

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Богзи Миколи Сергійовича

на тему

«Автоматизація процесу керування адаптивною системою
переривчастого теплозабезпечення будинку на базі теплонасосної установки»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151– Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації.

У контексті глобальних кліматичних змін та енергетичних викликів питання ефективного використання ресурсів набувають особливої ваги: зменшення викидів і скорочення споживання викопного палива є стратегічними завданнями сталого розвитку. У цій парадигмі особливе значення відіграють енергоефективні технології у сфері теплозабезпечення, де використання теплонасосних установок (ТНУ) дозволяє суттєво знизити залежність від традиційних енергоносіїв і покращити екологічну ситуацію.

Крім того, в умовах повномасштабної війни в Україні критично важливим є питання надійності та автономності енергопостачання. Руйнування інфраструктури, перебої з електро- та теплопостачанням у багатьох регіонах створюють потребу в локальних, відносно незалежних джерелах тепла, здатних забезпечувати мінімально необхідний комфорт у житлових і громадських будівлях. ТНУ можуть стати ефективною складовою такої децентралізованої системи теплозабезпечення.

У дисертації запропоновано комплексний підхід, що поєднує класичні методи моделювання та сучасні технології штучного інтелекту для розрахунку оптимальних режимів роботи ТНУ. Це дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити навантаження на обладнання, продовжити термін його служби й адаптувати роботу системи до змінних умов - як кліматичних, так і техногенних. Запропоновані рішення спрямовані на створення гнучких систем автоматизованого переривчастого обігріву на основі ТНУ є особливо актуальними в умовах воєнного стану й післявоєнного відновлення України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є належним чином обґрунтованими. Вони спираються на актуальні вітчизняні й зарубіжні наукові публікації, а також на коректне застосування методів дослідження. Частина матеріалу дисертації подано у формі математичних моделей, ілюстрацій, схем і таблиць, що наочно демонструють зміст і підтверджують обґрунтованість наукових результатів.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасних програмних засобів для математичного моделювання та розрахунку систем керування (Matlab Simulink, Simscape), машинного навчання (TensorFlow), розрахунку теплофізичних характеристик об'єктів (CoolProp).

Результати моделювання аналітичної моделі ТНУ відповідають експериментальним даним.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. В результаті розв'язання задачі оптимізації визначено значення параметрів переривчастого обігріву будинку на базі ТНУ, які забезпечують підвищення енергетичної ефективності.

2. Удосконалено систему керування переривчастим обігрівом будинку на базі ТНУ, яка враховує додаткові фактори і дозволяє знизити споживання електроенергії ТНУ.

3. Удосконалено методи інтеграції аналітичних та нейромережових моделей у середовищі MATLAB/Simulink, що зменшило час моделювання динамічних процесів у системах теплозабезпечення.

4. За рахунок інтеграції спеціалізованих бібліотек дістали подальшого розвитку підходи для оцінки впливу типу робочого тіла на характеристики ТНУ, що дало можливість оцінити ефективність застосування нових типів робочих тіл (зокрема сумішей) на характеристики ТНУ.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі автоматизації енергетичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках науково-технічної роботи за державним замовленням «Розроблення інтелектуальної низькотемпературної системи теплозабезпечення будівель на базі конденсаційної модульної котельні» (наказ МОН України №1213 від 09.10.2023, державний реєстраційний номер 0123U104476).

Таким чином, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання щодо створення адаптивної системи керування переривчастим теплозабезпеченням будинку на базі теплонасосної установки виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Богзи М. С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Енергетика та енергоефективність».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Богзи Миколи Сергійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Мова викладення дисертаційної роботи є науково-стандартизованою, чіткою та зрозумілою. Присутня термінологічна точність, послідовність, належне використання формул, графіків, схем. Легко простежується хід дослідження та логіка прийнятих рішень.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 172 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію результатів, зазначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі проаналізовано сучасні підходи до теплозабезпечення будівель, особливості використання теплонасосних установок, а також методи моделювання й управління такими системами. Обґрунтовано доцільність використання переривчастого режиму обігріву як енергоефективного підходу та визначено напрями подальших досліджень.

У другому розділі автор створив детальну аналітичну модель ТНУ на основі фізичних законів теплообміну, гідродинаміки й термодинаміки. Модель реалізовано в середовищі MATLAB/Simulink із використанням бібліотеки CoolProp. Проведено її валідацію за експериментальними даними, що засвідчило високу точність моделювання.

У третьому розділі запропоновано використання LSTM-мереж для створення швидкодіючої моделі ТНУ, яка замінює аналітичну модель. Модель на основі LSTM-мереж навчено на даних з аналітичної моделі, після чого інтегровано у Simulink через S-функцію, що дало змогу реалізувати роботу в реальному часі.

У четвертому розділі сформовано повну модель будинку з урахуванням конструктивних і теплофізичних характеристик, об'єднану з моделлю ТНУ. Показано взаємодію між елементами системи опалення та будівлі. Проведено імітаційне моделювання, яке підтверджує точність моделі та її можливість до використання в задачі оптимізації.

У п'ятому розділі розроблено алгоритми адаптивного керування, які дозволяють економити енергоресурси без втрати теплового комфорту. Здійснено дослідження впливу нічної уставки й часу розігріву на енергоспоживання. Показано, що переривчасте керування може знизити споживання енергії до 18% порівняно з безперервним режимом.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Хоча розмір анотації і кількість ключових слів перевищують рекомендований обсяг.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 авторське свідоцтво на комп'ютерну програму. Також результати дисертації були апробовані на 4 міжнародних науково-практичних конференціях.

Усі публікації здобувача мають високий науковий рівень. Особистий внесок здобувача у публікаціях за співавторством вагомий.

Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Принципів академічної доброчесності у жодній з публікацій не порушено.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Загалом робота створює позитивне враження.

Не зважаючи на високий науковий рівень дисертації, її практичну значущість та актуальність по роботі є зауваження, а її окремі положення потребують пояснень:

1. В роботі зустрічаються певні неточності: замість словосполучення «нейронна модель» більш коректним було б вжити термін «нейромережева модель».

2. В розділі 3 виглядає не зовсім логічно, що спочатку представлені результати порівняння LSTM і RF моделей (пункт 3.2.4 Результати порівняння), а потім наведено методика побудови цих моделей. Крім того, було б доцільним навести в додатках лістинг коду для підготовки вхідних даних, метрик та результати навчання LSTM і RF. Також вважаю, що нейромережеву модель ТНУ можна було б винести в пункти наукової новизни.

3. Однією з вимог при розробці нейромережевої моделі ТНУ було заявлено гнучку адаптацію до змінних умов експлуатації. Бажано було б навести пояснення, що мається на увазі, оскільки нейронна мережа навчена на наборі згенерованих вхідних даних, які враховують фізичні і геометричні параметри конкретного ТНУ.

4. В роботі надано обмежену інформацію щодо ПД-регулятора. Бажано було б виокремити його на схемі Simulink, розписати канал керування та методи налаштування параметрів регулятора.

5. Було б доцільно навести аналіз економічної ефективності запропонованої системи. Робота акцентує увагу на технічних аспектах енергоефективності, проте оцінка економічної доцільності впровадження запропонованих рішень наприклад, у вигляді терміну окупності, економії за рік тощо, доповнила б переваги роботи.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Богзи Миколи Сергійовича на тему «Автоматизація процесу керування адаптивною системою переривчастого теплозабезпечення будинку на базі теплонасосної установки» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Автоматизація та приладобудування». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «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.

Здобувач Богза Микола Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент:

доцент кафедри технічних та
програмних засобів автоматизації
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
к.т.н., доц.



Дмитро КОВАЛЮК

М.П.

« ____ » _____ 2025 року