

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Некрашевич Олени Василівни

на тему «Автоматизоване діагностування ефективності роботи
теплонасосної установки на основі критеріїв ексергетичного аналізу»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації.

Проблема раціонального використання палива з кожним роком набуває все більшої важливості. Особливо це актуально для технологічних процесів та виробництв, де енергетичні витрати складають значну частку собівартості продукції чи послуг. Прикладом таких об'єктів є системи теплозабезпечення будинків до складу яких входять теплонасосні установки (ТНУ). Крім того, з початком військових дій та через удари по критичній інфраструктурі задача збереження, ефективного обслуговування та продовження терміну експлуатації обладнання набуває ще більшої актуальності.

Одним із підходів для ефективного функціонування теплонасосних установок є планове та позапланове їх обслуговування, яке ґрунтується на розв'язанні задач діагностування. Проте діагностична інформація у таких системах містить дані, які важко систематизувати через різні за своєю природою фізичні процеси, що в свою чергу вимагає застосування нових критеріїв для її оцінки.

Варто зазначити, що теплонасосні установки складаються з багатьох пов'язаних компонентів, які впливають один на одного. Це ускладнює задачі діагностування і визначення об'єктів з погіршеними характеристиками. Тому в роботі обґрунтовано доцільність застосування ексергетичного аналізу та його критеріїв в задачах діагностування ефективності термодинамічних процесів.

В роботі також запропоновано архітектуру системи прийняття рішень на основі цифрового двійника, що дозволить при її реалізації здійснювати моніторинг та діагностування обладнання в реальному часі.

Проведене авторкою дослідження, спрямоване на підвищення енергетичної ефективності ТНУ під час її експлуатації шляхом розроблення автоматизованої системи діагностування стану роботи компонентів об'єкта на основі критеріїв ексергетичного аналізу, має велике значення.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Вони базуються на сучасних вітчизняних та зарубіжних наукових джерелах, а також коректно використовують числові методи для розв'язання систем диференціальних рівнянь, методи теорії автоматичного керування для моделювання та дослідження перехідних процесів в об'єктах ТНУ.

Значна частина інформації подана у математичних викладах, малюнках, схемах, таблицях, які ілюструють та доповнюють наукові положення дисертації.

Достовірність отриманих результатів обчислювальних експериментів підтверджується коректним застосуванням відповідного апарату математичного моделювання, використанням сучасних програмних засобів Matlab, Simulink, наведенням значень параметрів математичних моделей (об'єктів), співпадінням отриманих результатів з відомими експериментальними даними та кількісною оцінкою точності моделей.

При проектуванні інформаційно-дорадчої системи використано відомі принципи Індустрії 4.0, отримано свідоцтва авторського права на твір для комп'ютерних програм «Exergy analysis of heat pump system» та «Advanced exergy analysis of heat pump system».

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) доведена можливість і доцільність використання методології ексергетичного аналізу у задачах діагностування змін експлуатаційних характеристик компонентів системи та оцінювання впливу цієї зміни на ефективність роботи системи в цілому;

2) набуло подальшого розвитку математичне моделювання динамічних процесів ТНУ, що полягає у врахуванні втрат енергії під час стиснення робочого тіла у компресорі; врахуванні залежності теплофізичних властивостей робочих тіл від умов роботи та нелінійності процесів в об'єкті;

3) вперше запропоновано застосування критерію ексергетичного аналізу, а саме зміни ендогенної частини деструкції ексергії у задачах ідентифікації змін експлуатаційних характеристик компонентів системи в умовах динамічних режимів роботи;

4) отримало подальшого розвитку розроблення інформаційно-дорадчої системи з використанням технологій цифрового двійника (ЦД).

Наукові дослідження були виконані здобувачкою на кафедрі автоматизації енергетичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках прикладних держбюджетних науково-дослідних робіт «Розроблення техніко-технологічних

схем та систем керування теплозабезпечення населених пунктів на основі термодинамічних підходів» (номер державної реєстрації 0120U102168), «Ексергетичне обґрунтування нестационарних режимів та характеристик комбінованого тепло- та холодозабезпечення енергоефективних будівель на основі теплонасосних систем» (номер державної реєстрації 0122U001750), та держзамовлення «Розроблення інтелектуальної низькотемпературної системи теплозабезпечення будівель на базі конденсаційної модульної котельні» (наказ МОН України №715 від 09.06.2023). Також було отримано грант на участь у міжнародному проєкті Jean Monnet Module SLEMBG 2021-2024.

Таким чином, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання розроблення автоматизованої системи діагностування стану роботи компонентів об'єкта виконано повністю, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Некрашевич О.В. 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 здобувачки у науковий напрям «Методи та засоби моделювання, математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованих систем керування об'єктів енергетики».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Некрашевич Олени Василівни є результатом самостійних досліджень здобувачки і не містить елементів фальсифікації, копіювання, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 153 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 дисертації наведено задачі технічного діагностування, зазначено основні труднощі при їх розв'язанні. Проаналізовано ексергетичний аналіз, як методологічну основу діагностування ефективності роботи компонентів системи. Обґрунтовано доцільності застосування ексергетичного аналізу та його критеріїв в задачах діагностування ефективності термодинамічних процесів. Показано, що для адекватної оцінки ТНУ в складі системи теплозабезпечення будинку з урахуванням режимів роботи необхідно використовувати динамічний метод аналізу на основі квазістаціонарного підходу з подальшим інтегральним оцінюванням ексергетичних критеріїв за допомогою їх сезонних значень.

Другий розділ дисертації було присвячено розробці комп'ютерної моделі діагностування теплонасосної установки типу «вода-вода» на основі квазістаціонарного підходу. Показано, що існуючі методи ексергетичного аналізу застосовувалися для діагностування у проєктному режимі, проте системи теплозабезпечення будинків працюють в сезонних режимах, які змінюються. Запропоновано реалізацію методу діагностування роботи компонентів ТНУ у складі системи теплозабезпечення з урахуванням змінних режимів роботи в рамках задач предиктивного обслуговування теплоенергетичного обладнання. Досліджено споживання електроенергії ТНУ: у стані забруднення теплообмінників; після заміни конденсатора; після заміни випарника; у другому сезоні після проведення предиктивного обслуговування компонентів.

У третьому розділі дисертації розроблено математичні моделі теплонасосних установок «повітря-вода» та «вода-вода», наведено значення їх параметрів, здійснена програмна реалізація в пакеті Matlab. Досліджено перехідні процеси теплонасосної установки при різних вхідних збуреннях та початкових умовах. Показано, що зміна температури та витрати води на вході у конденсатор мають найбільший вплив на вихідний параметр. Зроблений висновок, що отримані перехідні процеси в об'єкті можна апроксимувати аперіодичними ланками першого порядку з або без запізнення. Здійснено перевірку моделей на адекватність на основі експериментальних даних, похибка у динамічних процесах за розробленими моделями не перевищує 10,5%.

У четвертому розділі дисертації запропоновано алгоритм діагностування компонентів ТНУ із урахуванням її динамічних режимів роботи на основі ексергетичного аналізу. На основі алгоритму ідентифікації розроблено модель діагностування теплонасосної установки типу «вода-вода». Модель реалізована в середовищах Matlab та Simulink і складається з моделі динамічних процесів окремих компонентів та моделі визначення потоків деструкції ексергії у досліджуваних динамічних процесах компонентів ТНУ. Проведено визначення компоненту, який найбільше впливає на зниження ефективності теплонасосної установки за ознакою найбільшого зростання ендогенної частини деструкції ексергії.

У п'ятому розділі дисертації запропоновано структуру інформаційно-дорадчої системи з використанням технологій цифрового двійника. Для опису цифрового двійника використано стандарт AutomationML. Наведено основні компоненти і принципи програмної архітектури.

У висновках наведено узагальнення отриманих у дисертаційній роботі наукових і практичних результатів.

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 21 науковій публікації здобувачки, серед яких: 6 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus (віднесеного до кuartилу Q3).

Також результати дисертації були апробовані на 14 наукових фахових конференціях, в тому числі закордонних.

Усі публікації здобувачки мають високий науковий рівень. Особистий внесок здобувачки до публікацій 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 здобувачки.

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. При формулюванні пунктів наукової новизни доцільно було б вказати чим вони відрізняються від існуючих і в чому їх переваги.

2. У розділі 2 зазначено, що проведено моделювання режимів роботи ТНУ типу «вода-вода» та досліджено зміну параметрів конденсатора та випарника. Проте не наведено математичні моделі та програмну реалізацію для цього моделювання.

3. Блок-схема алгоритму виявлення, ідентифікації та кількісної оцінки несправностей (рисунок 4.2) – наведена англійською мовою. Було б раціональніше зробити підписи всередині блоків українською мовою.

4. На рисунку 4.9 наведений регулятор, але в роботі не вказано методи налаштування параметрів регулятора і критерії якості керування.

5. Наведено архітектуру системи з цифровим двійником, але вона не доведена до практичної реалізації. В роботі було б доцільним здійснити програмну реалізацію цифрового двійника з генеруванням імітаційних даних технологічного процесу.

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 здобувачки ступеня доктора філософії Некрашевич Олени Василівни на тему «Автоматизоване діагностування ефективності роботи теплонасосної установки на основі критеріїв ексергетичного аналізу» 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.

Здобувачка Некрашевич Олена Василівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «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.

М.П.




12 2023 року

Дмитро КОВАЛЮК

Підпис гр.
ЗАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів та кадрового
управління (Вирго)
підпис пр-ще