прогнозування.
- доцільним є формування розширених стандартів щодо обов'язковості комплексного моніторингу на об'єктах підвищеної складності.

Ці дискусійні аспекти не зменшують цінності роботи, а лише визначають перспективні напрями подальших досліджень.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Яковенка М. С. «Технології комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу деформацій будівель і споруд» є завершеним науковим дослідженням, що вирішує актуальну науково-прикладну задачу створення технології комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу деформацій будівель і споруд. У роботі отримано вагомі результати теоретичного, методичного та практичного характеру, які мають суттєве значення для розвитку інженерної геодезії. Робота має високий рівень апробації, оформлена відповідно до вимог, а її автор продемонстрував ґрунтовну підготовку, здатність проводити складні натурні та аналітичні дослідження та впроваджувати їх результати у реальну інженерну практику.

Рецензована дисертація заслуговує високої оцінки і може бути рекомендована до захисту на здобуття ступеня доктора філософії (PhD) зі спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» після врахування зауважень до роботи.

У підсумку, робота робить вагомий внесок у розвиток інженерної геодезії та практичного моніторингу деформацій споруд, має високий рівень прикладної цінності та заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії.

Рецензент,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної геодезії
Київського національного
університету будівництва і
архітектури.



Юрій МЕДВЕДСЬКИЙ