Висновок наукового керівника д.т.н., професора Поколенка В.О.
щодо дисертаційної роботи КРИВДИ Кирила Євгеновича на тему: «Методи та моделі цифрового моніторингу і прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Дисертаційна робота Кривди Кирила Євгеновича присвячена розв'язанню актуального наукового завдання, пов'язаного з розробленням методів і моделей цифрового моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови. Обраний напрям дослідження зумовлений необхідністю розвитку науково-методичних підходів до комплексного оцінювання технічного стану будівель і споруд, підвищення достовірності моніторингових даних та своєчасного прогнозування змін контрольованих параметрів. Особливого значення набуває інтеграція інструментальних спостережень, цифрового опрацювання інформації та нейромережевого моделювання для обґрунтування рішень щодо забезпечення надійності й безпечної експлуатації інженерно-будівельних систем у складних умовах сучасного міського середовища.

Загальна оцінка здобувача. Здобувач Кривда Кирило Євгенович зарекомендував себе як відповідальний, цілеспрямований і самостійний дослідник, здатний розв'язувати складні науково-прикладні завдання у сфері будівництва та цивільної інженерії. У процесі підготовки дисертації він продемонстрував належний рівень теоретичної підготовки й практичних компетентностей у питаннях цифрового моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови. Кирило Євгенович виявив здатність системно опрацьовувати наукові джерела, критично оцінювати сучасні підходи до моніторингу будівель і споруд та застосовувати методи математичного моделювання й цифрового аналізу для розв'язання дослідницьких завдань. Відзначаються його аналітичне мислення, послідовність у проведенні досліджень і прагнення до отримання науково обґрунтованих результатів. Під час роботи над дисертацією здобувач проявив ініціативність, самостійність у виборі дослідницьких рішень і здатність конструктивно враховувати наукові рекомендації. Він відповідально виконував поставлені завдання, дотримувався принципів академічної доброчесності та вимог до організації наукової діяльності. Здобувач володіє навичками наукової комунікації, аргументованого представлення результатів дослідження та професійного обговорення проблемних питань. Сформовані компетентності дають йому

змогу самостійно досліджувати технічний стан інженерно-будівельних систем, розробляти й обґрунтовувати цифрові методи моніторингу та прогнозування. За професійними й особистісними якостями Кривда Кирило Євгенович відповідає вимогам до здобувачів ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Актуальність теми дисертації. Актуальність дослідження зумовлена ущільненням міської забудови, зростанням висотності будівель, освоєнням підземного простору та посиленням взаємного впливу будівельних об'єктів і підземних інженерних мереж. Такі умови підвищують вимоги до достовірності оцінювання технічного стану інженерно-будівельних систем і своєчасності прогнозування його змін. Попри розвиток інструментальних засобів спостереження та цифрових технологій, потребують подальшого опрацювання методи комплексного аналізу моніторингової інформації та моделі, здатні враховувати взаємозв'язок технічних параметрів об'єктів, якості вимірювань і прогнозних оцінок. Нагальність теми полягає в необхідності сформувати цілісний підхід до цифрового моніторингу, який забезпечуватиме не лише отримання даних про технічний стан інженерно-будівельних систем, а й науково обґрунтоване прогнозування його змін. Результати такого дослідження можуть стати підґрунтям для підвищення надійності будівель і споруд та вдосконалення організаційно-управлінських рішень в умовах щільної міської забудови.

Наукова новизна та зміст дослідження. *Зміст роботи.* Зміст дослідження. Робота спрямована на розроблення методів і моделей цифрового моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови. Дослідження передбачає комплексне опрацювання даних інструментальних спостережень для оцінювання технічного стану, своєчасного виявлення небезпечних змін і прогнозування подальшого функціонування будівель та споруд. Особливу увагу приділено організації інструментального моніторингу, цифровому інформаційно-аналітичному забезпеченню та обґрунтуванню організаційно-управлінських рішень у процесі організації будівництва й забезпечення експлуатаційної безпеки інженерно-будівельних систем.

Наукова новизна результатів дисертації полягає у формуванні цілісного науково-методичного підходу до цифрового моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови. Запропоновано комплексний показник оцінювання стану взаємопов'язаних інженерно-будівельних систем, який інтегрує технічні характеристики об'єктів, якість моніторингових даних та результативність управлінського реагування. Розроблено архітектуру

нейромережевої моделі прогнозування технічного стану, що враховує просторові й функціональні зв'язки між елементами системи та характеристики інформаційного забезпечення моніторингу. Обґрунтовано застосування прогнозних оцінок для своєчасного виявлення небезпечних змін контрольованих параметрів і визначення необхідності відповідного реагування. Наукові положення щодо оцінювання якості моніторингових даних доповнено врахуванням їх часової актуальності та надійності каналів вимірювання. Запропоновано підхід до інтегрування інформаційних потоків із визначенням похибки узагальнених оцінок на основі метрологічних характеристик вимірювальних засобів. Сформовано модель організації інструментального моніторингу, що передбачає розподіл функцій між його учасниками, установлення контрольних рівнів параметрів і регламентування реагування. Уточнено зміст понятійних положень цифрового моніторингу та оцінювання технічного стану інженерно-будівельних систем з урахуванням їх взаємозв'язків і специфіки міського середовища. Обґрунтовано методичний підхід до визначення періодичності циклів вимірювань на основі статистичної значущості змін контрольованих параметрів і похибки спостережень. Сукупність одержаних результатів формує наукове підґрунтя для підвищення достовірності моніторингу, обґрунтованості прогнозів і якості організаційно-управлінських рішень у будівництві.

Академічна доброчесність. Під час виконання дисертаційного дослідження Кривда Кирило Євгенович дотримувався принципів академічної доброчесності, наукової етики та встановлених вимог до організації дослідницької діяльності. Наукові положення, результати й висновки роботи сформовано на основі самостійного опрацювання вітчизняних і зарубіжних джерел із дотриманням правил цитування та належного оформлення посилань. За результатами перевірки тексту дисертації в системі StrikePlagiarism показник автентичності становить 95 %. Некоректних запозичень і текстових збігів, що свідчили б про порушення принципів академічної доброчесності, не виявлено. Представлення результатів дослідження здійснено з урахуванням вимог академічного письма й відповідального ставлення до використання наукових напрацювань інших авторів. Дотримання зазначених принципів є важливою складовою забезпечення належного наукового рівня дисертаційної роботи.

Теоретична і практична цінність результатів дослідження. ***Теоретична цінність результатів дисертації*** полягає в їх внеску в розвиток спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, зокрема науково-методичних положень щодо цифрового моніторингу й прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем, комплексного оцінювання

якості моніторингових даних і обґрунтування підходів до підвищення надійності та безпеки експлуатації будівель і споруд в умовах щільної міської забудови.

Теоретична цінність результатів дисертації полягає в розвитку науково-методичних засад спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» в частині цифрового моніторингу й прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови. Теоретичне значення роботи визначається системним поєднанням технічних характеристик об’єктів, достовірності моніторингової інформації та організаційно-управлінських механізмів реагування. Уточнено зміст понятійних положень, пов’язаних із цифровим моніторингом, комплексним оцінюванням технічного стану та організацією спостережень за взаємопов’язаними об’єктами забудови. Сформовано уявлення про багаторівневу структуру інструментального моніторингу, що охоплює збирання, передавання, аналітичне опрацювання даних і підтримку управлінських рішень. Розроблені методи оцінювання якості моніторингової інформації враховують часову актуальність даних, надійність вимірювальних каналів і похибки спостережень. Обґрунтовано підходи до визначення періодичності вимірювань з урахуванням динаміки змін контрольованих параметрів. Вагомим результатом є розроблення архітектури нейромережевої моделі прогнозування, що інтегрує просторові взаємозв’язки елементів системи, часові характеристики спостережень і показники якості вхідних даних. Поєднання цифрового аналізу з оцінюванням невизначеності прогнозу створює методичне підґрунтя для зіставлення прогнозних результатів із регламентованими рівнями контрольованих параметрів. Запропоновані організаційно-технологічні рішення формалізують розподіл функцій учасників моніторингу, критерії реагування та вимоги до своєчасності передавання інформації. Сукупність отриманих результатів формує цілісну теоретико-методичну основу для комплексного оцінювання технічного стану інженерно-будівельних систем, обґрунтованого прогнозування його змін і підвищення надійності та безпеки експлуатації будівель і споруд.

Практична цінність результатів дисертації полягає в доведенні розроблених методів і моделей цифрового моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем до рівня алгоритмів і методичних рішень, придатних для практичного застосування. Запропоновані методи оцінювання якості моніторингових даних ураховують похибки вимірювань, надійність каналів спостереження та часову актуальність інформації. Розроблена організаційно-технологічна модель передбачає розподіл функцій учасників моніторингу, визначення попереджувальних і

граничних значень контрольованих параметрів та регламентування процедур реагування. Практичне значення має нейромережева модель прогнозування, перевірка якої засвідчила зменшення середньоквадратичної похибки прогнозу до 14,8 мм і підвищення коефіцієнта детермінації до 0,976 порівняно з базовими методами. Розроблені структура програмно-апаратного комплексу, алгоритми програмного продукту, формат вхідних даних і розподіл прав доступу створюють передумови для цифровізації процедур моніторингу. Результати можуть використовуватися організаціями, що здійснюють інструментальний і геодезичний моніторинг, замовниками будівництва та експлуатуючими організаціями під час планування спостережень, оцінювання технічного стану об'єктів і своєчасного реагування на виявлені відхилення. Їх практичне застосування сприятиме підвищенню обґрунтованості управлінських рішень, оперативності виявлення небажаних змін і надійності експлуатації будівель та споруд.

Результати дослідження мають освітню цінність для підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Їх доцільно використовувати під час викладання дисциплін із технології та організації будівництва, моніторингу технічного стану будівель і споруд, цифрових технологій у будівництві та техногенної безпеки. Це сприятиме формуванню компетентностей щодо оцінювання якості моніторингових даних, застосування цифрових моделей прогнозування та обґрунтування рішень із забезпечення надійності й безпечної експлуатації інженерно-будівельних систем.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Кривди Кирила Євгеновича є самостійним, завершеним та актуальним науковим дослідженням, спрямованим на розв'язання важливого науково-прикладного завдання з розроблення методів і моделей цифрового моніторингу та прогнозування технічного стану інженерно-будівельних систем в умовах щільної міської забудови. Робота характеризується логічною структурою, послідовністю викладення матеріалу, належним науковим обґрунтуванням і практичною спрямованістю отриманих результатів.

Науковий доробок здобувача полягає в розробленні методів оцінювання якості моніторингових даних, моделей організаційно-технологічного забезпечення спостережень та інформаційної готовності цифрової платформи, а також нейромережевої архітектури прогнозування технічного стану з урахуванням просторових і часових взаємозв'язків. Практичне значення результатів визначається можливістю їх використання для вдосконалення інструментального моніторингу, своєчасного виявлення

деформацій, підвищення достовірності прогнозних оцінок і обґрунтованості рішень щодо безпечної експлуатації будівель та споруд.

У процесі виконання дослідження Кривда К. Є. продемонстрував наукову самостійність, належну професійну підготовку, здатність до системного аналізу, застосування сучасних цифрових методів і розв'язання складних дослідницьких завдань. Вважаю, що дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Науковий керівник: **Вадим ПОКОЛЕНКО**
д.т.н., професор,
професор кафедри
менеджменту в будівництві КНУБА

«Підпис д.т.н., професора *Поколенка В.О. засвідчую»*

Секретар Вченої ради КНУБА, **Микола КЛИМЕНКО**
к.т.н., доцент