

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Осадчого Сергія Івановича
на дисертацію

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»

Актуальність теми. В умовах стрімкого зростання цін на природний газ виникає необхідність розробки та застосування нових рішень по підвищенню енергетичної ефективності автономних теплогенерувальних установок для систем опалення та гарячого водопостачання. Одним з таких рішень є застосування парокомпресійного теплового насосу, який забезпечує додаткове охолодження теплоносія, що циркулює в контурі економайзера. Однак, ефективність роботи такого теплового насосу, як об'єкту керування, визначається здатністю регулятора з високою точністю підтримувати заданий режим роботи в умовах, коли діють координатні та параметричні збурення. Характерною особливістю зазначених збурень є їх зміна в дуже широкому діапазоні. Отже виникає необхідність відмови від класичних систем керування, які можуть втрачати стійкість в умовах суттєвої зміни характеристик теплового насосу.

З огляду на це вважаю, що дисертація Ковальчука Д.А., спрямована на розробку системи автоматичного керування утилізацією тепла продуктів згоряння газових котелень, алгоритми роботи якої забезпечують енергоефективне ведення процесу в умовах застосування парокомпресійних теплових насосів, є **актуальною науково-дослідною роботою.**

Дисертація Ковальчука Д.А. пов'язана з виконанням наукових досліджень у відповідності до планів Міністерства освіти і науки України, наукового напрямку Одеської національної академії харчових технологій, кафедри автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем, а також НДР «Автоматичне керування технологічними процесами: розробка алгоритмів з високим рівнем інтелекту, моделювання та оптимізація систем» в який автор брав участь в якості виконавця.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна. Викладені в дисертаційній роботі положення, теоретичні та практичні результати мають належну ступінь обґрунтованості. Їх достовірність не

викликає сумніву та підтверджена коректним використанням положень теорії ідентифікації, включаючи планування та проведення натурних експериментів, теорії автоматичного керування, а також результатами фізичного (натурного) та імітаційного моделювання матеріального та енергетичного балансів тепломасообмінних процесів утилізації тепла продуктів згоряння.

Наукова новизна результатів дослідження.

До найбільш суттєвих нових наукових результатів, коректно отриманих в дисертації, слід віднести наступні: вперше доведена необхідність та доцільність використання розрахункового значення масової витрати холодоагенту у випарнику як нової регульованої змінної; для визначення характеристик процесу утилізації тепла продуктів згоряння (УТПЗ) з тепловим насосом як об'єкта керування розроблено новий комплекс математичних моделей, який описує нелінійні статичні і динамічні властивості каналів керування, перехресних зв'язків та каналів збурень; вперше ідентифікована модель зовнішніх збурень, яка дозволила здійснити порівняльний аналіз розглянутих альтернативних варіантів; отримало подальший розвиток застосування принципів каскадності, інваріантності та автономності для підвищення точності витримування керованих змінних за рахунок вдосконалення алгоритмів керування.

Важливість результатів дисертаційної роботи для науки і практики.

Запропоновані методи та моделі автоматизації керування процесу утилізації тепла продуктів згоряння з тепловим насосом в умовах дії зовнішніх збурень забезпечують можливість отримання якісно нових проектних рішень з підвищення енергетичної ефективності автономних теплогенерувальних установок для систем опалення та гарячого водопостачання. Результати дослідження знайшли застосування у практиці створення автономних систем теплопостачання багатоповерхових житлових будинків, зокрема системи гарячого водопостачання багатоповерхового будинку ОСББ «Ломоносовець» у м. Одеса.

Створена лабораторна установка дозволяє проводити дослідження процесів утилізації пароповітряних сумішей в широкому діапазоні можливих умов роботи. При чому її призначення цим не обмежується, і її можливо застосовувати також для моделювання інших тепломасообмінних процесів.

Розроблені на основі результатів натурних експериментів математичні моделі процесу УТПЗ дозволяють з високим рівнем достовірності відтворювати ці процеси в широкому діапазоні зміни параметрів, створити програмне середовище імітаційного моделювання з зручним інтерфейсом для конфігурування та налаштування параметрів моделі.

Розроблені алгоритми САК процесом дозволяють підвищити його енергетичну ефективність, знизивши споживання електричної енергії тепловим насосом за рахунок ведення процесу в більш ефективних режимах.

Лабораторну установку та матеріали з математичних і імітаційних моделей процесів УТПЗ передано на кафедру Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем Одеської національної академії харчових технологій для використання в навчальному процесі.

Повнота викладення основних результатів та висновків в опублікованих працях. Основні наукові результати дисертації достатньо повно висвітлені у 7 опублікованих роботах, у тому числі 5 статей у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України, та 1 – у науковому виданні інших держав, 1 – монографії та 4 матеріалах і тезах міжнародних та всеукраїнських конференцій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації. Загальний обсяг друкованих праць за темою дисертації та повнота викладення в них наукових положень дисертації цілком відповідають вимогам, що ставляться МОН України.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення. Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та шести додатків.

Дисертація є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують завдання енергоефективного ведення процесу в умовах застосування парокompresійних теплових насосів в умовах дії координатних та параметричних збурень.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, показаний її зв'язок з науковими напрямками та темами, сформульовано мету та задачі дослідження, встановлено межі об'єкту та предмета дослідження, перераховано методи дослідження, які застосовувалися в роботі, її наукові результати, ступінь їхньої новизни та практичне значення, відзначено особистий внесок здобувача в публікаціях за темою дисертації, перелічено конференції, де проводилася апробація результатів, дано загальну інформацію про публікації, структуру та обсяги роботи.

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 парокompresійного теплового насосу. Проаналізовано системи керування класичної структури з контурами регулювання перегріву парів холодоагенту на виході випарника та продуктивності з використанням

позиційних, П-, ПІ- та ПІД 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. Представлений досить детальний опис конструкції лабораторної установки, перераховані усі присутні в ній сенсори для вимірювання технологічних величин, контури стабілізації параметрів.

У третьому розділі подано аналіз результатів експериментальних досліджень із використанням фізичної моделі. Ідентифіковано основні статичні та динамічні властивості процесу. Розроблено комплекс математичних моделей процесу УТПЗ як об'єкта керування, що описує нелінійні статичні і динамічні властивості каналів керування, перехресних каналів, та 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 теплового насоса, який дозволяє на основі параметрів, доступних для вимірювання, розрахувати миттєву витрату холодоагенту без використання спеціальних сенсорів, що в подальшому буде використано при побудові САК підвищеної динамічної точності.

У четвертому розділі проведено структурний та параметричний синтез базової САК та шість альтернативних варіантів САК підвищеної динамічної точності та 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 наведені основні результати проведеної роботи.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації. Ознайомлення з текстом автореферату дисертації дає підстави стверджувати, що він повністю відображає зміст, основні положення, результати і висновки дисертаційної роботи.

Дискусійні положення та зауваження

Позитивно оцінюючи здобутки дисертантки, вважаю за необхідне зазначити наступні дискусійні положення та зауваження до поданої дисертації:

1. Відомо, що важливим параметром, який впливає на режим роботи газового котла і, отже, на систему утилізації тепла продуктів згоряння, є

коефіцієнт надлишку повітря. Від нього буде залежати температура, при якій починається конденсація водяної пари, що входить до складу продуктів згоряння (автор наводить в дисертації навіть графік цієї залежності) і, отже і енергетична ефективність системи утилізації. Однак, усі дослідження були проведені при деякому постійному надлишку повітря. Вважаю, було б доцільно провести дослідження режимів роботи системи утилізації при різних коефіцієнтах надлишку повітря.

2. Режим роботи конденсатора теплового насоса є істотним збуренням для контуру регулювання рівня перегріву парів холодоагенту. Він визначається температурою теплоносія на вході конденсатора і його витратою. Однак, автором не проведено дослідження впливу витрати теплоносія через конденсатор на контур регулювання рівня перегріву парів холодоагенту.

3. Автором запропоновано ввести нову регульовану змінну – витрату холодоагенту, яка розраховується по математичній моделі (стор. 100). Однак в моделі застосовано рівняння стану для ідеального газу, яким холодоагент не є.

4. При тестуванні та порівнянні розроблених алгоритмів керування для оцінки їх якості було використано розроблену автором модель зовнішніх збурень, що відповідає умовам реальної експлуатації (стор. 156). Однак в цій моделі лише два параметри (витрата продуктів згоряння та температура води на вході в конденсатор) змінюються у часі, при цьому усі інші параметри є константами. Відсутнє обґрунтування вибору саме цих двох змінних.

5. Підвищення енергетичної ефективності процесу утилізації тепла продуктів згоряння при застосуванні розробленої САУ було досягнуто в основному за рахунок зниження заданого значення рівня перегріву парів холодоагенту з 6 до 2 °C (стор. 158). Однак відсутнє обґрунтування вибору саме таких значень.

6. Автор іноді плутає застосування термінів «Система автоматичного керування (САК)» та «система автоматичного управління (САУ)» В українській мові для технічних засобів слід застосовувати термін «керування».

Загалом, висловлені зауваження не ставлять під сумнів отримані наукові результати та повністю можуть бути виправленими у подальшій науковій роботі дисертанта.

Висновок

Дисертація Ковальчука Дмитра Андрійовича є завершеною, логічно обґрунтованою науково-технічною роботою, що містить новий розв'язок актуальної науково-прикладної задачі автоматизації процесів керування процесом утилізації тепла продуктів згоряння із застосуванням теплових насосів з метою підвищення їх енергетичної ефективності. Достовірність основних наукових положень і прикладних результатів роботи підтверджена результатами моделювання теоретично та документально.

Вважаю, що дисертація «Енергоефективне автоматичне керування утилізацією тепла продуктів згоряння газових котелень в умовах застосування парокомпресійних теплових насосів» відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування та 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), а її автор, Ковальчук Дмитро Андрійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент, доктор техн. наук, професор,
завідувач кафедри автоматизації виробничих
процесів Центральноукраїнського національного
технічного університету

С.І. Осадчий

Підпис офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Осадчого С.І. засвідчую.

Секретар Вченої ради ЦНТУ
кандидат технічних наук, професор



В.М. Каліч