

Голові спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»,
д.т.н., доценту Марущак Уляні Дмитрівні

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук,
доцента **Коробки Сергія Васильовича** на дисертацію

**“Енергоефективні геліосистеми інтегровані в світлопрозорі конструкції
будівель”**, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

(кандидата технічних наук) **Венгрин Ірини Іванівни** за спеціальністю:

192 – Будівництво та цивільна інженерія, в галузі знань:

19 – Архітектура та будівництво

1. Актуальність вибраної теми дисертаційної роботи

Підвищення ефективності будівництва та технічне переоснащення цивільної інженерії є однією з важливих умов успішної реалізації програми розвитку нашої держави. Відомо, що енергоспоживання України є приблизно вдвічі вищим порівняно із західноєвропейськими країнами. Це пояснюється домінуванням в Українській економіці енерго- і матеріаломістких галузей промисловості. Крім того, 90 % енергозабезпечення України здійснюється за рахунок технічних джерел енергії. У свою чергу вичерпання запасів традиційних видів палива (кам'яного вугілля, нафти тощо) для отримання технічних джерел енергії вимагає використання нетрадиційних, екологічно чистих й відновлювальних видів теплової і електричної енергії, зокрема для доповнення традиційних систем енергопостачання будівель і споруд. Тому, дисертаційні дослідження автора в даній роботі присвячені актуальним питанням поєднання сучасних архітектурних рішень із використанням гібридних установок, що працюють за рахунок енергії Сонця, на прикладі запропонованої ідеї перетворення віконних склопакетів в активні приймачі сонячної енергії на основі нанесення селективно-поглинаючих

покриттів. Тому, цілеспрямований пошук шляхів насамперед вимагає детального теоретичного опрацювання з метою поєднання оптимальних технічних рішень з сучасними тенденціями в архітектурі та вимогами комфортних умов проживання.

Отримані раніше принципово важливі результати у фундаментальних дослідженнях вітчизняних і закордонних вчених не повністю відображають складну багатогранну картину в обґрунтуванні та вдосконаленні існуючих енергоефективних геліосистем в основі яких є теплові та фотоелектричні гібридні сонячні колектори, які інтегровані в світлопрозорі конструкції будівлі. Таким чином, вирішення питання ресурсозбереження ускладнюється ще й тим, що раціонального використання теплових та фотоелектричних гібридних сонячних колекторів, що інтегровані в частину світлопрозорого фасаду будівлі в системі сонячного енергопостачання є мало дослідженими в світовій практиці.

Тому вважаю, що наукові дослідження й технічні напрацювання, виконані автором дисертації, є актуальними як у науковому, так і в прикладному аспектах і мають безперечне народногосподарське значення.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Автором встановлено мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень. Позитивним моментом дисертаційної роботи при цьому є те, що виконані в ній дослідження становлять складову частину програми науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка» і мають номер державної реєстрації відповідно до плану госпдогвірної та грантової науково-дослідної роботи за темами: «Розроблення енергоощадних заходів АЗС с. Солонка» (№ 0115U000448, 11.2014-07.2015 рр.); «Комбіновані системи сонячного теплопостачання для енергоефективних будинків» (№ 0116U008628, 09.2016-12.2016 р.); «Розрахунок ефективності та окупності системи сонячного теплопостачання, елементи якої інтегровані в архітектурні конструкції будівлі» (№ 345, 04.2020).

3. Мета, об'єкт та предмет роботи, вірогідність наукових положень

Мета роботи полягає в науковому обґрунтуванні та вдосконаленні енергоефективних геліосистем в основі яких є теплові та фотоелектричні гібридні

сонячні колектори, які інтегровані в світлопрозорі конструкції будівлі.

Об'єкт дослідження – тепловий та фотоелектричний гібридний сонячний колектор, що інтегрований в частину світлопрозорого фасаду будівлі в системі сонячного енергопостачання.

Предмет дослідження – теплотехнічні характеристики теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора, інтегрованого в світлопрозорий фасад будівлі в системі сонячного енергопостачання.

У роботі застосовано сучасні фізико-математичні та експериментальні *методи* теоретичних досліджень, сучасні розрахункові методи визначення тепло- та електротехнічних параметрів теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора, наукове моделювання роботи системи сонячного енергопостачання, економічні та статистичні методи оцінки доцільності розробленої конструкції.

Вірогідність отриманих результатів дисертаційних досліджень, виходячи з описаних методів та умов їх проведення, оцінок аналогічних досліджень, є достовірними і такими, які можна відтворити. Основні результати виконаних досліджень і їх аналіз та висновки виконані задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень. В окремих випадках, однак, подані результати, що не мають оцінки ймовірної похибки. Це стосується, наприклад, встановлення взаємозв'язку між повним коефіцієнтом теплопередачі теплових втрат конструкції теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора (ТФГСК), інтегрованого в світлопрозорий фасад будівлі та температурою нагрівання теплоносія в баку для акумулювання теплової енергії від зміни фізичних параметрів навколишнього середовища.

4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Наукова новизна отриманих результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні теплотехнічних та електричних параметрів конструкції теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора, що є в основі розробленої методики розрахунку запропонованої конструкції в системі сонячного енергопостачання. Також, в

дисертаційному дослідженні вперше отримано оптичні характеристики розробленої конструкції теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора на основі комп'ютерної моделі. Отримані результати оптичних характеристик дали змогу науково обґрунтувати тепло- та електротехнічні процеси, що проходять в системі сонячного енергопостачання в основі яких є запропонована конструкція. Таким чином, досягнуті І. І. Венгрин результати можна вважати новими. З іншого боку, цілком слушним вважаю те, що дисертаційна робота І. І. Венгрин – це продовження теоретичних і прикладних положень в роботі, зокрема визначення залежності впливу вітрового потоку на енергетичні параметри конструкції теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора, що дає змогу уточнити розроблену методику розрахунку запропонованої конструкції в системі сонячного енергопостачання. Тому такими, що набули подальшого розвитку в даній дисертації, можна вважати встановлений взаємозв'язок між повним коефіцієнтом теплопередачі теплових втрат конструкції теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора (ТФГСК), інтегрованого в світлопрозорий фасад будівлі та температурою нагрівання теплоносія в баку для акумулювання теплової енергії. Крім цього, у цій роботі обґрунтовано можливість інтегрування енергоефективної геліосистеми в основі якої є конструкція ТФГСК в світлопрозорий фасад будівлі.

Вважаю, що елементи наукової новизни сформульовані, загалом, коректно, їх кількість та кваліфікаційні ознаки відповідають нормативним вимогам.

5. Практичне значення отриманих результатів дослідження

Практична цінність одержаних результатів полягає у наступному: проведені в дисертаційній роботі теоретичні та експериментальні дослідження доповнюють сучасні інженерні рішення щодо вдосконалення енергоефективних геліосистем в основі яких є застосування конструкцій теплових та фотоелектричних гібридних сонячних колекторів, інтегрованих в світлопрозорий фасад будівлі. Розроблена конструкція теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора запропонована для використання енергопостачання будівель та споруд, а загальна максимальна енергетична ефективність системи сонячного

енергопостачання в основі якої є запропонована конструкція досягає 30 %. Розроблені теплові та фотоелектричні гібридні сонячні колектори можуть бути використані для сонцезахисту споруд із збільшеним коефіцієнтом скління. Схемні рішення варіантів інтегрування ТФГСК дозволяють економити корисну площу будівлі чи поверхні землі, необхідну для встановлення звичайних конструкцій сонячних колекторів. Використання в конструкції колектора скла із селективним напиленням дозволило генерувати електричну енергію без перегрівання фотоелементів. Розроблено методику інженерного розрахунку теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора, що інтегрований в частину світлопрозорого фасаду для якісного енергопостачання енергоефективних будівель. Результати теоретичних та експериментальних досліджень пройшли апробацію в умовах ТОВ «Техноклас» (акт про використання в науково-дослідній діяльності результатів даного дисертаційного дослідження, наведений в Додатку Г) та ТОВ «Оазис Комфорт» (акт про впровадження методики та алгоритму розрахунку конструкції теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора №68/21 від 20.09.21 р., наведений в Додатку Г дисертаційного дослідження).

Методика математичної статистики для обробки експериментальних даних дає змогу обробити експериментальні дані, проаналізувати достовірність результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

6. Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих наукових працях та особистий внесок здобувача

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні теми, мети та вирішенні основних теоретичних та експериментальних завдань, які поставлені в роботі. Дисертантом проведено пошук та аналіз вітчизняної та закордонної літератури, розроблено та розраховано наукову модель теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора інтегрованого в світлопрозорий фасад будівлі, виконано експериментальні дослідження, обґрунтовано концепцію застосування геліосистеми та запропоновано практичні схемні рішення в основі яких є теплові та фотоелектричні гібридні сонячні

колектори. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях 31 наукова праця, зокрема: 4 статті, що включені до наукометричної бази даних Scopus; 1 стаття, що включена до наукометричної бази даних Index Copernicus; 5 статей опублікованих в науковому періодичному виданні іншої держави; 11 статей опублікованих у науковому фаховому виданні України; 11 тез доповідей на вітчизняних та міжнародних наукових з'їздах, конференціях та конгресах; отримано 3 патенти на корисну модель України.

7. Короткий аналіз ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації

Структура дисертації складається зі вступу, загальної характеристики роботи, п'яти розділів основної частини, висновків, літературних джерел і додатків. Основну частину роботи викладено на 227 сторінках машинописного тексту. Робота ілюстрована 14 таблицями та 110 рисунками. Список використаних джерел містить 190 найменувань, з них 122 кирилицею та 68 латиницею.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами. Науково коректно сформульовано мету, яка корелює з темою та конкретизується у завданнях, окреслено об'єкт та предмет роботи. Зазначено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів та особистий внесок здобувача. Наведено інформацію про апробацію і публікації результатів досліджень, структуру і обсяг дисертаційної роботи.

У *першому розділі* проведено огляд літератури за темою, сформульовано напрямки наукових досліджень. Показано перспективність інтегрування елементів системи сонячного енергопостачання в конструкції світлопрозорих фасадів будівель. З метою досягнення поставленої мети, проведено огляд існуючих методик розрахунку ефективності роботи конструкцій сонячних колекторів в системах електро- та теплопостачання. Крім цього, проаналізовано основні принципи роботи фотоелементів з метою визначення специфіки їх функціонування для використання в гібридних системах енергопостачання. Охарактеризовано принцип роботи фотоелементів на базі одно-, дво- та багаторівневого $p-n$ переходу. Виконано класифікацію фотоелементів, які

застосовуються в фотоелектричних сонячних колекторах. Здійснено патентні дослідження та наведено сучасні конструкції теплових та фотоелектричних сонячних колекторів. Описано комплексні енергоефективні геліосистеми для електро- та теплопостачання з метою інтегрування елементів цих систем в конструкцію світлопрозорого фасаду будівлі. Відмічено, що найперспективнішими напрямками удосконалення систем сонячного енергопостачання (ССЕП) із гібридними сонячними колекторами є пошук інноваційних, ефективних та економічних рішень щодо інтегрування елементів ССЕП в архітектурні конструкції світлопрозорих захищень будівель.

У цілому, висновки першого розділу дають підставу вибрати ті теоретичні засади, на базі яких можна було б дослідити явище сумісності технологічних процесів отримання теплової і електричної енергії за рахунок Сонця для підвищення енергоефективності установок під час перетворення сонячної енергії в теплову та електричну на початку їхнього проектування та експлуатації в системах енергопостачання будівель та споруд. З іншої сторони, не варто було б робити надто деталізовано опис методики розрахунку параметрів теплових і фотоелектричних сонячних колекторів.

У другому розділі розроблено конструкцію теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора (ТФГСК), виконано теоретичні дослідження теплових та електричних процесів на основі комп'ютерної та математичної моделі запропонованої конструкції. На основі статистичних даних, отримано графічні та аналітичні залежності для розрахунку сумарної річної сонячної радіації, що надходить на вертикальні фасади будівель та споруд залежно від географічної широти та орієнтації фасаду відносно сторін світу. Аналітично отримано рівняння залежності коефіцієнта перерахунку i -ої години доби, що входить в основу теоретичного розрахунку температури довкілля для i -тої години j -місяця. Створено та описано комп'ютерну модель ТФГСК, яка дала змогу встановити коефіцієнт пропускання неполяризованого випромінювання для системи прозорих покриттів конструкції ТФГСК в залежності від кута надходження випромінювання. Крім цього, отримано дані усередненої поглинальної здатності

ТФГСК. Побудовано спрощену математичну модель теплових процесів ТФГСК, що дали змогу отримати наукові дані, що необхідні для розрахунку енергетичних параметрів ТФГСК. Відзначено необхідність проведення експериментальних досліджень з метою визначення: коефіцієнта відведення теплової енергії та теплопередачі теплових втрат, теплової та електричної ефективності ТФГСК.

Венгрин І. І. показала у другому розділі дисертації аналітичні дослідження теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора. Назви окремих пунктів другого розділу варто було б узгоджувати із викладеним матеріалом. Як недолік можна зазначити те, що теоретичні викладки надто переобтяжені математичними перетвореннями виразів, які можна було б упустити або винести у додатки.

У третьому розділі виконано комплекс експериментальних досліджень конструкції ТФГСК в геліосистемі. Отримано математичні рівняння для визначення теплової та електричної ефективності в залежності від: відстані, на якій розташовувався ФЕ від площини тильної сторони теплопоглинача ТСК; інтенсивності імітованого потоку теплової енергії, що випромінює джерело; швидкості вітру; кута між сприймаючою поверхнею та проекцією напрямку вітрового потоку у вертикальній площині ТФГСК (кут надходження вітрового потоку); кута між сприймаючою поверхнею та проекцією напрямку теплового потоку у горизонтальній площині ТФГСК. Отримані рівняння дали змогу розрахувати теплову та електричну ефективність ТФГСК в залежності від факторів, що діятимуть на конструкцію в ранковий, вечірній та обідній періоди доби. Досліджено вплив швидкості вітру на зміну теплової ефективності конструкції ТФГСК. Встановлено, що швидкість вітру від 2 м/с до 4,5 м/с включно, зумовлює зменшення ефективності ТФГСК без селективного покриття в частині генерування теплової енергії в середньому на 7 %, у випадку якщо швидкість вітру більше 4,5 м/с – на 6 %. Конструкція ТФГСК з селективним покриттям за дії швидкості вітру від 2 м/с до 4,5 м/с включно знижує свою ефективність в середньому на 3,5 %, за швидкості вітру більше 4,5 м/с – на 6 %, що дає змогу стверджувати про кращу стійкість конструкції ТФГСК з

селективним покриттям до малих швидкостей вітру. Визначено, що наявність фотоелементів, підвищує теплову ефективність конструкції без та з селективним покриттям в середньому на 6%. Отримано номограми для визначення теплової або електричної ефективності конструкції ТФГСК з селективним покриттям за впливу різної інтенсивності імітованого потоку теплової енергії, кута між сприймаючою поверхнею та проекцією напряму теплового потоку у вертикальній площині ТФГСК та відстані, на якій розташували ФСК відносно площини тильної сторони теплопоглинача ТСК. Досліджено, що повний коефіцієнт теплопередачі теплових втрат ТФГСК, усереднене значення якого за відсутності селективного покриття становить $9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, а за його наявності – $7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Проаналізовано рівень освітленості в приміщенні під час застосування ТФГСК інтегрованого в світлопрозорий фасад будівлі залежно від частки затінення сонцепоглинаючої поверхні ТФГСК, площею та кутом повороту фотоелектричного сонячного колектора. Кут повороту визначався між сприймаючою поверхнею фотоелектричного колектора та тильною поверхнею теплового колектора в конструкції ТФГСК. Отримані значення коефіцієнта природнього освітлення відповідають нормованим показникам для цивільних будівель. На основі натурних досліджень енергетичної ефективності конструкції ТФГСК отримано рівняння регресії для визначення обсягу теплової енергії, що зможе отримати споживач під час використання ССЕР в основі якої є конструкція ТФГСК з селективним покриттям.

Для дослідження використовували стандартне та експериментальне обладнання. Велику увагу приділено точності визначення значень. Згідно з розробленою програмою виконали натурні випробування теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора залежно від зміни фізичних параметрів навколишнього середовища. Однак, вони не позбавлені того недоліку, що не мають кількісної оцінки ймовірних похибок вимірювання часових параметрів зміни фізичних параметрів навколишнього середовища які, як відомо, на практиці мають випадковий характер під час натурних випробувань для конкретного періоду. Також треба зазначити, що методологія експериментів

дисертації є дещо застарілою і надто деталізованою, наприклад недоцільним є поглиблений опис методик і результатів дослідження в одному розділі.

У четвертому розділі запропоновано покращену методику та алгоритм розрахунку ССЕР із конструкцією ТФГСК. Розроблено теоретичний розрахунок прогнозованої температури в баку для акумулювання теплової енергії в різний період року. За умов відомого об'єму баку для акумулювання теплової енергії та встановлених в ході теоретичних, експериментальних досліджень параметрів коефіцієнтів відведення теплової енергії та теплопередачі теплових втрат конструкції ТФГСК, було, визначено його теплопродуктивність в режимі ВЦТ, ПЦТ, залежно від площі ТФГСК. Досліджено, що температура теплоносія для конструкції ТФГСК із селективним покриттям в середньому на 6 % більша, ніж із звичайним склом. В роботі, побудовано графічні залежності коефіцієнта заміщення сонячної енергії в покритті теплового навантаження для однородинного сімейного будинку від співвідношення активної площі ТФГСК до площі забудови. Отримано номограму встановлення коефіцієнта заміщення сонячної енергії для СГВП в ССЕР із ТФГСК для багатоповерхової громадської будівлі (≤ 10 поверхів). В розділі, проаналізовано вартість встановлення конструкції ТФГСК в ССЕР за різних співвідношень ціни на органічне паливо та електроенергію. Доведено можливість економії коштів та енергоресурсів за використання в ССЕР конструкції ТФГСК із селективним покриттям. Обґрунтовано економічну доцільність за допомогою параметра чистих грошових надходжень, що дозволило розрахувати абсолютну величину економічного ефекту від реалізації світлопрозорого фасаду. Доведено, що динаміка інтегрального показника економічної вигоди позитивна для конструкції ТФГСК, тому ССЕР, що працюють в режимі ВЦТ та ПЦТ для однородинного сімейного будинку мають термін окупності не більше 10 років.

Як недолік даного розділу можна зазначити, що при побудові графічних експериментальних залежностей не вказуються експериментальні точки, на основі яких виконано побудову.

У п'ятому розділі наведено практичні рекомендації щодо використання

результатів досліджень отриманих на основі аналітичних та експериментальних даних для геліосистеми інтегрованої в світлопрозорий фасад будівлі в основі якої є конструкція ТФГСК. Розроблено схемні рішення ТФГСК з рухомими ролетами, ламелями, вентиляційним пристроєм. Побудовано моделі споруд для однородинного сімейного типу, в світлопрозорий фасад яких інтегровано конструкцію ТФГСК та наведено комплексне варіювання розташування ФЕ для такої будівлі. Максимальна ефективність роботи ССЕП для запропонованого типу будівлі у місті Львові становить 30 %. Враховано розташування фотоелементів на вертикальних та горизонтальних ролетах в якості сонцезахисного пристрою із можливістю повороту навколо своєї осі, регулювання проценту затінення приміщення. Розроблено практичні схемні рішення енергоефективної ССЕП в будівлі із світлопрозорим фасадом, а також описано принцип їхньої роботи.

На нашу думку, пропозиції виробництву варто було б конкретизувати практичні рекомендації та екологічне обґрунтування застосування теплового та фотоелектричного гібридного сонячного колектора в системі сонячного енергопостачання однотипного сімейного будинку у різних природно-кліматичних зонах України.

Завершується робота досить розгорнутими висновками, які впливають зі змісту роботи, є логічними, слугують віддзеркаленням основних результатів дисертаційної роботи.

8. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

Позитивно оцінюючи здобутки Венгрин І. І., вважаю за необхідне зазначити такі дискусійні положення та зауваження до поданої дисертаційної роботи:

1. В тексті дисертації застосовано надмірне використання близьких за написанням і звучанням аббревіатур, які ускладнюють сприйняття матеріалу.
2. В тексті дисертації часто вживаються надто довгі речення, подібні до формулювань прийнятих у патентній літературі, які проте не завжди однозначно розкривають суть проблеми.

3. Читання тексту ускладнюється невластивими для сонячної енергетики словосполученнями. Наприклад «фотоелектричний колектор» доцільніше замінити на «фотоелектричний модуль» або «фотопанель» тощо

4. У роботі не згадано сучасні надійні методи математичного моделювання процесів теплопереносу у повітряних колекторах, детально опрацьованих у доступних публікаціях.

5. Пропущений селективно-поглинаючою поверхнею потік сонячної радіації відрізняється не тільки меншою інтегральною інтенсивністю, а й спектральним складом. Відтак, для мінімального послаблення видимих променів і забезпечення максимальної продуктивності фотоелементів, матеріал селективної поверхні повинен поглинати тільки в інфрачервоній області спектру – за червоною межею фотоефекту кремнію з довжиною хвилі $\lambda > \lambda_{\max} \approx 2,2$ мкм. Однак, спектральні обмеження продуктивності теплової і електричної генерації автором не розглядаються.

6. Значну частину теоретичного матеріалу дисертаційної роботи присвячено розрахунку загального коефіцієнта пропускання багат шаровими прозорими покриттями. У той же час експериментальні дослідження моделі гібридного колектора обмежені трьома сталими кутами падіння сонячних променів – 0, 30 і 60°, для яких коефіцієнт пропускання прийнято вважати практично незмінним.

9. Загальний висновок та оцінка дисертації

Вважаю, що текст дисертаційної роботи викладений чітко та в логічній послідовності. Матеріал дисертації достатньо проілюстрований схемами, рисунками, графіками і таблицями. Загальні висновки і рекомендації у дисертації випливають з проведених здобувачем досліджень та відображають основні результати роботи.

Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації відповідають вимогам, які ставляться до наукових праць. Тому, на підставі аналізу основної частини дисертації можу зробити висновок, що мета дисертаційної роботи в ході

виконання Венгрин І. І. дослідження були досягнуті, а її дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

Структура і обсяг дисертації відповідає встановленим вимогам відповідно до наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44) і є завершеною науково-дослідною роботою, яка поєднує прикладні, теоретичні та експериментальні дослідження за результатами яких отримано нові науково-обґрунтовані висновки.

Вказані зауваження не знижують, в цілому, якість наукових досліджень та отриманих результатів. Дисертація повністю відповідає встановленим вимогам щодо отримання наукового ступеня доктора філософії, а автор Венгрин Ірина Іванівна заслуговує присвоєння їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво (кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання).

Офіційний опонент,
доцент кафедри енергетики,
Львівського національного
університету природокористування,
кандидат технічних наук, доцент

04.05.2022р.

Сергій КОРОБКА

Підпис к.т.н., доц. Коробки С. В.
засвідчую, Вчений секретар
Львівського національного
університету природокористування,
к.е.н., доцент



Ірина ФЕДІВ