

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Максимова М.В.

на дисертацію Биць Оксани Михайлівни

“Автоматизація проектування систем вимірювання кількості теплової енергії на основі витратомірів змінного перепаду тиску”, представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Актуальність теми дисертації

Теплова енергія є одним з важливих складників енергетичного балансу кожного промислового підприємства та житлово-комунального господарства. Зважаючи на постійне зростання вартості основних видів палива, а, відповідно, і вартості теплової енергії, завдання зменшення витрат теплової енергії та її економного використання стають вкрай важливими та актуальними.

Ці завдання можуть бути вирішені тільки за умови реалізації точного обліку теплової енергії на всіх ділянках від її виробництва до кінцевого споживача. Налагодження точного обліку теплової енергії можливе тільки за наявності якісної нормативної бази та точних технічних засобів вимірювання кількості теплової енергії.

Для точного вимірювання кількості теплової енергії слід проектувати системи на основі мікропроцесорних контролерів, що здатні реалізувати складні алгоритми обчислення параметрів теплоносія. Під час проектування необхідно врахувати велику кількість технологічних та нормативних обмежень. Тому проектування таких систем є складним, а отже задача автоматизації процесу проектування, що розв'язана у дисертаційній роботі Биць О.М. є надзвичайно актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана згідно з науковими програмами та планами науково-дослідних робіт кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка» та відповідає науковому напрямку кафедри: «Вдосконалення і розробка елементів і підсистем збору та первинної обробки інформації в АСУ ТП». Дослідження за темою дисертації виконувались в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи ДБ "Енергія" та госпдоговірних науково-дослідних робіт.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Биць О.М. представлена в обсязі 175 сторінок основного тексту з рисунками і таблицями та 4 додатками. Перелік використаних літературних джерел налічує 87 найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано його мету, задачі, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Оцінено особистий внесок здобувача в одержаних результатах показано зв'язок дисертації з науковими програмами та планами

університету, де виконана робота, визначено об'єкт та предмет досліджень, наведено інформацію щодо апробації результатів дисертації, публікацій автора, структури та обсягу дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи автором проведено аналіз нормативно-технічного забезпечення за напрямком дисертаційного дослідження. За результатами аналізу сформульовано недоліки щодо стану обліку кількості теплової енергії, нормативного забезпечення систем вимірювання кількості теплової енергії та процесу їх проектування. Сформульовано основні напрямки та завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі шляхом сукупного застосування повної математичної моделі витратоміра змінного перепаду тиску, рівнянь обчислення теплофізичних параметрів теплоносія, а також рівняння обчислення кількості теплової енергії розроблено математичну модель системи вимірювання кількості теплової енергії із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв.

На основі аналізу рівнянь для визначення кількості теплової енергії для різних систем вимірювання на джерелах теплової енергії та в схемах теплопостачання споживачів встановлено, що основою алгоритму обчислення кількості теплової енергії для будь-якої структури системи вимірювання її витрати та кількості є алгоритм обчислення інтегральної кількості енергії між двома точками системи теплопостачання так як рівняння для обчислення кількості теплової енергії містять складові, які є результатом інтегрування добутку витрати теплоносія на різницю ентальпій потоку теплоносія у різних точках схеми теплопостачання.

Розроблено алгоритм розрахунку кількості теплової енергії для систем із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв, який реалізує повну математичну модель витратоміра змінного перепаду тиску.

Розроблено методику оцінювання невизначеності результату вимірювання кількості теплової енергії для систем обліку в яких для вимірювання витрати теплоносія застосовують витратоміри змінного перепаду тиску. Запропоновані автором підходи дають можливість розробити залежності для оцінювання невизначеності вимірюваного значення кількості теплової енергії для систем різної конфігурації, а також систем, у яких застосовано витратоміри та лічильники теплоносія різних типів.

У третьому розділі проведено аналіз методик для визначення властивостей теплоносіїв (води, водяної пари), за результатами якого визначено методики, зокрема, для розрахунку ентальпії та динамічної в'язкості, які доцільно застосовувати для автоматизованого проектування систем вимірювання кількості теплової енергії.

Розроблено спрощені залежності для розрахунку показника адіабати перегрітої пари в алгоритмах обчислювачів витрати перегрітої водяної пари. Встановлено, що запропоновані залежності дають можливість обчислити показник адіабати з методичною похибкою, що не перевищує 2,62% для

діапазону зміни температури пари від 97°C до 800°C та тиску – від тиску насичення до 100 МПа.

Розроблено рівняння для розрахунку відносної розширеної невизначеності ентальпії води (водяної пари) із врахуванням методичної невизначеності обчислення ентальпії та невизначеностей результатів вимірювання температури та тиску води (водяної пари). Розроблено спрощені аналітичні залежності для обчислення відносних коефіцієнтів чутливості невизначеності ентальпії до невизначеності результатів вимірювання тиску та температури води. Ці залежності дають можливість обчислити значення коефіцієнтів чутливості для діапазону тиску від 0 до 5 МПа та температури від 300 до 550 К. Відносні відхилення значень коефіцієнтів чутливості, отриманих за спрощеними залежностями, від значень, отриманих за рівняннями Міжнародної організації властивостей води та водяної пари (IAPWS), у вказаних діапазонах тиску та температури становлять відповідно 0,48% (для коефіцієнта чутливості невизначеності ентальпії до невизначеності тиску) і 0,56% (для коефіцієнта чутливості невизначеності ентальпії до невизначеності температури). Розроблена спрощена методика оцінювання невизначеності ентальпії води (водяної пари) може бути застосована під час оцінювання метрологічних характеристик систем вимірювання кількості теплової енергії а також для їх автоматизованого проектування.

У четвертому розділі представлено розроблену САПР систем вимірювання кількості теплової енергії, у складі яких застосовують витратоміри зі стандартними звужувальними пристроями потоку. Визначено основні функції, які повинна виконувати САПР засобів вимірювання кількості теплової енергії.

Представлено основні характеристики підсистем, які входять до складу САПР і в яких реалізовано: введення характеристик і параметрів системи вимірювання кількості теплової енергії; розрахунок та проектування системи вимірювання кількості теплової енергії; виведення інтерактивних та експертних повідомлень для сповіщення користувача про помилки під час введення вхідних даних, а також для усунення недоліків проектування; оптимізація параметрів витратоміра та системи вимірювання кількості теплової енергії; виведення та графічне представлення результатів розрахунку та проектування.

Запропоновано та реалізовано нові підходи щодо автоматизованого проектування систем вимірювання кількості теплової енергії, які дають можливість реалізувати розрахунок конструктивних та метрологічних характеристик системи вимірювання кількості теплової енергії із врахуванням нормативних обмежень. Наведено удосконалений алгоритм для автоматизованого проектування та розрахунку параметрів витратоміра змінного перепаду тиску, який забезпечує мінімальну невизначеність результату вимірювання витрати та кількості середовища з врахуванням заданого значення допустимої втрати тиску на звужувальному пристрої.

У висновках узагальнено отримані в дисертаційній роботі наукові та практичні результати.

Наукова новизна отриманих результатів

На основі вивчення матеріалів дисертації наукову новизну роботи можна сформулювати наступним чином.

Вперше розроблено математичну модель системи вимірювання кількості теплової енергії на основі повної математичної моделі витратоміра змінного перепаду тиску, рівнянь визначення кількості теплової енергії та рівнянь визначення властивостей теплоносія.

Розроблено рівняння невизначеності вимірюваного значення кількості теплової енергії, що дає можливість автоматизувати процес оцінювання невизначеності із врахуванням впливу невизначеностей параметрів теплоносія та характеристик засобів вимірювання.

Розроблено нові аналітичні залежності для обчислення показника адіабати перегрітої водяної пари, що в сукупності з відомими рівняннями густини дає можливість обчислити параметри стану водяної пари під час вимірювання її витрати методом змінного перепаду тиску.

Удосконалено алгоритм для автоматизованого проектування та розрахунку параметрів витратоміра змінного перепаду тиску, який забезпечує мінімальну невизначеність результату вимірювання витрати та кількості середовища з врахуванням заданого значення допустимої втрати тиску на звужувальному пристрої.

Практична значимість

Дисертаційна робота Биць Оксани Михайлівни містить вирішення важливого науково-прикладного завдання – розроблення програмного комплексу САПР «Теплова енергія» для автоматизації проектування систем вимірювання кількості теплової енергії, в складі яких для вимірювання витрати теплоносія застосовують витратоміри змінного перепаду тиску зі стандартними звужувальними пристроями. Слід підкреслити, що розроблені автором та впроваджені в САПР алгоритми забезпечують контроль відповідності проектних рішень вимогам нормативних документів щодо вимірювання кількості теплової та щодо витратомірів змінного перепаду тиску. Також одним із важливих здобутків автора є впровадження в САПР інтерактивна система експертних рекомендацій.

Поряд з тим, що в САПР реалізовано алгоритми автоматизованого проектування нових засобів вимірювання кількості теплової енергії, САПР дає можливість обчислити значення кількості теплової енергії для заданих характеристик засобів вимірювання і параметрів потоків теплоносія та використати ці значення як зразкові під час перевірки діючих вимірювальних систем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації та достовірність отриманих результатів

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджена збіжністю результатів математичного моделювання та результатів застосування методів відомих світових розробників, а також стандартизованих методів. Достовірність отриманих результатів обґрунтовано коректним застосуванням відомих

класичних методів досліджень, сучасної методології комп'ютерного моделювання, відтворюваністю результатів моделювання.

Повнота викладу матеріалів дисертації в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.

Основні положення і висновки дисертації опубліковані у 14 наукових працях, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у виданнях, включених до наукометричних баз даних, які водночас належать до переліку наукових фахових видань України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави та 8 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій. Результати аналізу публікацій автора засвідчують повноцінне висвітлення в них основних положень та результатів дисертаційного дослідження.

Відсутність порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи, публікацій автора та документів, що засвідчують перевірку роботи на плагіат на основі відкритих інтернет-ресурсів, ознак академічного плагіату не виявлено. У тексті дисертації здобувачкою застосовано посилання на наукові публікації як власні, так і інших авторів. Елементів фальсифікації чи фабрикації тексту у роботі також не виявлено. Це дає можливість зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності у дисертаційній роботі Биць О.М.

До зауважень дисертації слід віднести:

1. У першому розділі виконано аналіз характеристик витратомірів змінного перепаду тиску на основі стандартних звужувальних пристроїв, однак залишено поза увагою витратоміри, які реалізують цей же ж метод на основі усереднювальних напірних трубок, а також на основі спеціальних пристроїв звуження потоку; автору слід було б проаналізувати можливість застосування таких витратомірів у системах обліку теплової енергії.

2. Розроблена здобувачкою математична модель системи вимірювання кількості теплової енергії (2.21) містить рівняння кількості теплової енергії, рівняння для визначення теплофізичних характеристик теплоносія та математичну модель витратоміра; однак системою нерівностей (2.20) визначено обмеження моделі тільки за конструктивними характеристиками витратоміра та не вказано обмежень за діапазонами параметрів теплоносія чи характеристиками системи вимірювання кількості теплової енергії.

3. У розділі 2 опис блок-схеми алгоритму розрахунку потоку теплової енергії (рис.2.6) слід було б доповнити описом підпрограм, які реалізовані для обчислення характеристик витратоміра та параметрів потоку.

4. Під час розроблення рівняння невизначеності вимірюваного значення кількості теплової енергії автором зроблено припущення про відсутність кореляційних зв'язків між вхідними змінними рівняння витрати та рівняння кількості теплової енергії; слід було б обґрунтувати коректність такого припущення.

5. У підрозділі 3.1 занадто деталізовано опис методик визначення властивостей теплоносія асоціації IAPWS; описи окремих рівнянь можна було б опустити з відповідними посиланнями на роботи IAPWS.


6. У підрозділах 4.2, 4.4 автору слід було б більш детально описати процедури та алгоритми, застосовані для перевірки коректності вхідних даних, для формування повідомлень про помилки та експертних повідомлень, а також відзначити їх взаємозв'язок з рівняннями математичної моделі та обмеженнями математичної моделі системи вимірювання кількості теплової енергії.

У роботі зустрічаються стилістичні неточності, жаргонні вирази та недоліки оформлення, зокрема: на графіку рис.3.1 не представлено пояснень до областей визначення термодинамічних параметрів води та водяної пари 1 – 5; на стор. 19, 38, 108 неправильні слововживання «діючі стандарти», «діючі нормативні документи» слід було б замінити на «чинні стандарти» та «чинні нормативні документи»; ст. 32, 123 «при наявності» – «за наявності»; ст. 3, 78 «так як» – «оскільки, позаяк, бо, тому що»; ст.27, 46, 51, 97 «в залежності» – «залежно»; ст. 29 «на даний час» – «натепер, нині, на цей час»; «необхідно» – «слід, потрібно».

Однак вказані зауваження не зменшують значимості отриманих у роботі наукових і практичних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота Биць О.М. “**Автоматизація проектування систем вимірювання кількості теплової енергії на основі витратомірів змінного перепаду тиску**” є завершеною науковою працею, що має вагоме теоретичне і практичне значення для галузі автоматизації та приладобудування, відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами), Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а здобувач Биць Оксана Михайлівна **заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.**

Офіційний опонент,
завідувач кафедри комп'ютерних технологій автоматизації
Одеського національного політехнічного університету,
д-р техн. наук, професор  М.В. Максимов

Підпис професора Максимова М.В. засвідчую:

Вчений секретар
доц. Шевчук С.І.

