ВІДГУК

офіційного опонента 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.

Актуальність тематики визначається активним пошуком науково-технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи устаткування теплоенергетичних систем, як протидії значним експлуатаційним витратам та необхідності енергозбереження. Теплонасосна установка належить до класу технологічного устаткування зі значним експлуатаційним періодом та значною складністю обслуговування. Невизначеність щодо впливу окремих компонентів на характеристики систем стає викликом, особливо в гетерогенних системах з різноманітним обладнанням. Дослідження та розбудова методів детального аналізу поведінки підконтрольного об'єкта з урахуванням апріорних знань та уточненої інформації щодо умов функціонування обладнання, так само як і корекція керуючих впливів на об'єкт, є корисним аспектом у загальному завданні підвищення ефективності технологічних систем. Автором виділено та обґрунтовано доцільність синтезу системи автоматизованого технічного діагностування, оскільки це ефективний засіб виявлення неефективних компонентів теплоенергетичних систем.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення енергетичної ефективності теплонасосної установки через розроблення автоматизованої системи діагностування. Підтвердженням актуальності роботи є її виконання в межах прикладних держбюджетних науково-дослідних робіт «Розроблення техніко-технологічних схем та систем керування теплозабезпечення населених пунктів на основі термодинамічних підходів» (номер державної реєстрації 0120U102168), «Ексергетичне обгрунтування нестаціонарних режимів та характеристик комбінованого теплота 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 Міністерство освіти і науки України №715 від 09.06.2023).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у:

- всебічному аналізі та доведенній можливості й доцільності використання методології ексергетичного аналізу у задачах діагностування змін експлуатаційних характеристик компонентів системи та оцінювання впливу цієї зміни на ефективність роботи системи в цілому;
- подальшому розвитку математичного моделювання динамічних процесів теплонасосної установки, 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;
- вперше запропонованому застосуванні критерію ексергетичного аналізу, а саме зміни ендогенної частини деструкції ексергії у задачах ідентифікації зміни експлуатаційних характеристик компонентів системи в умовах динамічних режимів роботи;
- внеску автора у розвиток розроблення інформаційно-дорадчої системи з використанням технологій цифрового двійника.

Достовірність наукових результатів забезпечується коректним та доцільним застосуванням методів моделювання динамічних режимів роботи теплоенергетичних об'єктів, ідентифікації об'єктів керування, апарату теорії автоматичного керування, ексергетичного аналізу та імітаційного комп'ютерного моделювання.

Результати проведених чисельних розрахунків узгоджуються з отриманими теоретичними висновками. Таким чином, наукові положення, висновки і рекомендації дисертації досить добре обґрунтовані і є достовірними.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності.

Практичне значення наукових результатів

Отримані результати можуть бути використані в проєктуванні, розробці та впровадженні нових систем автоматизації теплонасосних установок, а також для модернізації наявних систем. У дисертації вперше запропоновано критерій ексергетичного аналізу (зміна ендогенної частини деструкції ексергії), який можна у подальшому використати, як ключовий показник ефективності. Запропоновано алгоритм ідентифікації та ранжування неефективних компонентів у складі системи впродовж її експлуатації.

Очікується, що розроблена інформаційно-дорадча система автоматизованого діагностування теплонасосної установки з використанням

моделі діагностування стану компонентів забезпечить підвищення ефективності роботи установки за рахунок оптимізації процедур обслуговування та корекції керування установкою.

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 співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Некрашевич Олени Василівни є результатом самостійних досліджень здобувачки 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, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 153 сторінки.

За змістом подана дисертація розкриває обрану тему, в цілому вирішує поставлену мету та завдання дослідження. Дисертація структурована відповідно плану. Стиль викладення матеріалу відрізняється науковістю, логічністю та послідовністю. У тексті дисертації відображено основні положення, зміст, результати і висновки здійсненого дослідження.

У першому розділі дисертації проведено аналіз методології ексергетичного аналізу, а також розглянуто використані критерії в контексті діагностування компонентів теплонасосних установок при змінних режимах роботи. Досліджено, що діагностична інформація в системах експлуатації складно систематизується через різні фізичні процеси та взаємовплив змін у компонентах. Відзначено, що традиційні підходи, зокрема за Першим законом термодинаміки, не враховують якість енергії та термодинамічні недосконалості. Підкреслено, що ексергетичний підхід надає можливість точно визначити місце, значення та джерела термодинамічних втрат. Здійснено огляд методів

автоматизованого діагностування технологічних систем. Розділ завершується постановкою завдань, які потрібно вирішити для досягнення мети дослідження.

У другому розділі дисертації розглянуто розробку комп'ютерної моделі діагностування теплонасосної установки «вода-вода» на основі квазістаціонарного підходу. Для діагностування ефективності компонентів з урахуванням змінних режимів роботи застосовано положення ексергетичного аналізу. На основі отриманих результатів запропоновано алгоритм предиктивного обслуговування теплонасосної установки.

У третьому розділі дисертації розроблено та реалізовано динамічні моделі для аналізу перехідних процесів у теплонасосних установках «повітря-вода» та «вода-вода». Проведена перевірка адекватності моделі в двох варіантах показала допустиму точність у порівнянні з експериментальними даними. У результаті модельних досліджень виявлено, що ці перехідні процеси можна ефективно апроксимувати аперіодичними ланками першого порядку, а також визначено, що об'єкти керування мають нелінійний характер. Аналізуючи перехідні процеси при різних впливах та умовах, встановлено, що зміна температури та витрати води на вході у конденсатор значно впливають на вихідний параметр порівняно із збуреннями від випарника.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробці динамічної моделі об'єкта для діагностування теплонасосної установки «вода-вода» на основі запропонованого алгоритму ідентифікації несправностей з урахуванням динамічних режимів роботи устаткування. Модель, реалізована в середовищах Matlab та Simulink, включає в себе динамічні процеси окремих компонентів та модель потоків деструкції ексергії у динамічних процесах. Алгоритм ґрунтується на ексергетичному балансі компонентів теплонасосної установки та визначенні ендогенних частин деструкції ексергії при нормальному та несправному режимах. Виявлення впливового компоненту реалізується через аналіз зростання ендогенної частини деструкції ексергії цього компоненту. Діагностика роботи компонентів проводиться під час штатної роботи системи автоматичного керування, яка також змодельована та налаштована відповідно до вимог якості регулювання технологічних параметрів.

У п'ятому розділі дисертації розглянуто переваги використання цифрового двійника сучасних теплонасосних установок, які визначаються складністю систем та потребою в ефективному моніторингу. Створена віртуальна модель теплонасосної установки в реальному часі дозволяє виявляти несправності та оптимізувати роботу установки. Запропонована архітектура цифрового двійника на основі стандарту AutomationML структурує інформацію для поліпшення прийняття рішень у системі автоматизованого діагностування.

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 20 наукових публікаціях здобувачки, серед яких: 6 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 13 наукових фахових конференціях.

У повному обсязі виконано вимоги Постанови КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (із змінами, внесеними згідно Постанови КМУ №341 від 21.03.2022 р.) «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» до кількості публікацій у спеціалізованих виданнях.

Значний часовий інтервал публікацій свідчить про тривалу та систематичну роботу над дисертацією. У них відображені всі основні наукові положення дисертації.

У цілому в публікаціях та тексті дисертації порушення академічної доброчесності не виявлені.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Основні зауваження до дисертаційної роботи полягають у наступному:

1) формулювання предмету дослідження не зовсім точно відображає суть дисертаційного дослідження;
2) авторка запропонувала опис структури цифрового двійника на основі стандарту AutomationML, хоча варто було б розглянути й інші онтологічні підходи;
3) рисунок 4.2 наведено англійською мовою з подальшим описом українською мовою;
4) у пункті 4.2 «Розроблення динамічної моделі ексергетичного аналізу ТНУ» варто було б більш детально представити взаємозв'язки у структурі динамічної моделі ексергетичного аналізу теплонасосної установки в середовищі Simulink;
5) авторкою у недостатній мірі розкрито питання адекватності розробленої динамічної моделі теплонасосної установки;

6) не розкрита можливість самонавчання системи і врахування дій оператора у майбутньому;
7) практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи не підкріплено жодним кількісним показником.

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.

Офіційний опонент:
Професор кафедри автоматики та робототехнічних систем Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження Національного університету біоресурсів і природокористування України, д.т.н., проф.

Наталія ЗАЄЦЬ

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу кадрів
Підпис _____ С.ГРИЩЕНКО

М.П. «22» 12 2023 року