

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Безкорвайного Володимира Валентиновича про дисертаційну роботу Мельника Михайла Романовича «Моделі, методи та засоби дослідження та покращення акустичних властивостей закритих приміщень», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт до спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті «Львівська політехніка»

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Зростання складності будівель, що проектуються, створюються чи експлуатуються в останні десятиліття у різних сферах людської діяльності та побуті породжує нові проблеми в галузі архітектурної акустики. Поряд з завданнями ізоляції приміщень від проникаючих ззовні звуків у ній усе частіше розглядаються завдання поширення звукових хвиль у закритих і напівзакритих приміщеннях, вплив віддзеркалення і поглинання відбитих хвиль на чутність і розбірливість мови, музики, спеціальних звукових сигналів. Такі завдання є складовою технологій проектування чи реконструкції навчальних аудиторій, концертних залів, офісів, культових споруд, виробничих приміщень тощо. Для їх коректного розв'язання необхідне розроблення більш ефективних засобів і систем акустометрії. Виходячи з комплексного характеру процесів акустометрії, що передбачають аналіз частотних властивостей звукових хвиль, параметрів взаємодії компонентів середовища зі звуковими хвилями і динаміки затухання та реверберації звукових хвиль, проектування відповідних засобів пов'язане з необхідністю вирішення комплексу нових теоретичних і практичних завдань. В умовах цифровізації процесів архітектурного й інженерного проектування виникає потреба в ефективних засобах оцінки та покращення характеристик акустичних середовищ. Існуючі на теперішній час засоби та технології акустометрії не забезпечують необхідної гнучкості, масштабованості та інтеграції з сучасними CAD/CAM-системами.

Це обумовило **актуальність теми** дисертаційного дослідження, яке присвячене вирішенню науково-прикладної проблеми розроблення методів, моделей та апаратно-програмних засобів акустометрії, що відповідають

вимогам концепцій повсюдного комп'ютингу UC (Ubiquitous computing) та індустріального Інтернету речей IIoT (Industrial Internet of Things).

Тема дисертаційного дослідження відповідає пріоритетним тематичним напрямкам наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року і до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні, у сфері інформаційних та комунікаційних технологій «Кіберфізичні системи, Інтернет речей. Комп'ютерна обробка сигналів різних видів та походження», визначеним Постановами Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 і від 30 квітня 2024 року №476.

Свідченням актуальності теми дисертаційного дослідження є також те, що воно виконано у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт «Високоточні функціонально-інтегровані сенсорні пристрої для магнітної діагностики плазми» (ДБ/ВІС №0121U109618, 2021–2022 рр.), «Інноваційне використання твердотільних і нанокompозитних матеріалів для керування субтерагерцовим випромінюванням» (ДБ/СубТера №0119U100609, 2019–2021 рр.), міжнародних проєктів і програм, зокрема, NAWA – International Academic Partnerships Program: «Academic Partnership of Wroclaw University of Science and Technology» (Ref. no. PPI/APM/2018/1/00031, 2019–2022 рр.); «Science without borders» (Ref. no. PPI/APM/2018/1/00049, 2019–2021 рр.); TEMPUS-JPCR «Розробка програми для нової спеціальності: “Магістр з інженерії проєктування мікросистем”» (2012–2016 рр.); EduMEMS «Developing Multidomain MEMS Models for Educational Purposes (269295, FP7-PEOPLE-2010-IRSES, 2011–2016 рр.), в яких здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

СТРУКТУРА, ЛОГІКА ТА ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Дисертація складається з анотацій, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 350 найменувань, додатку, який містить п'ять документів про впровадження результатів роботи, і має загальний обсяг 422 сторінки (з них 347 сторінок основної частини).

Вступ дисертації розкриває суть, структуру і сучасний стан розв'язуваної у дисертаційній роботі науково-прикладної проблеми. У ній наведена загальна характеристика роботи, яка містить відомості щодо виконаного дисертаційного дослідження згідно з існуючими вимогами: актуальність теми дослідження; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; формулювання мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження; перелік використаних методів

дослідження; декларацію наукової новизни отриманих результатів; опис практичного значення та використання отриманих результатів дослідження; декларацію особистого внеску у спільні публікації за темою дисертаційної роботи; відомості про апробацію результатів дисертації; кількість і характер публікацій автора за темою дисертації.

Перший розділ роботи присвячений огляду сучасних методів і моделей, які використовуються для дослідження акустичних властивостей широкого класу об'єктів (закритих приміщень, безпілотних літальних апаратів, слухових апаратів, швидкості звуку під водою тощо). З урахуванням комплексності акустометрії розглянуто всі три групи характеристик, з використанням яких здійснюється аналіз акустичних властивостей закритих приміщень: частотні, імпедансні та динамічні, серед яких виділено частотний відгук, акустичний імпеданс, час реверберації і показники розбірливості мовлення та музичної чіткості. За результатами аналізу сучасного стану проблеми дослідження виділено три чинки домінуючого впливу на тенденції розвитку акустометрії: інтенсивне впровадження сучасних інформаційних технологій, розвиток смарт-технологій та інтелектуальних сенсорних систем і технологій автоматизованого проектування засобів дослідження акустики. На цій основі автором розроблена діаграма комплексного подання проблематики акустометрії, яка дозволила визначити сукупність взаємопов'язаних етапів розв'язання проблеми дослідження в рамках методології концептуального та проблемно-орієнтованого проектування.

У другому розділі викладено нові підходи до розв'язання задач акустометрії, зокрема, наведено опис розробленого автором методу векторного імпульсно-частотного зондування приміщень, який передбачає, що дослідження здійснюється шляхом збурень зондуючих імпульсів звукових коливань, тривалість та спектр яких оптимізується у відповідності до задач та умов експерименту. Формування зондуючих імпульсів запропоновано здійснювати з використанням векторного активування звукових коливань, а синтез набору інформативних сигналів – шляхом формування імпульсів звукових коливань з заданим відповідно до алгоритму дослідження набором одночастотних коливань, детектування яких здійснюється на основі кореляційних та автокореляційних методів частотної селекції. Автором обґрунтовано алгоритм формування зондуючих сигналів, способи просторово-частотної селекції і методику встановлення компромісу між просторовою роздільною здатністю та завадостійкістю. Подано загальний вид функції оптимізації тривалості імпульсів з урахуванням характеристик сигнального тракту, співвідношення сигнал/шум та

часу реверберації. Запропоновано рішення задач модельного аналізу сигнальних трактів у середовищі програмованих систем на кристалі PSoC і структуру імітатора віртуальних сигналів Data@Sim, призначеного для генерації акустичних даних з урахуванням параметрів середовища, фонових завад, інтерференції та характеристик вимірювальної техніки. Такий підхід забезпечує можливість аналізу алгоритмів селекції сигналів, тестування цифрових фільтрів та моделювання сценаріїв використання методів акустометрії.

Третій розділ роботи присвячений розробці методу побудови SPICE-макромоделей електроакустичних перетворювачів, який забезпечує можливість спільного аналізу електричних та акустичних імпедансних характеристик. Представлено концепцію побудови моделей P-Probe та U-Probe на основі MEMS-мікрофонів і термоанемометричних сенсорів, що дає змогу відтворити процеси вимірювання тиску та швидкості потоку в єдиній схемотехнічній структурі. Розроблено алгоритм синтезу аналітичних моделей у середовищі SPICE з використанням формальної аналогії: від електротермічного перетворення сигналів до моделювання часових процесів теплової релаксації. Запропоновано структури еквівалентних схем заміщення з урахуванням впливу шумів, нелінійності, теплових ефектів та функціональних залежностей.

У четвертому розділі наведено опис результатів розроблення структурно-функціональних рішень та моделі сигнальних трактів систем акустометрії. Запропоновано підхід до оптимізації процесів перетворення сигналів з урахуванням факторів завадостійкості, селективності та точності, розв'язано задачу SPICE-моделювання сигнальних компонентів: детекторів, інтеграторів, фільтрів, джерел шуму, а також аналізу характеристик трактів у частотній та часовій області. Представлено симулятор віртуальних сигналів Data@Sim, а також метод оптимізації тривалості імпульсу WP на основі компромісу між просторовою роздільною здатністю та частотною селективністю. Проведено порівняльний аналіз методів традиційного та кореляційного детектування сигналів, верифіковано ефективність моделі в умовах граничного співвідношення сигнал-завада.

У п'ятому розділі наведено опис запропонованих методів та використаних технічних засобів експериментального дослідження акустичних параметрів приміщень. Представлено структуру апаратно-програмного комплексу акустометрії, призначеного для формування, обробки й вимірювання сигналів, наведено детальний опис спеціалізованих актюаторів, широкосмугових мікрофонів, зондів для дослідження імпедансу та векторних випромінювачів.

Для підвищення точності вимірювань при значному рівні завад з використанням методу селективного підсилення заряду розроблено вбудовану вимірювальну систему AMES на базі PSoC. Наведено опис процесу створення SPICE-моделей, проведення осцилографічного контролю та спектрального аналізу за допомогою FFT і RTA-фільтрів. Запропоновано метод комплексної верифікації досліджень, спрямований на мінімізацію впливу шумів, спотворень та апаратних похибок на результати.

Шостий розділ роботи присвячений розгляду інноваційних методів визначення акустичних характеристик пористих матеріалів, зокрема, розроблено і реалізовано інверсний метод обчислення питомого опору повітряному потоку на основі моделі Мікі. Запропоновано рішення з удосконалення лабораторного обладнання та автоматизації процесів вимірювання із використанням цифрових сенсорів та графічного середовища LabVIEW. Для більш точного визначення питомого опору повітря автором запропоновано і реалізовано метод PLA (попередньої лінійної апроксимації), використання якого надає можливість уникнути похибок на низьких швидкостях повітряного потоку. Верифікація результатів проведена шляхом порівняння з даними, отриманими за допомогою імпедансної труби. Наведено опис розробленого програмного засобу для інверсного розрахунку та підбору параметрів акустичних матеріалів, використання якого відкриває перспективи для синтезу покриттів із заданими характеристиками звукопоглинання.

У сьомому розділі розроблено архітектуру та інформаційні моделі автоматизованої системи добору акустичних матеріалів, орієнтованої на підтримку проектних рішень у сфері акустичного середовища. Представлено модульну структуру, яка охоплює підсистеми класифікації матеріалів, добору звукоізоляційних покриттів, оцінювання акустичної якості приміщень за методом Беранека, інтеграцію з вимірювальними інструментами та засоби генерації звітної документації. Детально розглянуто методикку побудови логічних моделей даних, структур багаторівневих баз даних, принципи класифікації акустичних матеріалів відповідно до діючого стандарту ДСТУ Б В.2.7-183: 2009 «Будівельні матеріали. Матеріали та вироби будівельні звукопоглинальні і звукоізоляційні. Класифікація й загальні технічні вимоги» та методи автоматичного добору рішень із використанням SQL-запитів і програмного коду на Visual Basic. Запропоновані рішення мають важливе практичне значення для автоматизації проектування акустичних середовищ з урахуванням нормативних вимог, ефективності добору і інтеграції з CAD-середовищами.

У восьмому розділі представлено результати апробації розроблених методів акустичного аналізу закритих приміщень. Автор здійснив порівняльні дослідження експериментально визначених параметрів (насамперед часу реверберації) та результатів моделювання в системі САТТ-Acoustic. Практичне застосування реалізоване для об'єктів із різними архітектурними характеристиками: синагоги, церкви, драматичного театру, лекційної аудиторії.

Додатки містять копії актів впровадження результатів роботи в ДП «Національний академічний український драматичний театр ім. Марії Заньковецької» (м. Львів); в лабораторії технічної акустики кафедри Механіки і Віброакустики Краківської Гірничо-металургійної академії ім. С. Сташиця (Республіка Польща), у навчальному процесі на кафедрі систем автоматизованого проектування національного університету «Львівська політехніка», у держбюджетних науково-дослідних роботах МОН України (ДР № 0121U109618 та №0119U100609).

Зміст дисертаційної роботи відповідає її темі, меті та задачам дослідження. У викладенні результатів дослідження просліджується певна послідовність, етапи дослідження взаємопов'язані і вирішують локальні задачі, розв'язання яких у сукупності дозволяє досягти поставленої мети дослідження.

Оформлення дисертації та автореферату в цілому відповідають вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ №1197 від 17 липня 2021 р., та вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації, він адекватно відображає обсяг, зміст, основні положення та висновки дисертаційної роботи.

Тексти дисертації та автореферату подані у логічній послідовності з використанням загально прийнятої науково-технічної термінології. На всі відомі положення, що використовуються у роботі, є відповідні посилання.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У дисертаційній роботі наведено опис підходу до розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми розроблення методів, моделей та апаратно-програмних засобів акустометрії, що відповідають вимогам концепцій

повсюдного комп'ютерного та індустріального Інтернету речей. При цьому отримано ряд наукових результатів, що мають переваги над існуючими:

- запропоновано метод векторного імпульсно-частотного зондування приміщень, в якому інформативні сигнали акустометрії отримують шляхом формування наборів векторно-направлених одночастотних імпульсів звукових коливань та їх детектування кореляційними та автокореляційними методами частотної селекції, що створює основи для предметно-орієнтованого проектування комп'ютерних систем акустометрії відповідно до концепції повсюдного комп'ютерного;

- запропоновано метод оптимізації ширини зондуючого імпульсу, реалізований за критеріями сигналопоширення в середовищі, що надає можливість адаптувати параметри перетворення під конкретні акустичні умови дослідження;

- запропоновано метод синтезу імітаційних сигналів на основі SPICE-макромоделей перехідних процесів, що дає змогу застосовувати імітовані сигнали для машинного навчання в системах дослідження акустичних параметрів при високому рівні шуму;

- запропоновано інверсний метод визначення коефіцієнтів опору потоку повітря пористих матеріалів на основі коефіцієнтів звукопоглинання в діапазоні чутних частот, побудований на основі моделі Мікі, який дає змогу порівнювати результати отримані з лабораторної установки продуванням потоком повітря та отриманими із імпедансної труби за рахунок порівняння тільки одного числа опору потокові повітря;

- запропоновано модель конвертера для автоматизованого експорту геометрії із SketchUp у CATIA-Acoustic з автоматичним призначенням коефіцієнтів звукопоглинання, що дає змогу забезпечувати узгодженість між архітектурним і акустичним моделюванням;

- уперше реалізовано метод комплексної верифікації акустичних засобів, який поєднує аналіз інформативності сигналів, вплив шуму, спотворень, похибок вимірювання та якості калібрування, що дає змогу забезпечувати достовірність роботи автоматизованих вимірювальних систем та технологій їх автоматизованого проектування;

- набув подальшого розвитку метод електро-теплової аналогії та синтезу електроакустичних моделей вимірювальних перетворювачів, що дозволяє поєднати в одній SPICE-моделі сенсор тиску (P-зонд) і швидкості потоку (U-зонд) для комплексного моделювання вимірювальних трактів;

– набув подальшого розвитку метод структурно-функціонального синтезу вбудованих систем акустометрії на основі селективного підсилення заряду із застосуванням кореляційного перетворення і квадратурного детектування в середовищі програмованих систем на кристалі, що дозволяє підвищувати завадостійкість систем;

– удосконалено метод добору коефіцієнтів звукопоглинання акустичних матеріалів для системи Catt-Acoustic, який полягає у зворотному визначенні коефіцієнтів звукопоглинання через формулу Сабіна і дає змогу за одну ітерацію досягнути точність визначення часу реверберації до 0,5 с;

– удосконалено метод визначення опору потокові повітря, який описує залежність між швидкістю повітряного потоку та перепадом тиску, шляхом вибору діапазону даних для лінійної апроксимації використовуючи функцію залежності опору повітряному потоку до швидкості повітряного потоку, що дало змогу підвищити точність та повторюваність вимірювань порівняно з раніше використовуваним підходом;

– удосконалено метод добору акустичних матеріалів, який дав змогу використовуючи інверсний метод дібрати товщину та опір потоку повітря пористого матеріалу для отримання необхідних коефіцієнтів звукопоглинання в заданому діапазоні частот;

– розроблено інформаційну модель системи автоматизованого добору звукоізоляційних матеріалів, яка поєднує базу даних, автоматичну класифікацію, відповідність будівельним нормам і типу приміщення, що дозволяє підвищувати масштабованість та адаптивність проектних рішень.

НАУКОВЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ТА ПОВНОТА ЇХ ВИКЛАДУ В НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

Проведений аналіз змісту дисертації дає підставу зробити висновок про те, що отримані в дисертаційній роботі наукові результати розширюють науково-методологічну основу для підвищення ефективності технологій автоматизованого проектування в галузях архітектурної акустики й акустометрії.

Практичне значення отриманих у роботі результатів засвідчують розроблені й успішно використані на практиці засоби: алгоритм дослідження акустичних властивостей закритих приміщень, який відповідає критеріям предметно-орієнтованого проектування комп'ютерних систем акустометрії відповідно до концепції повсюдного комп'ютингу; математична модель та

програмне забезпечення M-Signal для встановлення характерних закономірностей частотної селекції; алгоритм комплексної верифікації процесів та засобів дослідження акустичних параметрів приміщень; програмне забезпечення опрацювання експериментальних даних з лабораторної установки вимірювання опору повітряному потоку пористих матеріалів та імпедансної труби; інформаційне, програмне та методичне забезпечення підсистеми автоматизованого добору звукоізоляційних матеріалів; підсистема оцінки акустичної якості приміщень методом Беранека.

Практичне використання отриманих результатів дозволяє за рахунок автоматизації та підвищення точності аналізу підвищити ефективність технологій проектування засобів акустометрії й архітектурного проектування закритих і напівзакритих приміщень.

Практична значущість результатів дисертаційної роботи підтверджується їхнім впровадженням. Результати дослідження впроваджені в державному підприємстві «Національний академічний український драматичний театр ім. Марії Заньковецької» (м. Львів); в лабораторії технічної акустики кафедри Механіки і Віброакустики Краківської Гірничо-металургійної академії ім. С. Сташиця (Республіка Польща), у навчальному процесі на кафедрі систем автоматизованого проектування національного університету «Львівська політехніка», у держбюджетних науково-дослідних роботах МОН України (ДР № 0121U109618 та №0119U100609).

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у 65-ти наукових працях здобувача, серед яких: 3 монографії; 4 розділи у колективних монографіях; 17 статей у фахових наукових виданнях України; 22 публікації у виданнях, які проіндексовані у наукометричних базах Scopus та Web of Science; 12 тез у матеріалах Всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференцій.

Задекларований особистий внесок автора у спільних публікаціях відповідає темі, змістові дисертаційної роботи та положенням, що винесені на захист.

ОБҐРУНТОВАНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

Вихідні положення дисертаційної роботи є коректними. Запропоновані у роботі підхід, математичні моделі, методи і алгоритми розв'язання частинних

задач проблеми базуються на відомих методах автоматизованого проектування, теорії поширення та взаємодії акустичних коливань, математичного та фізичного (аналогового) моделювання, перетворення сигналів, теорії електричних кіл та сучасних інформаційних технологій. Отримані у роботі наукові і практичні результати, зроблені висновки і рекомендації є достатньою мірою аргументованими, їх достовірність підкріплюється співпадінням теоретичних результатів з результатами численних натурних експериментів з дослідження акустичних властивостей закритих приміщень різного призначення.

Свідченнями обґрунтованості та достовірності результатів дисертаційної роботи можуть слугувати також їхня публікація у високореєтингових наукових фахових виданнях з технічних наук та апробація у середовищі фахівців на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ПОЛОЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДИСКУСІЙНІ ПИТАННЯ

1. Занадто широко сформульована мета дослідження дисертаційної роботи. Вона охоплює досить широке коло завдань, частина з яких зазвичай відноситься до суміжних з системами автоматизації проектувальних робіт спеціальностей. Зокрема, перша її частина «Підвищення ефективності функціонування ... комп'ютерних систем дослідження акустичних властивостей приміщень» більшою мірою відповідає технологіям керування технічними чи організаційно-технічними об'єктами, а не системам чи технологіям автоматизації їхнього проектування.

2. У першому розділі роботи наведено досить стислий й узагальнений (обсягом лише 17 сторінок) огляд методів, моделей і програмних засобів, які використовуються для дослідження акустичних властивостей різнорідних об'єктів (безпілотних літальних апаратів, слухових апаратів, вимірювання швидкості звуку під водою тощо), без аналізу ступеня їх придатності для аналізу акустичних властивостей закритих приміщень та показників їх точності, надійності, економічності тощо.

3. На початку другого розділу роботи доцільно було б навести схему декомпозиції і системологічну модель розв'язуваної проблеми, яка б дозволила відобразити взаємозв'язки всього комплексу її задач за вхідними і вихідними даними, визначати вимоги до точності їх розв'язання, форм подання сигналів, інші чинники й обмеження, що є необхідним при створенні цілісної інформаційної технології проектування.

4. Виходячи з назви спеціальності, за якою захищається дисертаційна робота, доцільно було б розробити чи навести використану логічну схему системного проєктування (чи системної оптимізації), що призначена для отримання ефективних рішень задач з дослідження й поліпшення акустичних властивостей приміщень, які розв'язуються у процесі дисертаційного дослідження.

5. Доцільно було б навести більш чіткі формулювання розв'язуваних задач, задаючи вхідні дані, показники якості, цільові функції та відповідні обмеження. Як приклад, подання лише функції оптимізації для визначення компромісу між просторовою і частотною селективністю у вигляді (2.1) є недостатнім для коректного розв'язання цієї задачі.

6. Відомо, що точність результатів експериментальних досліджень, які проводились у роботі, багато у чому залежить від якості їх планування. У роботі недостатньо повно розглянуто питання планування експериментів, зокрема, не знайшли достатнього відображення питання: визначення місць найкращого розміщення засобів вимірювань у приміщеннях, врахування впливу наповненості приміщень слухачами, температури і вологості повітря на акустичні характеристики досліджуваних приміщень.

7. Зауваження щодо викладення змісту та оформлення дисертації: по тексту роботи наведено 378 рисунків, переважну більшість з яких можна було не наводити (фрагменти кодів програм, інтерфейси користувача тощо), або подавши узагальнений опис поданих на них результатів; не зважаючи на назву підрозділу 4.1 «Постановка задач», власне постановок задач в ньому не наведено; недостатньо інформативними без опису позначень виглядають алгоритми інверсного методу визначення опору потоку повітря (с. 262); автоматичної класифікації матеріалів (с. 298); по тексту присутні деякі пунктуаційні неточності.

• Наведені зауваження в цілому не знижують наукової та практичної цінності виконаного дисертаційного дослідження.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Незважаючи на зазначені недоліки, дисертаційна робота Мельника М. Р. «Моделі, методи та засоби дослідження та покращення акустичних властивостей закритих приміщень» є завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові теоретичні і практичні результати, що у сукупності є суттєвими для розвитку

методології автоматизації проєктувальних робіт в галузях архітектурної акустики й акустометрії. Вони відповідають формулі та напрямкам досліджень, зокрема, за пунктами «Алгоритмізація завдань проєктування, проблемна адаптація САПР», «Математичне моделювання й аналіз технічних об'єктів у САПР, зокрема методи ідентифікації об'єктів, декомпозиція та макромоделювання, чисельно-аналітичні методи аналізу об'єктів на мікро- та макрорівнях, моделювання логічних і функціональних схем дискретних пристроїв», «Синтез описів технічних об'єктів у САПР, зокрема: методи структурного аналізу та параметричної оптимізації, методи синтезу технічних розв'язань, komponування та розміщення структурних елементів, трасування комунікацій, синтез логічних схем», «Пакети прикладних програм автоматизованого проєктування», «Системи підтримки прийняття проектних рішень, експертні системи в САПР» паспорта спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проєктувальних робіт.

Вважаю, що за обсягом досліджень, актуальністю, науковою новизною і практичним значенням отриманих результатів, їх впровадженням та опублікуванням дисертаційна робота відповідає вимогам чинних нормативних документів, у тому числі пунктам 6, 7, 8 і 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ №1197 від 17 липня 2021 р., а її автор, Мельник Михайло Романович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проєктувальних робіт.

Офіційний опонент,
професор кафедри системотехніки
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук,
професор



Безкоровайний В. В.

«Підпис Безкоровайного В. В. засвідчую».

Проректор з наукової роботи
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор



Ю. О. Романенков

2 квітня 2025 р.