

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Менейлюка

Олександра Івановича

на дисертаційну роботу Руднєвої Ірини Миколаївни

«Конструктивно-технологічна система забезпечення якості

підсилення каркасних будівель під час реконструкції», подану на здобуття

наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 –

технологія та організація промислового та цивільного будівництва

1. Оцінка актуальності теми дисертаційної роботи та обґрунтованості предмета дослідження

Дисертаційну роботу Руднєвої І.М. присвячено розв'язанню актуальної науково-прикладної проблеми розроблення теоретико-методологічних засад забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції. Дослідження відповідає сучасним тенденціям розвитку будівельного виробництва, що характеризуються переходом від фрагментарного вибору окремих технічних рішень до комплексного управління реконструкцією на основі цифрових технологій, багатокритеріального аналізу та формалізованої підтримки прийняття рішень.

Авторкою виконано ґрунтовний аналіз стану проблеми, систематизовано значний обсяг вітчизняних і зарубіжних праць за темою досліджень, проаналізовано нормативно-правову базу України, стандарти ISO, Єврокоди та основні концепції Construction 4.0. У роботі процес підсилення вперше розглянуто як цілісну конструктивно-технологічну систему (КТС), ефективність якої визначається взаємозв'язком результатів обстеження, варіантності конструктивно-технологічних та організаційно-технологічних рішень (КТР і ОТР), рівня механізації, трудомісткості, виробничих ризиків і показників сталого розвитку.

Запропонована КТС інтегрує інструменти BIM-моделювання, Lean Construction та аналітичні методи прийняття рішень. Актуальність обраної теми підтверджується орієнтацією на розв'язання завдань відбудови та модернізації існуючого будівельного фонду України.

Предмет дослідження визначено коректно, він повністю відповідає темі, меті та завданням дисертації.

Наведене дає підстави стверджувати, що тема роботи є актуальною, а предмет дослідження — обґрунтованим.

2. Оцінка відповідності змісту результатів роботи паспорту спеціальності та цільовій спрямованості науково-дослідних робіт

За своїм змістом дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.23.08 — технологія та організація промислового та цивільного будівництва. Зокрема, результати роботи відповідають:

- **п. 1** — у частині розвитку наукових основ технології й організації будівельних процесів при реконструкції;
- **п. 2** — щодо організаційно-технологічного проектування та вибору альтернативних КТР і ОТР (Розділи 2, 5–7);
- **п. 3** — у частині організації робіт і управління ресурсами (Розділи 5–7);
- **п. 4** — щодо застосування BIM-технологій та цифрових систем підтримки прийняття рішень (усі розділи);
- **пп. 5, 6** — у частині механізації, мікроелементного нормування, зниження трудомісткості й підвищення продуктивності праці (Розділи 3, 5, 6).

Дослідження виконано в межах науково-дослідних тем КНУБА (ДР № 0119U000544, № 0125U002046, № 0225U002391). Тематика роботи узгоджується з державними пріоритетами цифровізації та реформування містобудівної діяльності в Україні.

3. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів і висновків дослідження

Обґрунтованість і достовірність наукових положень забезпечуються системним підходом, логічною послідовністю дослідження та використанням комплексного методологічного апарату. Авторка застосувала процесний аналіз, багатокритеріальну оптимізацію (АНР, N-R-A), мікроелементне нормування, математичне та імітаційне моделювання, чисельні розрахунки методом скінченних елементів, а також хронометражні натурні спостереження.

Сформульовані моделі й алгоритми верифіковано на базі емпіричних даних, здобутих під час обстеження, проєктування та виконання робіт на реальних об'єктах промислового та цивільного призначення. Теоретичні висновки узгоджуються з експериментальними даними, а практичні результати підтверджено відповідними актами та довідками про впровадження.

4. Оцінка наукової новизни основних результатів та висновків дисертаційної роботи

Наукова новизна роботи полягає у формуванні наукоємної КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель. Основні результати оцінюються за такими рубриками:

Уперше:

- розроблено концепцію КТС забезпечення якості підсилення каркасних будівель як керованої багатокритеріальної системи перетворень, що охоплює ієрархічну модель множини КТР/ОТР та розглядає BIM і Lean як її структурні компоненти;
- запропоновано BIM-орієнтовану інформаційно-аналітичну підсистему з оцінюванням моделей за трикритеріальною системою N-R-A (надійність, ефективність, сталість), розроблено методику ранжування альтернатив із використанням індексу порівняльної доцільності;
- обґрунтовано формалізований механізм узгодження моделей КТР та ОТР у просторі, що досліджується на основі матриці відношень і комплексу CRIST;
- реалізовано імітаційний підхід до оцінювання технологічних моделей підсилення на основі серії прогонів сценаріїв організації робіт та оцінки зниження ресурсних витрат і ризиків.

Удосконалено:

- основи оцінювання якості підсилення через перехід до системного багатокритеріального аналізу з урахуванням технологічності, просторових обмежень і екологічної безпеки;

- методичні положення щодо обстеження й оцінювання технічного стану залізобетонних і металевих каркасів на основі систематизації дефектів і причин їх розвитку;
- методику аналізу та нормування трудових витрат шляхом введення інтегрального коригувального коефіцієнта комбінованого впливу факторів реконструкції у мікроелементні норми часу;
- підходи до формування ОТР із розмежуванням їх на моделі реалізації та моделі управління/оптимізації з урахуванням обмежень робочих зон і виробничого середовища.

Набули подальшого розвитку:

- теоретичні положення щодо реконструкції каркасних будівель як керованого процесу зміни їхнього технічного стану під впливом просторово-планувальних і технологічних чинників;
- методичні підходи до моделювання технологічних схем підсилення на основі комбінаторного аналізу та мережевих моделей;
- наукові положення щодо використання композитних матеріалів (FRP, FRCM, TRM) у реконструкції та інтеграції BIM, Lean та цифрових двійників (Digital Twin), моніторингу SHM і штучного інтелекту в середовище Construction 4.0.

Висновок щодо наукової новизни: Дисертація є цілісною науковою роботою, яка формує новий напрям у технології й організації реконструкції будівель за рахунок синергії цифрового моделювання, ощадливого управління та багатокритеріального оцінювання.

5. Практична цінність поданих у дисертації результатів та висновків

Практична цінність полягає в доведенні теоретичних розробок до рівня інженерних методик, розрахункових моделей та практичних рекомендацій. Запропоновані підходи дозволяють обґрунтовано обирати КТР і ОТР, підвищувати точність нормування праці, скорочувати терміни й вартість виконання робіт, а також знижувати виробничі ризики.

Результати дослідження впроваджено в практику проєктування та будівництва (ТОВ «Укргіпротранс», ФОП Шутенко В.В.), а також у навчальний

процес КНУБА при підготовці фахівців за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

6. Оцінка змісту і структури дисертаційної роботи

Дисертація має логічну побудову й цілісну структуру. Робота складається зі вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку джерел (295 найменувань) та 3 додатків. Загальний обсяг становить 558 сторінок (основний текст — 446 сторінок, містить 180 рисунків та 75 таблиць). Зміст розділів послідовно розкриває поставлені завдання, а ілюстративний матеріал наочно відображає основні результати.

7. Висновок щодо відсутності (наявності) порушення академічної доброчесності

Аналіз дисертації та публікацій здобувачки свідчить про дотримання вимог академічної доброчесності. Робота є самостійним дослідженням, текстуальних запозичень без посилань, фабрикації чи фальсифікації даних не виявлено. Обсяг аналізу відомих джерел не перебільшує рекомендації МОН України ($\leq 20\%$). Дисертація не дублює матеріал раніше захищеної кандидатської дисертації Рудневої І.М. (2006 р.), яка мала іншу наукову тематику.

8. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Рудневої І.М. за рівнем наукової новизни, обґрунтованістю, обсягом і практичною значущістю повністю відповідає вимогам до докторських дисертацій за спеціальністю 05.23.08. Оформлення роботи відповідає чинним нормативним стандартам.

9. Зауваження та дискусійні положення щодо автореферату, змісту роботи та рекомендації щодо подальших досліджень здобувача

Зауваження до автореферату

Автореферат у цілому правильно та повно відображає основний зміст докторської дисертації І. М. Рудневої. Усі ключові вимоги МОН України щодо структури автореферату дотримані. Вказані нижче зауваження носять технічно-коригувальний характер і можуть бути легко усунені або роз'яснені здобувачкою під час прилюдного захисту. А саме:

1. В авторефераті є незначні синтаксичні, синтагматичні і стилістичні помилки та орфографічні і друкарські огріхи

1.1. С. 5 (Розділ 4): «*Di* – функціональна група, **пов'язана** з причиною виникнення дефекту» пропущено апостроф (**пов'язана**).

1.2. С. 6 (Розділ 6): «*МКТi*- моделі *КТР*, *МОТj*- моделі *ОТР*» відсутній пробіл після дефісів / тире.

1.3. С. 7 (Підпис під Рис. 20): «Порівняння середніх **т**родовитрат в традиційній *М1*...» друкарська помилка в слові (**т**рудовитрат).

1.4. С. 8 (Текст перед Табл. 1): «...процес підсилення інтерпретується як керована система перетворень... а вибір *КТР* здійснюється за кількісними та якісними критеріями...» слово «інтерпретується» краще замінити на науковий термін «формалізується» або «розглядається».

1.5. Англomовний абстракт (ABSTRACT, с. 10):

Написано: «*Parametric models of working conditions have been **с**formed...*»

Помилка: Змішування кирилиці та латини всередині слова («**с**formed» замість «*formed*» або «*developed*»).

2. Зауваження до змісту автореферату

2.1. Недостатність математичного опису агрегування в індексі порівняльної доцільності:

На с. 7 автореферату наведено графік (Рис. 14) та Таблицю 1 із результатами багатокритеріального оцінювання моделей (*МКТ1*–*МКТ11*), де фігурує «Індекс порівняльної доцільності» (у відсотках, наприклад, 100% для *МКТ2.1* та *МКТ9.1*).

Зауваження: В авторефераті відсутня пряма математична формула розрахунку цього індексу. Незрозуміло, як саме агрегувалися ранги від 1 до 9 і вагові коефіцієнти АНР (метод аналізу ієрархій) у кінцевий відсоток. Бажано б було навести формулу в авторефераті.

2.2. Співвідношення між **FRP**, **FRCM** та **TRM**:

У «Науковій новизні» (с. 3) згадуються системи підсилення **FRP**, **FRCM** та **TRM**. Проте в експериментально-імітаційній частині автореферату (Табл. 1, Рис. 14, Модель 4) оцінюється **виключно FRP** (полімерні композити).

Зауваження: Слід було б уточнити в авторефераті, чому системи на мінеральних в'язучих (TRM/FRCM) не увійшли до підсумкового багатокритеріального порівняння 4-х технологічних моделей, хоча вони оголошені у новизні як засіб підвищення вогнестійкості.

2.3. Декларація штучного інтелекту (ANN, ML) та цифрових двійників (Digital Twin):

В авторефераті на Рис. 15 та у тексті (с. 3, 8) неодноразово згадується використання *Artificial Neural Networks (ANN)*, *Machine Learning (ML)* та *Digital Twin*.

Зауваження: З тексту автореферату не видно, яка саме архітектура нейромережі використовувалася, на яких обсягах навчальних даних (Data Set) вона навчалася і для вирішення якої конкретно задачі (розпізнавання дефектів чи прогнозування часу). Якщо це лише концептуальна можливість інтеграції в майбутньому, її, на мій погляд, слід позиціонувати як перспективу, а не як повністю реалізований результат.

Зауваження до дисертації

1. Незважаючи на загальну логічну структуру дисертації, в окремих розділах трапляються повторення опису методичних положень, критеріїв оцінювання та окремих елементів конструктивно-технологічної системи. Часткове узагальнення цих положень сприяло б підвищенню компактності викладу.

2. Окремі рисунки, що містять складні функціональні схеми та алгоритми, доцільно було б подати у більшому масштабі або винести до додатків, що покращило б їх сприйняття та деталізацію.

3. При вибірковій та суцільній перевірці рукопису виявлено поодинокі синтаксичні, стилістичні русизми та друкарські помилки (рукопис загалом написаний на високому науковому рівні, проте потребує технічного редагування). Воно може бути зроблено при підготовці монографії за результатами дисертаційних досліджень.

4. Тематика дисертації охоплює системний підхід, Lean, BIM, багатокритеріальний аналіз (АНР, N-R-A), FRP-підсилення та мікроелементне

нормування при реконструкції. Хоча список джерел здобувачки є розширеним (295 найменувань), у дисертації недостатньо або повністю не висвітлено низку спеціалізованих праць та патентів:

4.1. Автор зазначає актуальність відбудови після бойових дій, проте не аналізує спеціальні нормативно-методичні документи щодо оцінювання технічного стану залишків каркасів після термобаричних та динамічних вибухових впливів. А саме:

- *Методичні рекомендації щодо проведення обстеження пошкоджених внаслідок військових дій будівель та споруд* (розроблені НДІБК відповідно до Постанови КМУ № 423 від 05.04.2022 р.).
- *ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні засади забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»* (у частині нових змін щодо оцінки пошкоджень від вибухових навантажень).

4.2. Робота акцентує увагу на полімерних FRP-системах. У той же час поза глибоким оглядом залишилися текстильно-армовані розчини (TRM/FRCM) на мінеральних зв'язуючих, які мають вищу вогнестійкість (що критично при відбудові після пожеж і вибухів). Наприклад:

- *De Santis, S., de Felice, G. (2018). "Tensile behaviour of Fibre Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) composites for strengthening of structures". Construction and Building Materials.*

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.160>

- *Triantafyllou, T. C. (2016). "Textile Reinforced Mortar (TRM) versus FRP in Strengthening of Concrete Structures". Journal of Materials in Civil Engineering.* [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001488](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001488)

4.3. Хоча здобувачка має 3 власні патенти України (№ 149077, 149335, 151802), огляд патентного фонду країн з активним досвідом відновлення споруд після бойових дій/катастроф (Ізраїль, Іран, США) у Розділі 1 практично відсутній, що послаблює патентно-інформаційне обґрунтування новизни. Це могли бути зокрема наступні патенти:

- **Ізраїль (IL):**

- *Patent IL241893A (2019)*: "Method and system for structural reinforcement of buildings against seismic and blast impact". (У роботі відсутній аналіз ізраїльських патентованих засобів швидкого сейсмо- та вибухозахисного підсилення каркасів без зупинки експлуатації).

- **Іран (IR):**

- *Patent IR102341B (2020)*: "Hybrid carbon-basalt fiber composite jacket for reinforced concrete column rehabilitation under dynamic loads". (Застосування гібридних базальто-вуглецевих оболонок для з/б колон під динамічні навантаження).

- **США / США-Військовий інженерний корпус (US Army Corps of Engineers):**

- *US Patent 10,415,252 B2 (2019)*: "Rapid structural retrofitting and reinforcement system using modular composite panels". (Швидке структурне переобладнання та система армування цементом з використанням модульних композитних панелей) <https://patents.google.com/patent/US10415252B2/en>

- **РФ (RU):**

- *Патент RU 2712534 C1 (2020)*: "Способ усиления железобетонных колонн каркаса здания при локальных повреждениях".

5. Стосовно можливих перспектив розвитку отриманих результатів здобувачка вказує на перспективність переходу від описових класифікацій до цифрового підтримуваного, алгоритмізованого прийняття рішень у концепції Construction 4.0, інтеграції штучного інтелекту/нейромереж (ANN, ML), цифрових двійників (Digital Twin) та систем моніторингу технічного стану (SHM) у реальному часі.

На мій погляд перспективи розвитку результатів, що отримані у дисертації – значно ширші. Крім того, що сформульовано та обґрунтовано автором, можливо додати наступне:

5.1. **Автоматизація збору даних через IoT та Drone-Scanning:**

автоматичне оновлення BIM-моделі КТС під час обстеження за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з лазерним скануванням та авто-ідентифікацією дефектів нейромережами (Computer Vision).

5.2. Предиктивна аналітика зносу: Розробка розрахункових модулів оцінки залишкового ресурсу підсилення в умовах циклічних сейсмічних чи вибухово-динамічних навантажень протягом життєвого циклу.

5.3. Роботизація процесів підсилення: Створення алгоритмів управління будівельними роботами/роботизованими маніпуляторами для автоматизованого нанесення FRP-стрічок чи торкретування у важкодоступних і небезпечних для людини зонах.

6. І останнє, що б могло суттєво покращити результати роботи

6.1. Розширення патентного огляду: Доповнення 1-го розділу аналізом світових патентів (Ізраїль, США, ЄС) щодо швидкого аварійного підсилення каркасів.

6.2. Поглиблення експериментальної бази TRM/FRCM: Включення порівняльного аналізу FRP (полімерних) та FRCM (на цементній основі) систем підсилення за критерієм вогнестійкості в умовах пожеж.

6.3. Програмно-модульна реалізація: Представлення розробленого алгоритму вибору КТР у вигляді забігаючого наперед готового програмного модуля (або плагіна для Revit/Graphisoft), а не лише у формі математичних блок-схем та таблиць.

6.4. Натурні випробування у реальному масштабі: Доповнення імітаційного моделювання даними натурних випробувань повномасштабних фрагментів підсилених каркасів (наприклад, рамних вузлів) статико-динамічними навантаженнями.

Я впевнений, що здобувач зверне на це увагу в подальших дослідженнях.

Вказані зауваження носять науково-дискусійний і рекомендаційний характер, не применшують високої наукової та практичної цінності дисертації і не впливають на позитивну оцінку роботи в цілому.

10. Загальний висновок

Дисертаційна робота Руднєвої Ірини Миколаївни «Конструктивно-технологічна система забезпечення якості підсилення каркасних будівель під час реконструкції» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому

розв'язано важливу науково-прикладну проблему забезпечення якості реконструкції будівель.

Отримані результати характеризуються високим рівнем наукової новизни, теоретичною обґрунтованістю, практичною значущістю та підтверджені апробацією й впровадженням. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, обґрунтованістю висновків дисертація відповідає вимогам пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197, та вимогам наказу МОН України № 1220 від 23.09.2019 р.

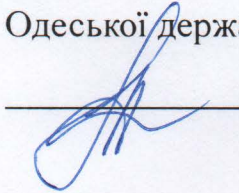
На підставі викладеного вважаю, що **Руднєва Ірина Миколаївна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 – технологія та організація промислового та цивільного будівництва.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,

в.о. завідувача кафедри будівельних технологій

Одеської державної академії будівництва та архітектури

 **Олександр МЕНЕЙЛЮК**

Підпис професора МЕНЕЙЛЮКА О.І. засвідчую:

