

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Пістуна Олега Ігоровича

«Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Актуальність теми дисертації.

Вимірювання витрати та кількості плинних енергоносіїв за допомогою автоматизованих систем є важливою складовою забезпечення енергоефективності кожного технологічного процесу. Ці системи застосовують у різноманітних технологічних умовах, що відрізняються діапазонами параметрів потоку плинних енергоносіїв (природний газ, тепла вода, підігріте повітря, пара тощо). Внаслідок довготривалої дії потоку характеристики окремих компонентів системи (первинного перетворювача витрати, лічильника, струминовипрямляча) можуть змінюватися, що призводить до погіршення метрологічних характеристик цілої системи. Застосування у такій вимірювальній системі алгоритмів для діагностування системи в реальному часі, а також адаптування системи до зміни технологічних умов дає можливість підвищити точність цієї системи. Отже тематика дисертаційної роботи, присвяченої розробленню автоматизованої адаптивної системи вимірювання кількості плинного енергоносія для забезпечення високої точності вимірювання із врахуванням впливу технологічних умов, зміни статичних та динамічних характеристик компонентів системи, є актуальною.

Зв'язок теми дисертації з науковими програмами, планами і темами.

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка» «Автоматизація та оптимізація систем керування технологічними процесами та систем вимірювання витрати і кількості плинних середовищ». Окремі результати роботи отримані під час виконання

держбюджетної НДР «Розроблення системи автоматизованого проектування пристроїв вимірювання кількості природного газу в одиницях об'єму та енергії» (№ держреєстрації 0120U102207) та зареєстрованої науково-дослідної роботи «Моделювання та оптимальне керування нелінійними об'єктами із невимірюваними параметрами стану» (номер держ. реєстрації 0123U104448).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Результати дисертаційного дослідження мають явні ознаки наукової новизни. Зокрема, застосування методів опрацювання результатів експериментальних досліджень та методів апроксимації дало можливість розробити аналітичні залежності похибок роторних та турбінних лічильників газу для обчислення невилученої систематичної складової похибки вимірювання витрати газу за робочих умов для вимірюваного значення витрати газу.

Дисертант розвинув методологію регресійного аналізу результатів повірки лічильників газу для розроблення залежностей похибки лічильника від облікованого об'єму газу. За результатами застосування цієї методології розроблено нові регресійні залежності похибок роторних та турбінних лічильників газу від відносного облікованого об'єму газу, які дають можливість оцінити зміну основної похибки лічильників газу за його облікованим об'ємом і, відповідно, прийняти рішення про виконання його позачергової метрологічної перевірки.

На основі застосування рівнянь збереження маси та енергії, законів руху газу в газопроводі та рівняння стану газу розроблено математичну модель теплообмінних процесів у довгому трубопроводі та лічильнику газу, що дало можливість виконати аналіз похибок вимірювання температури, витрати та об'єму газу за різних режимів потоку газу.

Розроблено передавальну функцію та різницеве рівняння коректувальної ланки для зменшення впливу інерційності термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу під час нестационарного (імпульсного) режиму відбору газу.

Достовірність одержаних наукових результатів підтверджується даними розрахунків, результатами імітаційного моделювання у середовищі Simulink та

експериментальних досліджень.

Таким чином, можна стверджувати, що поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання розроблення автоматизованої системи вимірювання кількості плинного енергоносія із застосуванням алгоритмів адаптації для врахування впливу експлуатаційних факторів та підвищення точності вимірювання кількості плинного енергоносія вирішено повністю, а здобувач оволодів методологією наукової діяльності.

Значимість результатів роботи для науки та практики.

Отримані у дисертації наукові результати формують наукові засади розроблення адаптивних систем вимірювання витрати та кількості плинного енергоносія на основі лічильників газу.

Практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів полягає в тому, що на основі отриманих аналітичних залежностей похибок лічильників газу від відносного значення витрати газу розроблено алгоритм коректування вимірюваного значення об'єму газу, який забезпечує врахування невилученої систематичної похибки вимірювання витрати газу та підвищення точності вимірювання витрати і об'єму газу.

На основі регресійних залежностей похибки роторних лічильників газу від відносного облікованого об'єму газу розроблено алгоритм контролю прогресуючої складової похибки за інтегральним значенням об'єму та формування діагностичного повідомлення про необхідність позачергової перевірки лічильника.

Розроблено алгоритм коректування вимірюваного значення температури за допомогою введеної коректувальної ланки для зменшення впливу інерції термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу

Доцільність практичного використання отриманих в дисертаційній роботі результатів підтверджується актами впровадження.

Повнота оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні результати дисертаційного дослідження повністю відображені у 10 наукових публікаціях, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 патент на корисну модель, 6 публікацій у матеріалах конференцій, з яких 2 у виданнях, що індексовані в наукометричній базі даних Scopus, та 4 тез доповідей

на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Публікації та їх зміст відповідають темі дисертації, у повній мірі відображають її наукові положення, практичні результати і висновки, підтверджують оприлюднення основних результатів досліджень.

Короткий аналіз структури та змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 119 найменувань та додатків. Повний обсяг роботи становить 196 сторінок (з основною частиною 163 сторінки), містить 85 рисунків, 11 таблиць та 4 додатки.

Загальна характеристика роботи.

У *першому розділі* дисертації виконано аналіз стану розвитку автоматизованих систем вимірювання кількості плинного енергоносія. Виконано аналіз класифікації методів та систем вимірювання витрати плинних середовищ. Виділено та проаналізовано характеристики систем на основі витратомірів змінного перепаду тиску та на основі лічильників. Сформовано завдання для виконання дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* «Розроблення залежностей похибки роторних лічильників газу від витрати та об'єму газу» виконано опрацювання масивів експериментальних даних, отриманих за результатами метрологічної перевірки роторних лічильників типорозмірів РГ-40, РГ-100, РГ-250, РГ-400, РГ-600 та розроблено регресійні залежності похибки середньостатистичного лічильника від відносного облікованого об'єму газу. Розроблено аналітичні залежності похибки роторного лічильника газу від відносного значення витрати газу для відповідних типорозмірів лічильників.

У *третьому розділі* «Розроблення залежностей похибки турбінних лічильників газу від витрати газу» на основі опрацювання результатів метрологічної перевірки турбінних лічильників газу розроблено аналітичні залежності похибки турбінного лічильника газу від відносного значення витрати газу для типорозмірів лічильників ЛГ-К-80, для ЛГ-К-100, ЛГ-К-150. Апроксимацію усереднених значень похибки лічильників обраними функціями виконано за методом найменших квадратів.

У *четвертому розділі* «Дослідження та зменшення похибок вимірювання

температури в автоматизованих системах обліку плинних середовищ» розроблено математичну модель теплообмінних процесів у довгому газопроводі та лічильнику газу. Досліджено зміну температури природного газу вздовж газопроводу а також у роторному лічильнику газу під час стаціонарного та нестаціонарного (імпульсного) режиму протікання газу. Розроблено передавальну функцію та рівняння коректувальної ланки для зменшення впливу інерції термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу.

У п'ятому розділі «Розроблення адаптивної системи вимірювання кількості плинного середовища» сформовано методологію розроблення адаптивної системи вимірювання витрати та кількості плинного енергоносія. Розроблено алгоритми адаптації системи вимірювання, а саме: алгоритм коректування вимірюваного значення об'єму газу на основі розроблених аналітичних залежностей похибки лічильника від витрати газу; алгоритм контролю прогресуючої складової похибки за інтегральним значенням об'єму та формування діагностичного повідомлення про необхідність позачергової перевірки лічильника; алгоритм коректування вимірюваного значення температури за допомогою введеної коректувальної ланки для зменшення впливу інерції термоперетворювача на вимірюване значення об'єму газу.

У висновках підсумовано основні наукові результати роботи.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України, є завершеною науковою роботою, що відповідає паспорту спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

Рукопис містить результати власних досліджень Олега Ігоровича ПІСТУНА. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. В підрозділі 1.1 сказано, що «Первинні вимірювальні перетворювачі витрати класифікують за різними критеріями...», тоді як більш коректно казати про класифікацію за різними ознаками (а не критеріями).

2. В підрозділі 1.2 автором представлено детальний аналіз стану розвитку автоматизованих систем вимірювання кількості плинного енергоносія методом змінного перепаду тиску, однак у наступних розділах автор зосередився на дослідженнях системи вимірювання, побудованих на основі лічильників газу. Потрібно було б обґрунтувати доцільність цього аналізу та можливість застосування отриманих автором наукових та практичних результатів для розроблення адаптивних систем на основі витратомірів змінного перепаду тиску.

3. В підрозділі 2.1 сказано, що для дослідження було взято протоколи повірки промислових лічильників газу. У роботі було би доцільно навести приклади протоколів повірки (зокрема, в одному з додатків дисертаційної роботи) та проілюструвати інформацію про похибку лічильника, отриману з протоколу.

4. На сторінці 81 після таблиці 2.3 автор вказує, що «при збільшенні облікованого лічильником об'єму газу похибка прямує до додатних значень для всіх чотирьох перевірюваних значень витрати (Q_{min} , $0,2Q_{max}$, $0,5Q_{max}$, Q_{max}). Це на нашу думку є результатом невеликої кількості значень у вибірці.» Потрібно було б детальніше проаналізувати чим зумовлена така поведінка регресійних залежностей.

5. В розділі 4 при побудові математичної моделі у рівнянні матеріального балансу для роторного лічильника (4.1) застосовано термін «швидкість накопичення газу», що є некоректно, оскільки лічильник не призначений для накопичення газу. Тут лічильник розглядається як протічна система (ємність). Тому, в рівнянні (4.1) доцільно застосовувати термін «зміна маси газу».

6. У наведених результатах моделювання витрати газу зведеної до стандартних умов на рисунках 4.20, 4.22, 4.24, 4.26 спостерігаються флуктуації модельованих сигналів, проте у роботі не сказано, чим зумовлені ці флуктуації (коливання). Можливо, причина у некоректному налаштуванні методу чисельного розв'язування систем диференціальних рівнянь в середовищі Simulink.

7. В дисертаційній роботі доцільно було би навести зведений перелік умовних позначень, скорочень та аббревіатур, які застосовано у різних розділах роботи.

Слід зазначити, що наведені зауваження не применшують вагомості отриманих наукових результатів і не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Олега Ігоровича ПІСТУНА «Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія» є завершеним наукових дослідженням, у якому обґрунтованість наукових положень і висновків, а також достовірність одержаних у роботі результатів не викликають сумніву. За своїм змістом, структурою, обсягом, науковою новизною та практичним значенням робота є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 15 «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 рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 зі змінами згідно із постановою Кабінету Міністрів від 21 березня 2022 р. № 9341.

Автор роботи, Пістун Олег Ігорович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, професор кафедри
інформаційно-вимірювальних технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»,
д.т.н., професор



Микола МИКИЙЧУК

Підпис професора Микийчука М.М. засвідчую:

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ