

ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента Решетюка Володимира Михайловича
на дисертаційну роботу

Ковальчука Дмитра Андрійовича

«Енергоефективне автоматичне керування утилізацією тепла
продуктів згоряння газових котелень в умовах застосування
парокомпресійних теплових насосів»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність роботи не викликає сумніву, адже при проектуванні житлових і промислових будівель спостерігається тенденція до застосування автономних теплогенеруючих установок для систем опалення та гарячого водопостачання. Такі системи будуються на базі газових водогрійних котлів (ГВК) і конденсаційних газових водогрійних котлів (КГВК). Але їх впровадження залежить від теплофізичних характеристик будівель, форми організації співвласників будинку, умов договору з керуючою компанією.

Котли ГВК зазвичай втрачають з продуктами згоряння 15-20% від повної теплотворної здатності палива. Підвищити ККД ГВК дозволяє застосування конденсаційних економайзерів для відбору тепла від продуктів згоряння. Однак забезпечення режиму глибокої конденсації для більш повного використання вищої теплоти згорання палива обмежується необхідністю наявності на вході в конденсаційний економайзер низькотемпературного теплоносія з температурою 15-25 °С. Температура зворотної води на вході в економайзер в режимах реальної експлуатації може бути недостатньо низькою для конденсації значної кількості вологи з димових газів. Використання теплового насосу в системі утилізації тепла продуктів згоряння дозволяє значно підвищити ККД ГВК з конденсаційним економайзером. Тому дослідження процесу глибокої утилізації тепла продуктів згоряння в умовах застосування парокомпресійного теплового насосу (ТН) як об'єкту керування (ОК) та розробка енергоефективної системи керування є актуальними задачами. Здобувачем побудовано фізичну модель процесу утилізації тепла продуктів згоряння з застосуванням ТН та проведено великий комплекс натурних експериментів по дослідженню властивостей процесу як ОК.

Отримані результати експериментів дозволили побудувати повну математичну модель процесу як ОК, яка з високою точністю відтворює його властивості. Крім того, в ході аналізу результатів експериментів для вирішення головної задачі автору дисертації вдалося сформулювати нову, більш інформативну керовану змінну, що характеризує витрату холодоагенту.

Перераховане вище створило всі необхідні умови для успішних розро-

бки та тестування в умовах реальної експлуатації енергоефективної САК процесом утилізації тепла продуктів згоряння (УТПЗ) з застосуванням ТН, що і обумовлює актуальність дисертації.

2. Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій

Автор дисертації у своїх дослідженнях та розробках ефективно і досить професійно застосовував різні сучасні методи фізичного моделювання об'єкта керування, методи теорії ідентифікації, включаючи планування та проведення натурних експериментів при побудові математичних моделей, що отримуються на основі експериментальних даних в перехідних та сталих режимах; моделювання матеріального та енергетичного балансів тепломасообмінних процесів, реалізацію математичних моделей об'єкта керування у формі імітаційних моделей; методи теорії автоматичного керування, що розглядають синтез САР підвищеної динамічної точності та порівняльний аналіз альтернативних САК з різними алгоритмами керування в широких умовах їх функціонування.

Дуже важливо, що імітаційні версії розроблених математичних моделей реалізовано в сучасному інтерактивному середовищі імітаційного моделювання динамічних систем Simulink, що дозволяє створювати такі моделі для систем утилізації різної потужності й конфігурації, а також здійснювати тестування відповідних САК.

Хочеться також звернути увагу на реалізовану модель впливу зовнішніх збурень на інтервалі часу, рівному одній добі, що відповідає реальним умовам експлуатації, отриманим на основі даних моніторингу за роботою реальної газової котельні. Ця модель була використана при тестуванні розроблених альтернативних САК.

Викликає інтерес підхід автора до отримання нової керованої змінної – витрати холодоагенту у контурі ТН. Ця змінна розраховується скісним методом за математичною моделлю з використанням параметрів, доступних до вимірювання. Це дозволило мати інформацію про фактичну витрату холодоагенту без використання датчика витрати і в подальшому використати цю змінну при побудові системи керування каскадної структури.

Викладене дозволяє зробити висновок про обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації.

3. Аналіз змісту дисертаційної роботи.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мету і завдання дослідження, об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, відображено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

У першому розділі розглянуті основні особливості роботи газових теплогенерувальних агрегатів та аналіз факторів, що впливають на їхню енергетичну ефективність. Розглянуто технічні рішення, що дозволяють підвищити енергетичну ефективність процесу утилізації, зокрема застосування парокомпресійного ТН.

Проаналізовано системи керування класичної структури з контурами регулювання перегріву парів холодоагенту на виході випарника та продуктивності з використанням П-, ПП- та ППД регуляторів, нечітких та нейронних регуляторів, а також системи керування з адаптивним регулятором температури перегріву.

У другому розділі розглянуто питання загальної концепції проведення натурних експериментальних досліджень, побудови лабораторної дослідної установки – фізичної моделі процесу, розробка системи автоматизації для планування та проведення автоматизованих експериментальних досліджень процесу УТПЗ як ОК. В цьому розділі представлений досить детальний опис конструкції лабораторної установки, перераховані усі присутні в ній сенсори для вимірювання технологічних величин, контури стабілізації параметрів. Описано розроблене автором програмне забезпечення дозволяє проводити експериментальні дослідження як в ручному, так і в автоматичному режимі зі збереженням усіх даних експерименту. Також наведене планування експериментів з перерахуванням умов їх ведення.

У третьому розділі подано аналіз результатів експериментальних досліджень із використанням фізичної моделі. Ідентифіковано основні статичні та динамічні властивості процесу. А також розроблено комплекс математичних моделей процесу УТПЗ як ОК, що описує нелінійні статичні і динамічні властивості каналів керування, перехресних каналів, каналів збурень процесу УТПЗ в умовах використання теплового насоса та реалізовано їх у середовищі імітаційного моделювання. Проведено перевірку моделей на адекватність.

Отримана математична модель блоку скісного розрахунку витрати холодоагенту у контурі ТН, що дозволяє на основі параметрів, доступних для вимірювання, розрахувати миттєву витрату холодоагенту без використання спеціальних сенсорів, яку в подальшому буде використано при побудові САК підвищеної динамічної точності.

У четвертому розділі проведено структурний та параметричний синтез базової САК та шістьох альтернативних варіантів САК підвищеної динамічної точності, проведено їхній порівняльний аналіз з оцінкою показників якості регулювання. Обрано найбільш ефективну САК; для неї проведено випробування з використанням моделі збурень, що відповідають реальним умовам експлуатації.

У висновках дисертаційної роботи викладено основні результати проведених досліджень у відповідності з поставленими завданнями для вирішення мети досліджень.

4. Оцінка новизни наукових положень

Автором дисертації особисто отримано наступні основні наукові результати:

вперше обґрунтовано в ході спеціальних цілеспрямованих експериментів на фізичній моделі процесу УТПЗ доцільність введення нової регульованої змінної – розрахункового значення масової витрати холодоагенту у випарнику;

вперше отримано комплекс математичних моделей, що описує нелінійні статичні і динамічні властивості каналів керування, перехресних каналів та каналів збурень процесу УТПЗ з тепловим насосом як ОК, на основі рівнянь матеріального і енергетичного балансів процесу УТПЗ і результатів експериментів на його фізичній моделі;

вперше проведені порівняльні дослідження варіантів САК процесом УТПЗ з базовим алгоритмом керування та альтернативними варіантами алгоритмів, що підвищують динамічну точність керованих змінних, з оцінкою енергетичної ефективності процесу;

вперше отримана імітаційна модель зовнішніх збурень процесу УТПЗ на основі даних моніторингу функціонування автономної газової котельної багатоповерхового житлового будинку, із застосуванням якої проведено порівняльне моделювання базової та найбільш конкурентоздатної САК серед розглянутих альтернативних варіантів;

отримало подальший розвиток фізичне моделювання процесу УТПЗ в напрямку застосування теплового насоса, розширення умов моделювання та автоматизації проведення експериментів, включаючи створення АРМ дослідника;

отримала подальший розвиток концепція підвищення ефективності керованих процесів, зокрема енергетичної ефективності процесу УТПЗ, за рахунок цілеспрямованого вдосконалення алгоритмів керування САК в напрямку підвищення динамічної точності керованих змінних на основі застосування принципів каскадності, інваріантності та автономності;

удосконалено в ході спеціальних цілеспрямованих експериментів на фізичній моделі процесу УТПЗ структуру контуру регулювання температури перегріву пари холодоагенту на виході випарника для запобігання в ньому автоколивань за рахунок застосування мікрокрокового режиму в регулюючому вентилі.

Всі перераховані наукові результати є новими.

5. Практична цінність роботи

Результати дисертаційної роботи мають важливе значення для розвитку теорії та практики моделювання фізичного та математичного моделювання процесу УТПЗ з застосуванням ТН та розробки на їхній основі систем ав-

томатичного керування, що забезпечують ведення процесу в енергоефективних режимах.

Зокрема:

а) розроблена та виготовлена фізична модель процесу УТПЗ з застосуванням теплового насосу, обладнана автоматизованим робочим місцем дослідника, що дозволяє проводити експериментальні дослідження в автоматичному режимі за заздалегідь розробленим планом експерименту;

б) розроблено комплекс математичних моделей процесу УТПЗ як ОК, що описує нелінійні статичні і динамічні властивості каналів керування, перехресних каналів та каналів збурень процесу УТПЗ в умовах використання теплового насоса, реалізовано їх у середовищі імітаційного моделювання;

в) проведені порівняльні дослідження варіантів САК процесом УТПЗ із базовим алгоритмом керування та альтернативними варіантами алгоритмів, що підвищують динамічну точність керованих змінних, з оцінкою енергетичної ефективності процесу.

Лабораторну дослідну установку та комплект методичних вказівок по її використанню, а також матеріали з математичних та імітаційних моделей процесу УТПЗ з використанням ТН передано на кафедру Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем Одеської національної академії харчових технологій для використання у навчальному процесі.

6. Повнота представлених основних наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих роботах

За темою дисертації опубліковано 11 наукових робіт.

Основні положення дисертації та окремих її результатів відображено у 11 роботах, з них 5 – у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України, 1 – у періодичному виданні інших держав, та 1 – монографія.

Апробація матеріалів дисертації проводилась на міжнародних конференціях, матеріали яких опубліковано в 4 тезах.

Таким чином, вимогу МОН України щодо кількості публікацій у переліку спеціальних видань виконано.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації відображено в опублікованих статтях досить повно. Вони, а також опубліковані матеріали за доповідями на конференціях, повною мірою відображають основний зміст дисертації.

Автореферат містить всю необхідну для оцінки роботи інформацію, зокрема містить основні положення, висновки та рекомендації, які наведено в дисертації. Зміст автореферату та основних положень дисертації ідентичні. Оформлення автореферату відповідає вимогам МОН України.

7. Зауваження по роботі

1. В першому розділі автором дисертації проводиться аналіз існуючих способів підвищення енергетичної ефективності газових котелень, зокрема за рахунок утилізації тепла продуктів згоряння, однак, на мій погляд, занадто велику увагу приділено конструктивним рішенням, що дозволяють підвищити енергетичну ефективність (різні конструкції пальників, економайзерів, утилізаторів)

2. У математичної моделі компресора (стор. 101) не враховано його динамічні властивості.

3. При синтезі альтернативних варіантів систем автоматичного керування автор проводить оптимізацію параметрів регуляторів за допомогою блоку оптимізації «розробленого на кафедрі АТПіРС» (стор. 114, 119, 139), однак не представлено опис цього блоку та алгоритмів, за якими виконується оптимізація.

4. При дослідженні САУ процесом утилізації у всіх експериментах температура продуктів згоряння на виході теплоутилізатора була задана на рівні 35 °С. Вважаю, що доцільно було б провести дослідження впливу температури охолодження продуктів згоряння на енергетичну ефективність процесу.

5. На деяких графіках (стор. 35, 70, 71) експериментальних досліджень не вказані одиниці вимірювання наведених параметрів, що ускладнює їх сприйняття.

6. В роботі в незначній кількості присутні друкарські помилки, нерозшифровані скорочення та русизми.

8. Оцінка дисертації в цілому

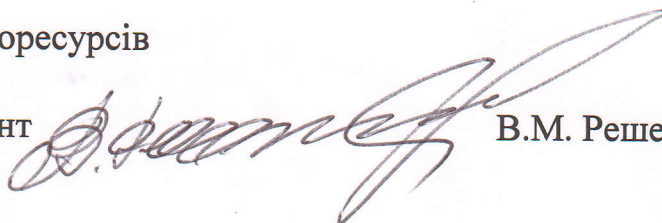
Дисертаційна робота Ковальчука Дмитра Андрійовича «Енергоефективне автоматичне керування утилізацією тепла продуктів згоряння газових котелень в умовах застосування парокомпресійних теплових насосів» відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 щодо кандидатських дисертацій, які встановлює «Порядок присудження наукових ступенів», затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р., № 567 (зі змінами). Вона є завершеною науковою працею, у якій отримано нові науково-обґрунтовані результати, що мають важливе значення для автоматизації процесів керування утилізацією тепла продуктів згоряння газових котелень із застосуванням парокомпресійних теплових насосів та підвищення їх енергетичної ефективності.

Зауваження по роботі не вносять будь-яких сумнівів у зроблені раніше висновки про обґрунтованість, достовірність та новизну її наукових положень, висновків та рекомендацій. Впровадження та проведені дослідження САК при впливі збурень, що відповідають реальним умовам експлуатації остаточно підтвердили адекватність та достатню повноту розроблених її авто-

ром моделей об'єкта керування та енергетичну ефективність САК. Вони скоріше носять характер побажань.

З огляду на викладене, можна стверджувати, що Ковальчук Дмитро Андрійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Доцент кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
Національного університету біоресурсів
і природокористування,
кандидат технічних наук, доцент

 В.М. Решетюк

Підпис доц. Решетюка В.М. засвідчую.

