

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
за спеціальністю 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології» в
галузі знань 15 «Автоматизація та
приладобудування»
доктору технічних наук, професору
Ткачову Віктору Васильовичу

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Воскобойника Євгена Костянтиновича

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегроване керування автономним
електричним опаленням у багатокімнатних будівлях з урахуванням
комплексних показників теплового комфорту», подану на здобуття
наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Актуальність теми дослідження

Актуальність теми дисертаційної роботи обґрунтована як на рівні національних пріоритетів, так і в контексті сучасних світових тенденцій розвитку енергоефективних технологій та присвячена розв'язанню суперечності між високою якістю мікроклімату і мінімізацією витрат на електричне опалення. В роботі підкреслено, що значна частка енергоспоживання в будівлях (до 50-80 % у структурі комунальних витрат у опалювальний період) припадає саме на системи опалення. Використання інтелектуальних засобів керування, що описані в роботі, є логічним кроком у цифровій трансформації будівельної галузі.

Необхідність даного дослідження диктується викликами європейської інтеграції та обов'язковістю дотримання міжнародних стандартів комфорту приміщень, зокрема ISO 7730:2005 (ДСТУ Б EN ISO 7730:2011). Позитивною стороною є орієнтація дослідження не лише на підтримання температури, а на використання комплексних індексів теплового комфорту (PMV/PPD) відповідно до даного стандарту. Такий підхід відповідає сучасній парадигмі переходу від параметричного до людиноорієнтованого керування мікрокліматом. Забезпечення стабільного теплового стану людини при мінімальних енерговитратах є складним науково-технічним завданням, що потребує врахування як теплофізичних властивостей огорожувальних конструкцій будівель, так і динаміки зовнішніх кліматичних чинників.

Попри наявність широкого спектра регульовального обладнання, актуальною залишається проблема розробки адаптивних систем керування, які здатні в реальному часі аналізувати параметри мікроклімату та індивідуальні

запити користувачів. Традиційні підходи часто не забезпечують необхідної гнучкості при експлуатації електронагрівальних приладів, що призводить до перевитрат енергії або зниження якості теплового комфорту. Робота Воскобойника Є.К. спрямована на подолання зазначеної суперечності шляхом створення надійних алгоритмів керування електронагрівачами та впровадження систем реєстрації параметрів внутрішнього середовища.

Дослідження відповідає стратегічним напрямкам розвитку енергетичної галузі України, зокрема положенням Енергетичної стратегії України до 2035 року, що передбачає підвищення енергоефективності та модернізацію інженерної інфраструктури будівель.

Наукова та практична цінність роботи полягає у розробці комплексного рішення, яке дозволяє досягти раціонального балансу між енергозбереженням та високим рівнем життєзабезпечення, в умовах післявоєнної відбудови та енергетичної трансформації.

Оцінка змісту та завершеності дисертації, її відповідності встановленим вимогам щодо оформлення

Текст дисертації структурований логічно та послідовно. Автор провів ґрунтовний аналіз існуючих методів терморегулювання та виявив їхні слабкі місця. Розроблені математичні моделі враховують динаміку теплових процесів у багатокімнатних об'єктах, що є складним науковим завданням, успішно вирішеним автором. Структурна побудова роботи є класичною для наукових праць такого рівня: вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Обсяг роботи: 153 сторінки машинописного тексту. Ілюстративний матеріал: 51 рисунок та 20 таблиць, що суттєво полегшує сприйняття складних технічних залежностей та результатів моделювання. Список літератури налічує 64 найменування, що свідчить про опрацювання автором вагомого масиву фундаментальних та сучасних джерел. Зміст дисертації повністю відповідає обраному напрямку, а використана наукова термінологія є фаховою та коректною.

У **вступі** здобувачем обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано завдання, наведено методи дослідження, а також представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану проблематики керування мікрокліматом у приміщеннях, процесів опалення та існуючих підходів до оцінювання теплового комфорту. Автор демонструє високий рівень обізнаності в існуючих інженерно-технічних рішеннях. Розглянуто основні параметри внутрішнього середовища, зокрема температуру повітря, відносну вологість, швидкість руху повітря та температуру внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, проаналізовано нормативні документи, наведено підходи до оцінки теплового комфорту (ефективна температура, PMV/PPD) та окреслено проблеми енергоефективності систем опалення. Систематизація переваг та недоліків відомих підходів дозволила дисертанту не лише

обґрунтувати власну концепцію, а й чітко окреслити нішу дослідження в контексті цифрової трансформації енергетики.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі системи опалення багатокімнатного приміщення, яка зорієнтована на тепловий комфорт. Побудовано структурну схему об'єкта дослідження та наведено математичні моделі основних елементів системи: нагрівача, приміщення як теплотехнічного об'єкта, датчика температури, а також збурень, пов'язаних зі зміною зовнішніх умов. Особливої уваги заслуговує використання індексу PMV як цільового критерію, що виводить систему за межі звичайного терморегулювання в площину забезпечення оптимального мікроклімату. Це свідчить про системний підхід до моделювання об'єкта керування.

Третій розділ має вагоме теоретико-прикладне значення, де розглянуто питання синтезу системи автоматизованого керування тепловим комфортом. Запропоновано структуру системи керування, реалізовано алгоритм автоматичного налаштування та проведено серію модельних досліджень. Проведені дослідження переконливо доводять, що адаптивне керування на основі суб'єктивно-об'єктивних критеріїв комфорту дозволяє досягти відчутної економії енергоресурсів. Автор аргументовано підтверджує перевагу інтелектуальних алгоритмів на основі PMV/PPD над традиційними методами підтримки константної температури.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації та верифікації запропонованих рішень. Розроблено апаратну структуру системи із застосуванням мікроконтролера WEMOS D1 R32, релейного модуля та SCADA-системи. Опис створеного апаратно-програмного комплексу та результати його випробувань свідчать про достовірність отриманих даних. Стабільність роботи системи в умовах, наближених до експлуатаційних, підтверджує готовність розробки до інтеграції в промислові та побутові інженерні мережі.

Загалом, дисертаційна робота характеризується внутрішньою логікою, послідовністю викладення матеріалу та відповідністю поставленій меті. Відповідає всім вимогам, що висуваються до наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії. Результати дослідження викладено послідовно, з дотриманням причинно-наслідкових зв'язків між розділами. Висновки є логічними, аргументованими та повністю впливають із завдань дослідження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, що виносяться на захист у дисертаційній роботі Воскобойника Євгена Костянтиновича, характеризуються високим ступенем обґрунтованості, логічною завершеністю та фактологічною достовірністю.

Наукова новизна полягає у розвитку науково-методичних засад автоматизованого керування автономними системами електричного опалення багатокімнатних будівель із урахуванням комплексних показників теплового комфорту людини. Робота орієнтована на вирішення актуальної задачі поєднання двох взаємопов'язаних, але часто суперечливих критеріїв

функціонування систем теплопостачання, а саме забезпечення комфортних умов перебування користувачів та зниження витрат енергетичних ресурсів.

Суттєвим науковим результатом дисертації є запропонований підхід до побудови системи керування опаленням, у межах якого як основний критерій прийняття керуючих рішень використано не окремий параметр температури повітря, а інтегральні індекси теплового комфорту PMV та PPD. Такий підхід дозволяє перейти від традиційного параметричного регулювання до більш досконалого людиноорієнтованого способу керування, за якого враховується сукупний вплив температури, вологості, швидкості руху повітря, теплового випромінювання навколишніх поверхонь, а також характеристик самої людини. Це розширює функціональні можливості систем автоматизації опалення та наближає їх до сучасної концепції інтелектуального керування мікрокліматом будівель.

До науково нових результатів слід віднести розроблену математичну модель системи опалення багатокімнатного приміщення, у якій узгоджено процеси теплопередачі, динаміку зміни параметрів внутрішнього середовища та критерії теплового комфорту користувачів. На відміну від поширених спрощених моделей, орієнтованих лише на підтримання температурного режиму, запропонований у роботі підхід дозволяє враховувати багатофакторний характер формування комфортного мікроклімату та використовувати це при синтезі керуючих впливів. Така модель створює наукове підґрунтя для подальшого розвитку енергоефективних систем автоматизації будівель.

Важливим результатом дисертації є розвиток методичних положень щодо оцінювання енергоефективності систем електричного опалення з позицій фактичного забезпечення комфортних умов перебування людини. У роботі показано, що мінімізація енерговитрат без урахування суб'єктивного сприйняття мікроклімату не завжди забезпечує належну якість внутрішнього середовища, а тому критерієм ефективності доцільно вважати компроміс між енергоспоживанням і рівнем теплового комфорту. Такий підхід має важливе значення для подальшого розвитку сучасних систем енергоменеджменту будівель.

Наукову цінність мають також результати, пов'язані з розробкою структури системи автоматизованого керування, у якій поєднано засоби вимірювання параметрів мікроклімату, алгоритмічну обробку даних, формування керуючих впливів та програмно-апаратну реалізацію на базі сучасних мікропроцесорних засобів і SCADA-технологій. Це підтверджує можливість практичного впровадження розроблених теоретичних положень та створює передумови для їх інтеграції у системи «розумного будинку», диспетчеризації та цифрового енергоменеджменту.

Висновки та практичні рекомендації випливають із результатів експериментальної апробації апаратно-програмного комплексу. Доведена здатність системи забезпечувати високу точність вимірювань та стабільність регулювання в умовах змінних зовнішніх чинників підтверджує обґрунтованість пропозицій щодо впровадження результатів роботи у будівельну галузь України.

Таким чином, ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень дисертації не викликає сумнівів. Робота виконана на високому науково-методичному рівні, а її результати є репрезентативними та достатньо апробованими.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Результати дисертаційної роботи мають суттєве значення як для розвитку наукових засад автоматизації систем теплопостачання, так і для практичного вдосконалення процесів керування автономним електричним опаленням у будівлях різного призначення. Актуальність одержаних результатів визначається сучасними потребами підвищення енергоефективності, раціонального використання енергетичних ресурсів, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення належного рівня комфорту користувачів внутрішніх приміщень.

Наукове значення роботи полягає насамперед у подальшому розвитку підходів до автоматизованого керування мікрокліматом будівель на основі комплексних критеріїв оцінювання теплового стану людини. У дисертації обґрунтовано доцільність переходу від традиційного регулювання за температурою повітря до більш досконалого керування з використанням індексів PMV та PPD, що враховують сукупний вплив параметрів внутрішнього середовища. Такий підхід розширює методологічні можливості сучасної теорії автоматизованого керування технічними системами, оскільки дозволяє враховувати не лише параметри об'єкта, а й кінцевий результат його функціонування з позицій сприйняття людиною умов середовища.

Отримані результати мають значення для розвитку наукових напрямів, пов'язаних із математичним моделюванням теплотехнічних процесів у приміщеннях. Розроблена в роботі модель системи опалення багатокімнатної будівлі може бути використана як основа для подальших досліджень у сфері оптимізації режимів теплопостачання, синтезу адаптивних алгоритмів керування, створення цифрових двійників будівель та розробки інтелектуальних систем енергоменеджменту. У цьому контексті дисертація становить інтерес не лише для спеціальності 151, а й для суміжних галузей енергетики, будівельної інженерії та інформаційних технологій.

Практичне значення роботи полягає у доведенні теоретичних положень до рівня конкретних технічних рішень, придатних до впровадження у реальні системи автономного електричного опалення. Автором запропоновано структуру автоматизованої системи керування, реалізовано програмно-апаратний комплекс із використанням сучасних мікроконтролерних засобів та SCADA-технологій, що забезпечує вимірювання параметрів мікроклімату, розрахунок показників теплового комфорту, формування керуючих впливів і диспетчеризацію процесу опалення. Це свідчить про інженерну завершеність дослідження та можливість його практичного застосування.

Використання результатів дисертації у практиці експлуатації будівель може сприяти зниженню витрат електричної енергії за рахунок більш раціонального формування режимів роботи нагрівального обладнання.

Особливо важливим це є для житлових, адміністративних та громадських будівель, у яких автономне електричне опалення набуває все більшого поширення. Запропонований підхід дозволяє уникати необґрунтованого перегріву приміщень, зменшувати пікові навантаження на енергосистему та забезпечувати стабільні комфортні умови для користувачів.

Практична значущість результатів також полягає у можливості їх інтеграції до сучасних систем «розумного будинку», локальних систем диспетчеризації та платформ енергоменеджменту. Це відкриває перспективи створення комплексних цифрових рішень для автоматизації будівель, у яких система опалення функціонує не ізольовано, а як частина єдиної інформаційно-керуючої інфраструктури. У сучасних умовах цифрової трансформації житлово-комунальної сфери така спрямованість є особливо актуальною.

Високу оцінку заслуговує той факт, що результати дисертації не залишилися суто теоретичними, а були інтегровані в освітній процес НТУ «Дніпровська політехніка». Розроблені моделі, алгоритми та програмні засоби використовуються у навчальному процесі під час підготовки фахівців за спеціальностями, пов'язаними з автоматизацією та комп'ютерно-інтегрованими технологіями, енергетикою і робототехнікою. Їх можна застосовувати у лабораторному практикумі, дипломному проектуванні, магістерських і докторських дослідженнях, а також у подальших роботах, спрямованих на створення інтелектуальних систем керування мікрокліматом.

Таким чином, результати дисертаційної роботи мають комплексну наукову та практичну значущість. Вони сприяють розвитку сучасних підходів до автоматизації теплотехнічних систем, орієнтованих на енергоефективність і комфорт людини, а також можуть бути використані при модернізації існуючих і створенні нових систем автономного електричного опалення будівель різного призначення.

Апробація матеріалів дисертації

Наукові положення дисертації знайшли достатнє відображення у 8 наукових працях. Важливим є те, що основні результати оприлюднені у 7 фахових виданнях України та в одній статті, що входить до міжнародної бази Scopus, що підкреслює визнання роботи на міжнародному рівні. Апробація результатів на науково-практичних конференціях підтверджує фахову зрілість автора та дискусійну цінність його напрацювань. Публікації відображають основні етапи виконання роботи та свідчать про апробацію отриманих результатів у науковому середовищі.

Якість викладу та відповідність принципам академічної доброчесності

Дисертація виконана на високому науковому рівні з дотриманням вимог академічного стилю та термінологічної точності. Структура роботи логічна, а ілюстративний матеріал суттєво полегшує сприйняття складних технічних рішень. Під час вивчення змісту дисертації та наукових праць здобувача фактів порушення академічної доброчесності не виявлено. Перевірка роботи в

Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» не виявила порушень академічної доброчесності: авторські результати є оригінальними, а запозичення належним чином оформлені.

Недоліки та зауваження по роботі

1. На титульному аркуші зазначено Дніпро – 2026, тоді як в анотації вказано, що дисертація подається як робота 2025 року. Така розбіжність потребує уточнення, оскільки офіційні документи мають містити однозначні бібліографічні відомості.

2. Окремі формулювання новизни мають занадто широкий характер, наприклад: «удосконалено підходи до інтеграції...», «обґрунтовано доцільність використання інтелектуальних алгоритмів...». При цьому конкретний математичний чи алгоритмічний внесок сформульовано недостатньо чітко. Також, не завадило б в пунктах наукової новизни вказувати, що саме дає той чи інший її пункт, наприклад, «зниження енергетичних витрат на...», «підвищення точності регулювання температурного режиму на...».

3. У тексті роботи неодноразово згадуються інтелектуальні методи керування, однак фактична система базується на двопозиційному регуляторі, що не відповідає сучасному трактуванню інтелектуального керування.

4. У табл.1.1 наведення діапазону відносної вологості для теплого періоду у вигляді «60-30%» потребує уточнення, оскільки такий порядок запису не відповідає загальноприйнятому представленню нормативних інтервалів і може ускладнювати трактування наведених даних.

5. У тексті роботи згадується показник "PDD" (прогнозований процент невдоволених) , хоча в міжнародному стандарті EN ISO 7730 та в самій моделі Simulink (блок getPMVandPDD) зазвичай використовується аббревіатура PPD (Predicted Percentage Dissatisfied).

6. На рисунках підписи блоків у Simulink та текстові пояснення місцями важко читаються або мають накладання тексту. Рисунки з графіками PMV та PDD мають низьку роздільну здатність, що ускладнює аналіз коливань показників.

7. За результатами моделювання PMV становить -1,47...-1,14. Згідно зі стандартом EN ISO 7730, рекомендований діапазон для комфорту (клас B) становить $-0,5 < PMV < +0,5$. Отримані авторами значення свідчать про те, що в приміщенні все ще "прохолодно", отже, мета досягнення теплового комфорту при $t_b = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ не зовсім корелює із загальноприйнятими нормами комфорту (зазвичай 20-22 $^\circ\text{C}$).

8. Використання мікроконтролера WEMOS D1 (ESP32) є зручним для прототипування, але в промислових або комерційних системах (про які йдеться у вступі) цей контролер може мати проблеми з завадостійкістю порівняно з промисловими ПЛК.

9. Огляд літератури містить корисні нормативні та класичні джерела, однак недостатньо представлено сучасні публікації останніх років щодо керування системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря за

допомогою штучного інтелекту, прогнозного керування, використання цифрових двійників тощо.

Однак, відмічені недоліки та зауваження мають переважно рекомендаційний або уточнювальний характер і жодним чином не впливають на загальне позитивне враження від роботи і не знижують її наукового і практичного значення.

Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Воскобойника Євгена Костянтиновича на тему «Автоматизація та комп'ютерно-інтегроване керування автономним електричним опаленням у багатокімнатних будівлях з урахуванням комплексних показників теплового комфорту» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є цілісною, завершеною та самостійно виконаною науковою працею.

Робота спрямована на вирішення актуального науково-прикладного завдання – розробку та імплементацію інтелектуальних підходів до керування теплотехнічними об'єктами, що забезпечують мінімізацію енергоспоживання за умови безумовного збереження комфортних температурних показників. Результати перевірені експериментально та підтверджені відповідним актом впровадження.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, констатую, що дисертаційна робота за своїм науковим рівнем, обсягом проведених досліджень, актуальністю теми та практичною цінністю результатів повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами № 507 від 03.05.2024 р.) та вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

На підставі вищевикладеного вважаю, що Воскобойник Євген Костянтинович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Офіційний опонент:
доктор технічних наук, професор,
доцент кафедри автоматизації
виробничих процесів
Центральноукраїнського
національного технічного університету

Анатолій МАЦУЙ