

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

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

Актуальність теми дисертації

Забезпечення енергоефективності технологічних процесів та виробництв можливе тільки за умови налагодження точного обліку всіх видів енергії, яку ці виробництва використовують. Тому автоматизовані системи вимірювання витрати та кількості плинних енергоносіїв (газу, води, пари) є важливими складовими переважної більшості технологічних комплексів. Ці системи застосовують у різноманітних технологічних умовах, що відрізняються діапазоном параметрів плинного енергоносія, режимом зміни потоку, кліматичними умовами. Крім того, протягом експлуатації окремої автоматизованої системи вимірювання умови її застосування також можуть змінюватися залежно від змін режимів технологічного процесу.

Потрібно також відмітити, що тривала дія потоку плинного середовища часто призводить до зміни метрологічних характеристик витратоміра, лічильника чи інших елементів системи, внаслідок чого система в цілому також змінює характеристики. Отже актуальним є розроблення адаптивної системи вимірювання, яка б враховувала зміни умов застосування, а також зміни характеристик окремих її складових. Це **актуальне** науково-практичне завдання вирішується здобувачем у дисертаційній роботі.

Сучасні автоматизовані системи вимірювання кількості плинних середовищ будують на основі мікропроцесорних контролерів. Застосування мікропроцесорних контролерів відкриває широкі можливості для впровадження алгоритмів довільної складності та виконання додаткових інтелектуальних функцій, зокрема функцій адаптації системи вимірювання до умов її застосування. Тому вибір здобувачем саме алгоритмічного способу адаптації системи є цілком обґрунтованим і дає можливість досягнути мети досліджень.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації підтверджені застосуванням відомих методів досліджень, зокрема методів математичного моделювання на основі законів збереження маси та енергії, гідродинаміки, теорії подібності, числових методів розв'язування систем алгебраїчних та диференціальних рівнянь, методів регресійного

аналізу та апроксимації. Також обґрунтованість результатів дисертації підтверджена проведеним ґрунтовним аналізом літературних джерел за темою дисертаційної роботи. Достовірність отриманих аналітичних залежностей похибки лічильників газу від витрати та об'єму газу підтверджується застосованою базою експериментальних досліджень для їх отримання.

У дисертаційній роботі отримані нові наукові результати, серед яких слід виділити такі:

- вперше розроблено аналітичні залежності основної похибки лічильників газу роторного та турбінного типів від відносного значення витрати газу, які дають можливість обчислити невилучену систематичну складову похибки вимірювання витрати газу за робочих умов та врахувати її під час вимірювання. Усі залежності розроблені на основі опрацювання результатів експериментальних досліджень лічильників природного газу;
- удосконалено методику регресійного аналізу результатів повірки лічильників газу, що дало можливість розробити нові залежності похибки роторних лічильників газу від відносного облікованого об'єму газу; ці залежності є основою для діагностики зміни основної похибки лічильника газу упродовж часу його експлуатації;
- удосконалено математичну модель теплообмінних процесів у довгому трубопроводі з встановленим лічильником газу, на основі розгляду у сукупності рівнянь збереження маси та енергії, законів руху газу в газопроводі, рівняння стану газу, що дало можливість виконати аналіз похибок вимірювання температури, витрати та об'єму газу за різних режимів потоку газу, особливо для імпульсного режиму руху газу;
- вперше 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.

У сукупності отримані наукові результати формують засади для вирішення важливого науково-прикладного завдання, а саме розроблення автоматизованої адаптивної системи вимірювання кількості плинного енергоносія, яка враховує вплив умов експлуатації, зміну метрологічних характеристик лічильника газу, динамічну похибку вимірювання температури газу та забезпечує підвищення точності вимірювання кількості плинного енергоносія протягом тривалого часу експлуатації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків по роботі, списку джерел посилань із 119 найменувань. Робота викладена на 196 сторінках, основний зміст роботи становить 163 сторінок друкованого тексту, в тому числі 85 рисунків, 11 таблиць та 3 додатки.

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертації та підтверджено її актуальність, визначено мету, завдання для досліджень, об'єкт та предмет досліджень. У вступі також представлено нові наукові результати, відображено їх практичне значення, а також подано відомості про опублікування результатів роботи та їх апробацію.

У першому розділі проаналізовано стан розвитку автоматизованих систем вимірювання кількості плинного енергоносія на основі витратомірів та лічильників різних типів, сформовано завдання для виконання досліджень.

У другому та третьому розділах дисертант представив результати опрацювання експериментальних даних про повірку, відповідно, роторних та турбінних лічильників газу різних типорозмірів. Виконано регресійний аналіз цих даних на основі чого розроблено аналітичні залежності основної похибки лічильників від облікованого об'єму газу. Також розроблено аналітичні залежності усередненої похибки лічильників від витрати газу, які є основою для алгоритмів коригування результатів вимірювання витрати та об'єму газу в автоматизованих системах.

У четвертому розділі представлено удосконалену математичну модель теплообміну в газопроводі та лічильнику газу з урахуванням ламінарного пристінного шару. За результатами моделювання встановлено, що однією з причин виникнення динамічної похибки вимірювання температури газу під час імпульсного режиму відбору газу є інерційність термоперетворювача. Дисертант запропонував ввести послідовно в канал вимірювання температури коректувальну ланку, а також розробив передавальну функцію та рівняння коректувальної ланки для зменшення впливу інерції термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу.

У п'ятому розділі представлено сформовані методологічні підходи щодо розроблення адаптивної системи вимірювання витрати та об'єму плинного енергоносія. Зокрема, у роботі запропоновано використати отримані автором нові аналітичні залежності похибки лічильника від витрати газу для реалізації алгоритмів корекції вимірюваних значень витрати газу. Отримані нові залежності похибки лічильника від об'єму газу застосовано для розроблення алгоритму контролю прогресуючої похибки та формування повідомлення про необхідність виконання позачергової повірки лічильника газу. Як видно з матеріалів розділу, а також представленого у Додатку В акту впровадження, розроблені алгоритми інтегровано у мікропроцесорний обчислювач, що дало змогу розробляти адаптивні системи вимірювання кількості плинних енергоносіїв.

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

Дисертаційна робота Пістуна О.І. є завершеною науковою працею і свідчить про те, що представлені у роботі нові наукові та практичні результати отримані здобувачем особисто, поставлені у роботі завдання виконано і, відповідно, мета роботи досягнута.

Представлені у роботі результати, а також матеріали звіту за результатами перевірки дисертаційної роботи на оригінальність, вказують на те, що дисертаційна робота Олега Пістуна є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріали, викладені у розділах взаємопов'язані між собою, їх послідовність демонструє вирішення поставлених завдань та досягнення мети роботи. Автор застосовує наукову термінологію галузі автоматизації та приладобудування, а також суміжних галузей, що дає можливість однозначно трактувати положення та отримані результати.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи опубліковані у 10-ти друкованих працях, з яких: 3 статі у наукових фахових виданнях України категорії Б, один патент на корисну модель, 6 публікацій у матеріалах конференцій. Дві публікації у матеріалах міжнародних конференцій індексовані в наукометричній базі SCOPUS.

Публікації та їх зміст відповідають темі дисертації, у повній мірі відображають її наукові положення, практичні результати і висновки. У працях, що опубліковані у співавторстві, чітко визначено особистий внесок здобувача. Отже, основні наукові результати, викладені в дисертаційній роботі, висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Зауваження та дискусійні положення дисертаційної роботи:

За результатами опрацювання дисертації виявлено такі недоліки та дискусійні положення:

1. В другому розділі обґрунтовано використання адаптивного підходу для коригування похибок роторних лічильників газу, що дозволяє виявляти систематичні похибки в режимі реального часу та приймати рішення щодо позачергової перевірки. Зважаючи на тенденції до цифровізації енергетичних облікових систем, чи розглядається в подальших дослідженнях можливість інтеграції розроблених алгоритмів у цифрові «розумні лічильники» з функцією самонавчання (self-calibration), що дозволило б реалізувати повністю автономну систему самокоригування без втручання оператора?

2. В третьому розділі роботи отримані аналітичні залежності похибки турбінних лічильників дозволяють реалізувати алгоритми динамічного коригування вимірювань у реальному часі. З огляду на це, чи розглядається у подальших дослідженнях можливість побудови автоматизованої системи з повноцінним зворотним зв'язком, яка б не лише оцінювала, але й автоматично змінювала режим роботи чи подачі сигналу тривоги у разі перевищення нормативної похибки для конкретного типорозміру лічильника?

3. В четвертому розділі розроблена модель та введена коректувальна ланка для температурного каналу є перспективною основою для зменшення динамічних похибок вимірювання витрати газу. З огляду на це, чи планується адаптація цієї моделі для її вбудовування в мікроконтролери або ПЛК систем автоматизованого обліку, з урахуванням обмежених обчислювальних ресурсів і вимог до швидкодії в умовах нестаціонарного (імпульсного) режиму?

4. Розроблені у п'ятому розділі алгоритми адаптації системи вимірювання базуються на аналітичних і регресійних залежностях похибок, що дозволяє враховувати прогресуючі систематичні похибки в реальному часі. Чи були проведені або плануються дослідження з адаптації цих алгоритмів до роботи в середовищах промислових контролерів або edge-пристроїв, де обмежена обчислювальна потужність вимагає спрощених моделей або апроксимацій для забезпечення стабільної роботи в автоматизованих комплексах?

Вважаю, що представлена дисертаційна робота справляє позитивне враження як за глибиною теоретичного аналізу, так і за рівнем прикладної реалізації. Автор послідовно вирішив комплекс завдань, що охоплюють моделювання, аналіз похибок, розроблення алгоритмів адаптації, а також інтеграцію отриманих результатів у автоматизовані системи вимірювання плинного енергоносія. Залучення кореляційного, регресійного та аналітичного аналізу похибок для роторних і турбінних лічильників газу, а також урахування впливу динаміки потоку і теплообміну, дозволило автору сформулювати цілісну методологію адаптивного обліку.

Сформульовані запитання стосуються переважно подальших напрямів дослідження, таких як інтеграція розроблених алгоритмів у промислові системи, адаптація до мультисенсорних систем та розширення автоматизованого контролю в реальному часі. Усі вони спираються на здобуті результати, не заперечуючи їхню наукову новизну, практичну значущість та методологічну обґрунтованість.

Таким чином, викладені міркування і рекомендації мають на меті лише посилити позитивне враження від дисертації, окресливши потенціал для подальшого впровадження і розвитку результатів. Робота є цілісною, змістовною і заслуговує на високу оцінку.

Висновок про дисертаційну роботу

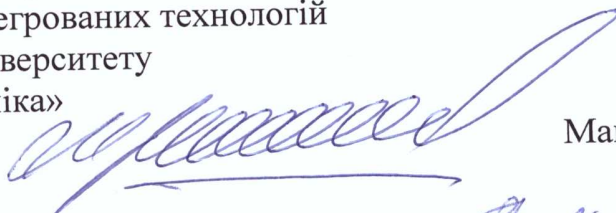
Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пістуна Олега Ігоровича на тему «Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія» є завершеним науковим дослідженням, що містить нові наукові та практично цінні результати, сукупність яких розв'язує науково-прикладне завдання, що має 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 зі змінами.

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

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри програмних
і комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національного університету
«Одеська політехніка»
д.т.н., проф.



Максим МАКСИМОВ

Підпис професора Максимова М.В. засвідчую



Про відк. графік. ВК
Prof. M. V. Maksymov