

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Богзи Миколи Сергійовича

на тему «Автоматизація процесу керування адаптивною системою переривчастого тепло-забезпечення 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.

В сучасних умовах потреба в підвищенні енергоефективності будівель постійно зростає через збільшення вартості енергоносіїв, обмеженість природних ресурсів, а також екологічні виклики, пов'язані з викидами парникових газів. Будівлі залишаються одним із найбільших споживачів теплової енергії, на які припадає до 40% загальних енерговитрат. З огляду на це, вдосконалення систем опалення, зокрема із застосуванням теплонасосних установок (ТНУ), є актуальною задачею.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному: виявлено і кількісно оцінено оптимальні значення параметрів переривчастого обігріву будинку на базі ТНУ, які забезпечують підвищення енергетичної ефективності системи керування теплозабезпеченням; вдосконалено систему керування переривчастим обігрівом теплозабезпечення будинку на базі ТНУ, яка враховує вплив температури зовнішнього середовища, прямої води в умовах зниженого теплового навантаження, прямої води в умовах розігріву, а також часу розігріву і дає можливість знизити споживання електроенергії ТНУ; удосконалено підходи до інтеграції аналітичних та нейронних моделей у середовищі MATLAB/Simulink за рахунок розроблення спеціальних алгоритмів, що суттєво зменшило затрати машинного часу для імітаційного моделювання динамічних процесів у системах теплозабезпечення; набули подальшого розвитку підходи до дослідження впливу типу робочого тіла на характеристики ТНУ за рахунок інтеграції

бібліотек з дослідження властивостей робочих тіл в моделі ТНУ, що дало можливість оцінювати ефективність застосування нових типів робочих тіл (зокрема сумішей) на динамічну характеристики ТНУ.

Отримані результати дисертаційної роботи мають і практичне значення, яке полягає в розробленні методики інтеграції складових системи теплозабезпечення — ТНУ, системи опалення та будівлі — в єдину комплексну модель; методики розробки нейронної моделі ТНУ, яка зберігає точність аналітичної моделі та при цьому істотно скорочує час обчислень, що дає можливість ефективно застосовувати її для динамічного керування системою теплозабезпечення; розроблені алгоритму переривчастого керування режимами роботи ТНУ, який мінімізує енерговитрати та забезпечує комфортний тепловий режим у будівлі.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі автоматизації енергетичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках 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) під керівництвом професора кафедри Автоматизації енергетичних процесів Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., професора Волощука Володимира Анатолійовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розроблення автоматизованої системи керування адаптивною системою переривчастого тепло-забезпечення 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 Богза 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.

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

У вступі зазначене зростання попиту на енергоефективні технології в умовах глобальної тенденції до скорочення використання викопного палива. Особлива увага приділена впливу переривчастого режиму обігріву на зменшення енергоспоживання. В першому розділі здійснено аналітичний огляд систем теплозабезпечення та методів їх управління. Даний розділ висвітлює основні виклики у сфері теплозабезпечення будівель, окреслює мету дослідження та обґрунтовує вибір методів та засобів для реалізації енергоефективного управління ТНУ.

Другий розділ дисертації присвячений розробці аналітичної моделі ТНУ, оцінці ефективності та оптимізації режимів експлуатації. У розділі розглядаються сучасні методи моделювання ТНУ, їхні переваги та недоліки, а також визначаються ключові етапи створення аналітичної моделі.

Третій розділ дисертації присвячений розробці та інтеграції моделі машинного навчання для ТНУ у середовище Simulink. Традиційні аналітичні моделі, незважаючи на свою точність, мають значні обмеження у швидкодії, що ускладнює їх використання для управління в реальному часі. Використання методів машинного навчання дозволяє зменшити обчислювальну складність та адаптувати модель до змінних умов. Ця методологія поєднує точність аналітичних моделей із швидкістю нейронних мереж, що робить її перспективним підходом до керування ТНУ.

Четвертий розділ дисертації присвячений розробці моделі системи теплозабезпечення будинку. Основною метою цього етапу є створення загальної моделі, яка об'єднує ТНУ, систему опалення та будівлю. Така модель забезпечує відтворення динаміки теплових режимів у будинку, через вплив зовнішніх факторів та роботу системи теплозабезпечення. Модель споживача теплової енергії враховує конструктивні особливості будівлі, теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій, внутрішні джерела теплоти.

Використання кліматичних даних які представлені типовим метеорологічним роком, дає можливість дослідити динаміку теплового режиму будівлі впродовж опалювального сезону. Результати моделювання підтверджують високу точність розробленої інтегрованої моделі системи теплозабезпечення будівлі на базі ТНУ. Отримані дані можуть бути використані для подальшого вдосконалення алгоритмів керування, зокрема шляхом застосування прогнозуючих моделей із застосуванням машинного навчання для прогнозування теплових режимів та адаптивного регулювання роботи ТНУ.

П'ятий розділ дисертації присвячено розробці та дослідженню алгоритмів керування переривчастим обігрівом на базі ТНУ. Основна увага приділена розробці адаптивних методів керування, які дають можливість зменшити енергоспоживання в нічний період за рахунок зниження температурної уставки, а також забезпечити необхідний рівень комфорту в приміщеннях до початку робочого дня шляхом завчасного переходу в режим розігріву.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

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 наукових фахових конференціях.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В пункті 1.1 першого розділу на рисунку 1.1 зазначений коефіцієнт трансформації ТНУ (COP) на рівні 3,5. Відомо, що COP залежить від температури навколишнього середовища. Для ТНУ типу "повітря-вода" COP залежить від температури зовнішнього повітря, і знижується при її зменшенні. Через це виробники опалювальних приладів на основі ТНУ додатково оснащують їх електричними нагрівачами. На рисунку 1.1 доцільно було б зазначити дійсний діапазон COP для ТНУ при мінімальних і максимальних розрахункових значеннях зовнішнього повітря.
2. В пункті 1.1 першого розділу на рисунку 1.2 представлений блок "Digital twin", який схематично знаходиться на одному рівні з лініями технологічних трубопроводів і технічного обладнання. Цифровий двійник (Digital twin) системи є цифровою надбудовою до існуючої технічної системи, і цю надбудову необхідно на схемі показувати поза позначеннями технологічного обладнання, утворюючи ієрархічне зображення схеми.
3. В пункті 1.2 першого розділу на стор. 44-45 і на рисунку 1.4 згадуються "Випадок 1" і "Випадок 2", але із тексту дисертації не зрозуміло, які саме випадки мав на увазі автор.

4. В пункті 1.3 першого розділу на рисунку 1.6 дуже складно розібрати підписи блоків моделі в Simulink, що ускладнює розуміння представленої схеми.
5. В пункті 1.4 першого розділу на стор. 52 перший ключовий аспект управління ТНУ зазначений як "Оптимізація температурного режиму на виході системи". Дане формулювання в представленому вигляді не зрозуміле і потребує роз'яснення. Не зрозуміло, про яку систему йдеться.
6. В пункті 1.5 першого розділу на рисунку 1.8 показано, що розігрів системи опалення починається з 9:00, але в тексті дисертації зазначено, що розігрів має відбутися до 8:00, коли починається робочий день.
7. В підпункті 2.4.2 другого розділу на стор. 76 зроблено припущення, що перехідні процеси в компресорі не відбуваються. Дане формулювання є некоректним. Правильніше було б сказати, що в компресор, як об'єкт керування, є статичним об'єктом, в якому відсутні інерційні властивості, або вони настільки незначні, що ними можна знехтувати.
8. В пункті 2.4 другого розділу відсутнє представлення математичної моделі ТНУ з визначеними числовими параметрами диференційних рівнянь. Відповідно не можна відтворити, базуючись на тексті дисертації, результати порівняння моделі і експериментальних даних, представлені на рисунку 2.3. Доцільно було б представити розрахунок математичної моделі в додатку до дисертації.
9. В підпункті 3.3.2 третього розділу на рисунку 3.5 відсутнє роз'яснення параметрів вхідного шару LSTM моделі.
10. В пункті 4.2 четвертого розділу на рисунку 4.4 дуже складно розібрати підписи блоків моделі в Simscape, що ускладнює розуміння представленої схеми.
11. В пункті 4.4 четвертого розділу відсутнє представлення математичної моделі споживача теплової енергії з визначеними числовими параметрами, а також налаштувань блоків в моделі Simscape. Відповідно не можна відтворити, базуючись на тексті дисертації, результати моделювання на рисунку 4.7. Доцільно було б представити детальніше модель споживача теплової енергії в додатку до дисертації.
12. В пункті 5.3 п'ятого розділу доцільно було б представити блок-схему алгоритму переривчастого керування.

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.

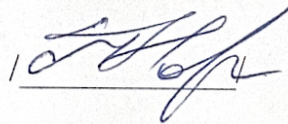
Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Богзи Миколи Сергійовича на тему «Автоматизація процесу керування адаптивною системою переривчастого тепло-забезпечення 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 *15 – 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 Автоматизації
енергетичних процесів Навчально-
наукового інституту атомної та
теплової енергетики
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”,
к.т.н., доц.



Павло НОВІКОВ

М.П.

« ____ » _____ 2025 року