

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**ЯКОВЕНКА МИХАЙЛА СЕРГІЙОВИЧА**  
**«ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА**  
**ІНКЛІНОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ**  
**БУДІВЕЛЬ І СПОРУД»,**

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

Детальний аналіз дисертаційної роботи **ЯКОВЕНКА Михайла Сергійовича «Технології комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу деформацій будівель і споруд»**, його наукових публікацій, дозволяє зробити висновки щодо актуальності, наукового рівня, обґрунтованості наукових положень, наукової новизни, висновків і рекомендацій, практичного значення і загальної оцінки роботи.

### **1. Актуальність теми**

Актуальність теми дисертаційного дослідження обумовлюється тим, що традиційні геодезичні методи (нівелювання, лінійно-кутові вимірювання, ГНСС-спостереження) забезпечують високу точність фіксації переміщень та осідань, проте не дають повної інформації про внутрішню структурну поведінку ґрунтового масиву. З іншого боку, інклінометричні вимірювання – як один з найбільш інформативних методів геотехнічного контролю – дозволяють визначати просторову картину глибинних горизонтальних зміщень, що є ключовим фактором формування осідань фундаментів та тріщиноутворення в конструкціях. Однак окреме застосування цих методів не забезпечує комплексної оцінки деформаційного процесу, адже деформації споруди та ґрунтової основи є взаємопов'язаними і формують єдине деформаційне середовище.

Саме тому особливої актуальності набуває розвиток технологій комбінування методів моніторингу, що поєднують геодезичні та інклінометричні вимірювання у єдине інформаційне поле. Такий підхід дозволяє одночасно контролювати поверхневі та підповерхневі (глибинні) переміщення, визначати причинно-наслідкові зв'язки між деформаціями на будівельному майданчику, прилеглий території та оточуючої забудови, а також створювати високоточні цифрові моделі для прогнозування поведінки об'єктів.

У зв'язку з цим тема дисертаційного дослідження **ЯКОВЕНКА Михайла Сергійовича** є безперечно, актуальною та своєчасною.

### **2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційного дослідження**

У дослідженні проаналізовані наявні роботи, присвячені окремому

застосуванню геодезичних або геотехнічних методів контролю. Проте комплексні дослідження, спрямовані на розроблення узгодженої технології комбінування цих методів, зустрічаються обмежено. Недостатньо опрацьованими залишаються такі питання, як: інтеграція часових рядів різної природи, кореляційний аналіз різних груп параметрів, верифікація узгодженості результатів, формування єдиного деформаційного поля «будівництво – території – існуюча забудова», використання результатів моніторингу для побудови цифрових моделей об'єктів, що піддаються деформаційному впливу. Систематизовані та обґрунтовані 189 джерел, які включають теоретичні і практичні положення щодо геодезичних або геотехнічних методів і систем.

Здобувач забезпечив належний рівень обґрунтованості запропонованих наукових положень на основі грамотного використання загальнонаукових та спеціальних методів, що дозволило досягти поставленої мети дослідження.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Вагому наукову новизну мають наступні одержані результати:

- уперше отримано експериментальні докази ефективності запропонованої технології на спеціально створеному полігоні, що підтвердило її працездатність в реальних умовах деформування;
- подальшого розвитку набула методика практичного застосування розробленої технології для різних типів будівель і споруд, що дозволило розширити сферу її використання в складних інженерно-геологічних умовах;
- уперше адаптовано інтегровану технологію геодезичного й інклінометричного моніторингу для оцінювання та контролю технічного стану пошкоджених будівель і споруд, що дало можливість підвищити достовірність визначення їх просторово-деформаційного стану;
- удосконалено технологічні схеми комплексного моніторингу, які були покладені в основу розроблення нормативних документів, що регламентують моніторинг технічного стану будівель і споруд.

### **4. Достовірність основних положень**

Достовірність основних положень, викладених у роботі, підтверджується наступним:

- висновками, отриманими автором при аналізі теоретичних робіт і практичних напрацювань за обраною тематикою;
- застосуванням у дослідженні загальних та спеціальних наукових методів: порівняльного аналізу, узагальнення, систематизації, класифікації, математичної статистики, теорії похибок вимірювань, методу найменших квадратів, теорії матриць;
- апробацією експериментальною верифікацією результатів вимірювань на експериментальному полігоні та під час практичного застосування.



Отже, наведені аргументи свідчать про те, що основні положення дисертації достовірні й науково обґрунтовані. Також слід зазначити, що основні положення відповідають меті і завданням дослідження. Про високий рівень наукової підготовки дисертанта свідчить ґрунтовність опрацювання зазначених положень.

#### **5. Практичне значення одержаних результатів**

Результати дисертаційного дослідження ЯКОВЕНКА Михайла Сергійовича можуть бути використані в інженерно-геодезичній практиці для моніторингу деформацій будівель і споруд, що забезпечує підвищення точності та оперативності контролю їх просторового положення в реальних умовах експлуатації.

До вагомих практичних досягнень роботи належать:

– нормативні документи України, де і реалізовані напрацювання дисертаційного дослідження: СОУ ДП НДІБК В.1.3-02495431-020:2025 «Особливості геодезичних досліджень при обстеженні пошкоджених будівель і споруд»; ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд;

– використання отриманих моніторингових даних для побудови цифрових геометричних двійників, що розширює можливості подальшого аналізу, моделювання деформацій та підтримки прийняття інженерних рішень щодо відновлення або посилення конструкцій.

#### **6. Повнота викладу матеріалів в опублікованих працях**

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у 30 публікаціях у професійних фахових виданнях (три з яких – статті у періодичних закордонних фахових журналах) та п'ять доповідей на конференціях (що проіндексовані у наукометричній базі SCOPUS); 12 – статей у періодичних фахових журналах (у затверджених МОН України виданнях). Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, 10 робіт, надрукованих у журналах, та доповіді у матеріалах міжнародних та вітчизняних наукових конференцій.

Кількість публікацій за темою дисертації є достатньою. Зміст публікацій відповідає заявленим завданням, об'єкту і предмету дослідження. Якість і кількість публікацій повністю відповідає вимогам п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

#### **7. Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення**

Подана до розгляду дисертаційна робота відзначається чіткою логічною побудовою та складається з анотації, вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, що включає 189 найменувань, а також додатків. Загальний обсяг дисертації становить 245 сторінок, із яких 203 сторінки займає

основний текст. Робота містить 88 рисунків, 33 таблиці, обсяг додатків становить 9 сторінок.

У вступі здобувачем належним чином обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено мету та завдання роботи, які узгоджуються з об'єктом і предметом дослідження. Чітко сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію щодо їх апробації.

У першому розділі «Аналіз сучасних підходів до моніторингу деформацій і оцінки технічного стану будівель та споруд» здійснено системний огляд сучасних підходів до організації деформаційного моніторингу, проаналізовано фактори, що впливають на деформаційні процеси, розглянуто вітчизняний та міжнародний досвід, а також чинну нормативну базу та підходи до впровадження концепції цифрового двійника. На основі проведеного аналізу визначено ключові проблеми та обґрунтовано необхідність комплексного підходу до моніторингу.

Показано, що застосування окремих геодезичних або геотехнічних методів не дозволяє отримати повну та достовірну інформацію про стан складної системи «огородження котловану – ґрунтовий масив – оточуюча забудова», що обумовлює доцільність їх інтегрованого використання.

У другому розділі «Методичні основи комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу для створення цифрового двійника» розроблено теоретичні засади інтегрованого підходу до організації спостережень у зазначеній системі. Автором запропоновано технологічну схему комбінування геодезичних та інклінометричних методів, яка забезпечує комплексний аналіз деформаційних процесів.

У межах розділу детально розглянуто методики:

- визначення горизонтальних переміщень огородження котловану за результатами багаторазових лінійно-кутових вимірювань;
- оцінювання вертикальних переміщень фундаментів за даними геометричного нівелювання;
- контролю розвитку тріщин у конструкціях;
- інклінометричного моніторингу деформацій ґрунтового масиву з визначенням положення та розвитку площини ковзання.

Окрему увагу приділено питанням формування геометричної цифрової тіні та цифрового двійника як інструменту узагальнення та інтерпретації результатів спостережень.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу для створення цифрового двійника» наведено результати практичної реалізації запропонованої технології. Дослідження виконано на об'єкті в м. Києві, розташованому в зоні впливу глибокого котловану на схилі Кловського яру.

За результатами спостережень встановлено, що фактичні значення горизонтальних переміщень огородження (до 65 мм) та осідань фундаментів

будівель (до 39 мм) перевищували розрахункові показники. Водночас систематичне виконання моніторингових спостережень і своєчасне коригування інженерних рішень дозволили уникнути розвитку аварійних ситуацій.

Виявлено закономірності розвитку деформацій у часі, що проявляються у послідовній зміні стадій: від початкових переміщень огороження котловану до активізації зсувних процесів у ґрунтовому масиві та подальших деформацій будівель.

Також показано можливість адаптації запропонованої технології до умов воєнного часу для оцінювання технічного стану пошкоджених будівель, що підтверджено на прикладі об'єктів у м. Чернігів.

У цілому результати третього розділу демонструють ефективність і універсальність запропонованої технології, а також її здатність до застосування в різних умовах експлуатації об'єктів.

Дисертаційна робота викладена державною мовою з дотриманням наукового стилю, характеризується логічністю, послідовністю та цілісністю викладення матеріалу. Оформлення роботи відповідає встановленим вимогам.

#### **8. Узагальнюючи оцінку представленої роботи, доцільно визначити наступні здобутки:**

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу з розробки та впровадження технології комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу деформацій будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах.

Розроблену технологію адаптовано до умов воєнного часу, що обумовлено гострою необхідністю масових досліджень пошкоджених будівель і споруд в рамках комплексної попередньої оцінки їх технічного стану.

За даними моніторингу створено уточнені геометричні цифрові двійники, які будуть задіяні на наступному етапі для проведення чисельного моделювання напружено-деформованого стану з метою контролю технічного стану і розробки відповідних рекомендацій по відновленню.

#### **9. Зауваження й побажання**

Разом з тим, незважаючи на високий науковий рівень дисертаційної роботи та її вагомое практичне значення, до її змісту можна висловити окремі зауваження та пропозиції, що носять переважно рекомендаційний характер.

1. У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз сучасних методів геодезичного та геотехнічного моніторингу деформацій. Разом з тим доцільно було б більш детально розглянути міжнародний досвід застосування інтегрованих систем моніторингу, зокрема в рамках концепції Structural Health Monitoring (SHM).

2. У роботі запропоновано технологію комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу. Було б доцільно більш детально

розглянути питання оптимізації розташування пунктів геодезичних спостережень і інклінометричних свердловин із точки зору підвищення ефективності контролю деформацій.

3. У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень на реальному будівельному майданчику. Разом з тим доцільно було б ширше представити порівняльний аналіз отриманих результатів із результатами чисельного моделювання напружено-деформованого стану системи «огородження котловану – ґрунтовий масив – оточуюча забудова».

4. У роботі значну увагу приділено створенню геометричного цифрового двійника будівлі на основі результатів моніторингу. У подальших дослідженнях доцільно розглянути можливість розширення функціоналу такого цифрового двійника шляхом інтеграції результатів моніторингу з розрахунковими моделями методу скінченних елементів.

5. Перспективним напрямом подальших досліджень може бути створення автоматизованих систем моніторингу деформацій будівель і споруд на основі безперервних вимірювань, що дозволить оперативно відслідковувати розвиток небезпечних деформаційних процесів.

Зазначені зауваження й побажання не зменшують загальний високий науковий рівень представленої роботи. Дисертацію виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

#### **10. Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії»**

Незважаючи на окремі дискусійні питання, дисертація **ЯКОВЕНКА Михайла Сергійовича** «ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА ІНКЛІНОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД» повністю відповідає вимогам пунктів 5, 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Дисертаційне дослідження є його особистою роботою, а теоретичні й практичні результати дослідження вказують на суттєвий особистий внесок автора в українську науку.


#### **ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК**

Дисертація **ЯКОВЕНКА Михайла Сергійовича** «Технології комбінування геодезичних та інклінометричних методів моніторингу деформацій будівель і споруд» є завершеною науковою працею, яка містить суттєву наукову новизну та практичну цінність. Дана робота може вважатися вагомим внеском у розвиток сучасного будівництва та значним практичним надбанням для післявоєнної



відбудови зруйнованих будівель та споруд. Роботу представлено на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 - Геодезія та землеустрій; вона повністю відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 та напрямку освітньо-наукової програми КНУБА із зазначеної спеціальності, а її автор - ЯКОВЕНКО Михайло Сергійович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 - Геодезія та землеустрій.

Офіційний опонент,  
Доктор технічних наук,  
Професор кафедри геодезії та геоінформатики,  
Львівський національний університет  
ветеринарної медицини та біотехнологій  
ім. С.З. Гжицького



Ольга КУЛКОВСЬКА