

Голові разової спеціалізованої
вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
д.т.н., професору Віктору Ткачову

ВІДГУК

офіційного рецензента
доктора технічних наук, професора

Новицького Ігоря Валерійовича

на дисертаційну роботу

Воскобойника Євгена Костянтиновича

за темою: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегроване керування автономним електричним опаленням у багатокімнатних будівлях з урахуванням комплексних показників теплового комфорту», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

Актуальність роботи. У дисертаційній роботі розглядається актуальна проблема модернізації систем опалення через впровадження автоматизованих і цифрових технологій. Такий підхід повністю відповідає положенням Енергетичної стратегії України та гарантує підтримання нормативних показників життєзабезпечення людини в приміщенні, встановлених у стандартах ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 та ISO 7730:2005.

Здобувачем представлено оригінальну концепцію інтелектуального регулювання параметрів мікроклімату, головною перевагою якої є здатність збалансувати обсяги споживання енергії з персональними запитами мешканців та теплотехнічними характеристиками об'єкта. Особливу наукову цінність має впровадження у контур керування стандартизованого критерію PMV, що забезпечує об'єктивність оцінки теплового стану середовища.

Наукова новизна отриманих результатів базується на створенні комплексного алгоритмічного рішення для стабільної роботи електричних опалювальних приладів. Запропонований підхід дозволяє не лише здійснювати моніторинг кліматичних показників у поточному часі, а й суттєво оптимізувати енерговитрати, гарантуючи при цьому дотримання нормативних вимог до комфорту перебування людей у приміщенні.

Підсумовуючи, слід зазначити, що наукова праця Воскобойника Є. К. характеризується вагомим теоретичним та прикладним значенням. Вона повністю відповідає актуальним стратегіям енергонезалежності та ощадного використання ресурсів, а запропоновані автором рішення мають широкі перспективи для практичної реалізації на об'єктах цивільного та виробничого призначення

Наукові результати та їх новизна. У дисертаційній роботі отримано низку наукових результатів, що мають як теоретичне, так і прикладне значення:

Уперше запропоновано підхід до автоматизованого керування автономним електричним опаленням, який базується на адаптивному сценарному моделюванні теплового комфорту з урахуванням індивідуальних потреб користувачів та змін зовнішніх кліматичних умов.

Розроблено математичну модель взаємозв'язку між параметрами мікроклімату приміщення та рівнем енергоспоживання, що дозволяє формувати компромісні режими опалення відповідно до нормативних показників теплового комфорту.

Обґрунтовано доцільність застосування інтелектуальних алгоритмів керування для оптимізації процесу регулювання температурного режиму в реальному часі з метою зниження енергетичних витрат.

Запропоновано методику оцінювання ефективності енергоспоживання будівель, яка враховує не лише технічні характеристики інженерних систем, а й поведінкові фактори користувачів, що істотно впливають на теплове навантаження.

Удосконалено підходи до інтеграції систем автоматизованого опалення у загальну інфраструктуру енергоменеджменту будівель, що сприяє підвищенню рівня енергоефективності як на муніципальному, так і на промисловому рівнях.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному поєднанні адаптивного сценарного моделювання теплового комфорту, математичного опису взаємозв'язку між параметрами мікроклімату та енергоспоживанням, а також у розробці методики оцінювання ефективності з урахуванням поведінкових чинників користувачів. Це забезпечує новий рівень точності та гнучкості у керуванні системами автономного електричного опалення та відкриває перспективи для їх практичного застосування у сучасних будівлях.

Практичне значення та практична цінність отриманих результатів. Дисертаційну роботу Воскобойника Євгена Костянтинівича виконано на кафедрі кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Результати дисертаційної роботи мають вагомим практичне значення для розвитку систем енергоефективного теплопостачання та управління мікрокліматом у будівлях:

Розроблений підхід до автоматизованого керування опаленням на основі комплексного параметра теплового комфорту може бути впроваджений у системи автономного електричного опалення житлових, адміністративних та промислових будівель, що забезпечує зниження витрат енергії без втрати якості мікроклімату.

Моделі та методики, створені в межах дослідження, можуть застосовуватися при проєктуванні та модернізації систем енергоменеджменту будівель, а також інтегруватися у платформи «розумного дому» для підвищення рівня автоматизації та енергоефективності.

Отримані результати мають освітнє значення й можуть бути використані у навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі енергетики, автоматизації та будівельних технологій, а також слугувати основою для подальших прикладних досліджень у сфері енергоефективного керування мікрокліматом.

Експериментальні дані та моделювання підтверджують доцільність практичного впровадження запропонованих рішень у сфері енергозбереження, що може бути використано органами місцевого самоврядування та підприємствами для оптимізації витрат на комунальні послуги.

Результати досліджень уже впроваджені у навчальний процес на кафедрі «Кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем» Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» у рамках дисциплін «Проектування систем автоматизації», «Проектування автоматичних систем керування технологічними комплексами», «Автоматизація технологічних процесів автоматизації» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Таким чином, практична цінність роботи полягає у можливості широкого застосування запропонованих рішень у житловому та промисловому секторі, у сфері муніципального енергоменеджменту, а також у навчальній та науковій діяльності, що підтверджує її значущість для сталого розвитку та енергетичної безпеки держави.

Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації.

У вступі зазначено актуальність теми досліджень, сформульовано мету, об'єкт, предмет і основні завдання досліджень, обґрунтовано методи досліджень, викладено наукову новизну й практичну значимість одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача, представлено загальну характеристику та структуру дисертації, а також наведено відомості щодо публікацій і результатів апробації й упровадження дисертаційної роботи.

В *першому розділі* дисертаційної роботи здійснено ґрунтовний інформаційний аналіз сучасного стану науково-прикладних досліджень та інженерно-технічних рішень у сфері автоматизованого керування теплотехнічними об'єктами та процесами. Автором чітко окреслено мету, об'єкт і предмет дослідження, а також визначено пріоритетні напрями та завдання, спрямовані на удосконалення й подальший розвиток існуючих технологій комп'ютерно-інтегрованого керування системами теплопостачання. Це дозволяє систематизувати наявні наукові напрацювання, виявити їхні сильні та слабкі сторони, а також сформулювати концептуальну основу для розробки нових рішень, що відповідають сучасним вимогам енергоефективності та цифровізації інженерних систем будівель.

У *другому розділі* дисертаційної роботи наведено результати розробки моделі системи опалення багатокімнатного приміщення, орієнтованої на забезпечення теплового комфорту людини. Автором визначено структуру та математичні моделі основних компонентів – нагрівача, приміщення, датчика температури, а також моделі збурень, що впливають на тепловий баланс. Це створило основу для побудови гнучкої та енергоефективної автоматизованої

системи опалення, здатної адаптуватися до змін зовнішніх умов. Розроблена система забезпечує підтримку оптимальних параметрів мікроклімату відповідно до індексу PMV, що дозволяє поєднати комфорт користувачів з енергоефективністю та технологічною гнучкістю.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи автором проведено ґрунтовне дослідження потенціалу зниження енерговитрат шляхом адаптивного керування системою опалення на основі індексу теплового комфорту PMV. У роботі переконливо продемонстровано переваги комплексної оцінки мікроклімату над традиційним підходом, що базується лише на підтримці температури, та доведено її ефективність у забезпеченні індивідуального комфорту користувачів.

Розроблена система керування тепловим комфортом із автоматичним налаштуванням на базі двопозиційного регулятора характеризується простотою реалізації, стабільністю роботи та високою енергоефективністю в умовах змінних режимів експлуатації. Сформульовані наукові положення підтверджують доцільність використання комплексного параметра комфорту як критерію керування та визначають принципи налаштування регулятора для забезпечення оптимальної роботи системи.

Четвертий розділ присвячено експериментальній апробації розробленої системи керування. Автор представив реалізацію апаратно-програмної системи керування тепловим комфортом, яка включає релейний модуль, контролер WEMOS D1 R32 та SCADA-систему zenon Supervisor 7.10. Система забезпечує комплексне виконання ключових функцій: вимірювання параметрів мікроклімату, керування нагрівачем, візуалізацію даних та розрахунок індексів PMV і PPD.

Результати випробувань підтвердили відповідність системи технічним вимогам, стабільність роботи та високу точність вимірювань. Важливою є також доведена можливість інтеграції розробленої системи у сучасні промислові та побутові комплекси опалення. Отримані результати переконливо свідчать про ефективність запропонованого підходу у зниженні енерговитрат та забезпеченні високого рівня теплового комфорту, що підкреслює практичну цінність проведених досліджень.

Повнота викладення результатів дисертації в наукових виданнях. За результатами досліджень опубліковано 8 наукових праць, в яких опубліковано основні наукові результати. З них 7 у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України, 1 стаття у журналах, що індексуються у НМБД Scopus, 4 наукових праці опубліковано у збірниках наукових праць та матеріалах міжнародних конференцій.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів і висновків, викладених на 153 сторінці машинописного тексту, ілюстрованого 51 рисунками. Робота містить 20 таблиць, список використаної літератури 64 найменування на 6 сторінках і 1 додатка.

Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності. Дисертація написана науково правильною мовою на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Усі наукові та практичні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто, що підтверджується аналізом змісту дослідження та опублікованих наукових праць. У тексті не виявлено некоректних запозичень чи використання результатів інших науковців без відповідних посилань на джерела.

Наявний звіт про перевірку дисертації на академічний плагіат засвідчує відсутність порушень принципів академічної доброчесності, що підтверджує самостійність та оригінальність виконаного дослідження.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації:

1. При моделюванні приміщення як фізичного об'єкта з розгалуженими параметрами в дисертації застосовується математична модель із зосередженими параметрами. Тому отримані результати стосуються не всього приміщення, а його частини, яка розташована в околі датчика. Застосування моделей із розгалуженими параметрами дозволило б отримати більш узагальнені і адекватні результати.

2. Швидкість повітря суттєво впливає на інерційність об'єкта керування – стала часу – але цей вплив при моделюванні не врахований.

3. У висновках до розділу 2 стор.22 стверджується, що «Здійснено розробку моделей збурень...». Але ці збурення – випадкові процеси, а відповідних моделей, наприклад, у вигляді характеристик або законів розподілу в роботі немає.

4. Включення в математичну модель об'єкта інерційної ланки, яка відображує властивості датчика штучно ускладнює структуру моделі, оскільки стала часу датчика - бс. значно менше сталої часу приміщення – 2825с.

5. Оцінка якості процесів керування, порівняння ефективності способів керування, аналіз чутливості критерія до збурень виконуються візуально по реалізаціях процесів або на основі визначення діапазонів зміни регульованого параметра. На наш погляд, більш доцільно було б на інтервалах спостереження використовувати інтегральні статистичні оцінки – вибіркове середнє, вибіркочну дисперсію, СКВ, коефіцієнт варіації та ін.

6. При моделюванні процесу опалення (розділ 2.2.4, стор.70, рис.2.6) температура приміщення змінюється від 10°C до 17°C . Тож неясно: як температура нагрівача, який знаходиться в середині приміщення може періодично знижуватися до 0°C ?

Наведені зауваження не знижують високого наукового рівня та практичної значущості дисертаційної роботи і не мають суттєвого впливу на її загальну позитивну оцінку. Робота вирізняється належним рівнем наукової обґрунтованості, практичної цінності та відповідає вимогам, що висуваються до дисертаційних досліджень.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії. Дисертація Воскобойника Євгена Костянтиновича «Автоматизація та комп'ютерно-інтегроване керування автономним електричним опаленням у багатокімнатних будівлях з урахуванням

комплексних показників теплового комфорту» є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертаційній роботі автором було вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності керування процесами опалення у приміщеннях будівель, шляхом розробки та впровадження науково обґрунтованих підходів, що забезпечують формування компромісного рішення між створенням комфортних умов перебування людини та мінімізацією споживання енергетичних ресурсів.

Тема і зміст роботи відповідають спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, а наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі, є значущими для галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Вважаю, що дисертація Воскобойника Євгена Костянтиновича 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», а її автор, Воскобойник Євген Костянтинович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Офіційний рецензент –
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри кіберфізичних
та інформаційно-вимірювальних систем
Національного технічного
університету «Дніпровська політехніка»

Ігор Новицький