

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Пістуна Олега Ігоровича
на тему «**Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія**»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 - «Автоматизація та приладобудування»
за спеціальністю 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Актуальність теми дисертації

Швидкі темпи розвитку промислового виробництва спричиняють зростання споживання енергії різними секторами економіки. На даний час основна частка споживання енергії припадає на плинні енергоносії (природний газ, технологічну пару і воду).

Вимірювання витрати та кількості таких плинних енергоносіїв є однією із складових підвищення енергоефективності конкретного технологічного процесу. Системи вимірювання витрати та кількості енергоносіїв застосовують у різноманітних технологічних умовах, що відрізняються діапазоном параметрів плинного енергоносія, режимом зміни потоку, тощо. Необхідно відмітити, що внаслідок довготривалої дії потоку енергоносіїв характеристики окремих елементів вимірювальної системи можуть змінюватися, що призводить до погіршення її метрологічних характеристик. Застосування у такій вимірювальній системі алгоритмів для діагностування її в реальному часі, а також адаптування до зміни технологічних умов дає змогу підвищити точність цієї системи. Тому завдання розроблення адаптивної системи вимірювання кількості плинних енергоносіїв набуває особливої актуальності.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації зумовлені проведенням порівняльним аналізом літературних джерел стосовно теми дисертації, які включають 119 найменувань, застосуванням методів математичного моделювання на основі законів збереження маси та енергії, гідродинаміки, теорії подібності, числових методів розв'язування систем алгебраїчних та диференціальних рівнянь, методів апроксимації, опрацювання результатів експериментальних досліджень та методів алгоритмізації завдань вимірювання витрати та кількості плинного середовища.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено аналітичні залежності похибки роторного лічильника газу від відносного значення витрати газу для типорозмірів лічильників РГ-40, РГ-100, РГ-250, РГ-400, РГ-600, які дають можливість

обчислити невилучену систематичну складову похибки вимірювання витрати газу за робочих умов для вимірюваного значення витрати газу.

2. Вперше розроблено аналітичні залежності похибки турбінного лічильника газу від відносного значення витрати газу для типорозмірів лічильників ЛГ-80, ЛГ-К-100, ЛГ-К-150, які дають змогу обчислити невилучену систематичну складову похибки вимірювання витрати газу за робочих умов для вимірюваного значення витрати.

3. Дістала подальший розвиток методологія 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 похибки роторних лічильників газу від відносного облікованого об'єму газу, які дають можливість оцінити зміну основної похибки роторних лічильників газу за його облікованим об'ємом і, відповідно, прийняти рішення про виконання його позачергової метрологічної перевірки.

4. На основі розгляду у сукупності рівнянь збереження маси та енергії, законів руху газу в газопроводі, 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.

5. 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.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Зміст дисертації розкриває вирішення поставлених задач та досягнення мети дослідження. Робота має характер завершеної наукової праці. Текстова частина містить належним чином оформлені посилання на використані джерела. Робота побудована в логічній послідовності, викладений матеріал систематизовано, стиль викладення результатів досліджень забезпечує доступність їх сприйняття.

Звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння свідчить, що дисертаційна робота Пістуна Олега Ігоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, плагіату та запозичень.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків по роботі, списку літературних джерел із 119 найменувань, та 3 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи 196 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність задачі дослідження, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи і перелік публікацій здобувача.

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 характеристик систем на основі витратомірів змінного перепаду тиску та на основі лічильників. Сформовано завдання для виконання дисертаційного дослідження.

У **другому** розділі виконано опрацювання масивів експериментальних даних, отриманих за результатами метрологічної перевірки роторних лічильників різних типорозмірів та розроблено регресійні залежності похибки середньостатистичного лічильника від відносного облікованого об'єму газу. Встановлено, що у цих лічильників присутня від'ємна за знаком невилучена систематична похибка, яка має постійну та прогресуючу складові, тобто основна похибка лічильника змінюється протягом його експлуатації. Розроблено аналітичні залежності похибки роторного лічильника газу від відносного значення витрати газу для відповідних типорозмірів лічильників. Отримані залежності дають змогу обчислити невилучену систематичну складову похибки вимірювання витрати газу за робочих умов для вимірюваного значення витрати.

У **третьому** розділі 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. Отримані залежності є основою для розроблення алгоритмів автоматизованих систем вимірювання витрати та об'єму природного газу для обчислення похибки лічильника газу, що відповідає вимірюваному в реальному часі значенню витрати та коригування результатів вимірювання об'єму газу за робочих умов.

Четвертий розділ присвячено розробленню математичної моделі теплообмінних процесів у довгому газопроводі та лічильникові газу. Математична модель теплопередачі від газу до повітря враховує пристінний пограничний ламінарний шар у трубопроводі, а також динаміку потоку газу та зміни параметрів газу у лічильнику. Досліджено зміну температури природного газу вздовж газопроводу а також у роторному лічильнику газу під час стаціонарного та нестаціонарного (імпульсного) режиму протікання газу. Встановлено, що однією з причин виникнення динамічної похибки

вимірювання температури газу під час імпульсного режиму відбору газу є інерційність термоперетворювача. Запропоновано ввести послідовно в канал вимірювання температури коректувальну ланку. Розроблено передавальну функцію та рівняння коректувальної ланки для зменшення впливу інерції термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу.

У п'ятому розділі сформовано методологію розроблення адаптивної системи вимірювання витрати та кількості плинного енергоносія. Методологія передбачає застосування отриманих залежностей основної похибки лічильника від витрати та облікованого об'єму газу для розроблення алгоритмів адаптації вимірювальної системи та мінімізації невилучених систематичних складових, а також прогресуючої систематичної складової похибки вимірювання об'єму газу. Розроблено алгоритми адаптації системи вимірювання: 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.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах, що займаються розробленням автоматизованих систем вимірювання плинних середовищ, зокрема, розроблені алгоритми адаптації системи вимірювання впроваджено в програмне забезпечення обчислювачів витрати та кількості природного газу в науково-проектному виробничому підприємстві "Техприлад", а також впроваджено у навчальний процес для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Матеріал дисертаційного дослідження викладений послідовно та доступно, містить загальноприйнятту та спеціалізовану термінологію у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у трьох наукових публікаціях здобувача, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Результати дисертації були апробовані на 6 міжнародних і вітчизняних науково-технічних та наукових конференціях, в тому числі матеріали двох конференцій проіндексовані у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus. Публікацією, яка додатково відображає наукові результати дисертації є 1 патент на корисну модель.

Наукові публікації здобувача виконані на належному науковому рівні із дотриманням принципів академічної доброчесності, основні положення публікацій є особистим внеском здобувача.

Наукові результати, описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

- 1) Зведеного аналізу літературних джерел видно, що існуючі автоматизовані системи забезпечують основні функції щодо вимірювання витрати та кількості плинних енергоносіїв. Було б доцільно виділити які саме додаткові функції автор планує реалізувати за допомогою розроблення адаптивних систем.
- 2) В розділах 2 і 3 дисертаційної роботи достатньо повно досліджено залежності основної похибки роторних і турбінних лічильників від витрати газу, однак залежності від перепаду тиску і облікованого об'єму газу отримано тільки для роторних лічильників. На думку рецензента це звужує область застосування розроблених автором алгоритмів тільки для систем вимірювання з роторними лічильниками.
- 3) З тексту дисертаційної роботи не зовсім зрозуміло, яким чином можна застосувати математичні моделі теплообмінних процесів в лічильнику і довгому трубопроводі для зменшення основної похибки вимірювання витрати та кількості плинних середовищ.
- 4) Дисертант виконав спрощення ітераційної методики розрахунку коефіцієнта теплопередачі та застосував апроксимаційні залежності коефіцієнта теплопередачі від витрати (залежності (4.50), (4.51), (4.52) на стор.139). Однак в роботі не вказано наскільки точними є ці апроксимаційні рівняння та як вплине їх застосування на точність моделі теплообмінних процесів.
- 5) Дослідження теплообмінних процесів у лічильнику газу та вимірювальній ділянці трубопроводу автором виконано для умови застосування термоперетворювача зі сталою часу 50 с (див. стор. 137). Однак не обґрунтовано, чому саме таке значення застосовано. Доцільно було б провести моделювання для ряду значень сталої часу, які характерні для типових моделей термоперетворювачів, застосовуваних у автоматизованих системах обліку.
- 6) На рисунках підрозділів 4.3, 4.4 застосовано англомовні позначення величин та одиниць вимірювання, що ускладнює сприйняття цих рисунків.

7) По тексту дисертації у позначеннях величин застосовано англійські та українські індекси. Доцільно було б застосувати українські позначення індексів в усіх формулах та позначеннях величин.

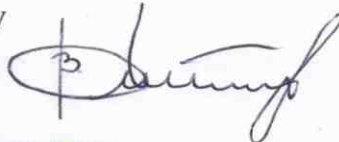
Вважаю, що висловлені вище зауваження жодним чином не применшують значення наукової новизни та практичної цінності отриманих автором результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пістуна Олега Ігоровича на тему **«Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія»** виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого вирішує 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 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.

Здобувач Пістун Олег Ігорович заслуговує на присвоєння йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, д.т.н., доцент,
професор кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»



Василь ФЕДИНЕЦЬ

Підпис Фединця В.О. засвідчую:

Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка» к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ

М.П. « 13 » _____ 2025 р.