



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

28 " 04 2025 р.

Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації «Адаптивна система вимірювання
кількості плинного енергоносія»**

**здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування)**

Пістуна Олега Ігоровича

**наукового семінару кафедри автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій**

навчально-наукового інституту енергетики та систем керування

1. Актуальність теми дисертації. Підвищення енергоефективності підприємств і енергозбереження є важливими пріоритетами державної політики та віднесені Кабінетом Міністрів України до пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок. Для виконання цих завдань необхідно налагодити точний облік усіх видів енергоносіїв, які використовують у промисловості, комунальному господарстві та побуті. Необхідною умовою точного обліку є застосування автоматизованих приладових систем вимірювання витрати та кількості енергоносіїв. Ці системи є складними апаратно-програмними комплексами, які виконують функції вимірювання витрати та кількості плинного енергоносія, перетворення та опрацювання сигналів, формування архівів параметрів потоку. Поряд з цим, системи вимірювання витрати та кількості енергоносіїв застосовують у різних технологічних умовах, що відрізняються діапазоном параметрів плинного енергоносія, режимом зміни потоку. Внаслідок довготривалої дії потоку характеристики окремих компонентів системи (первинного перетворювача витрати, лічильника, струминовипрямляча) можуть змінюватися, що призводить до погіршення метрологічних характеристик цілої системи. Тому доцільним є розроблення алгоритмів, які б забезпечували діагностику систем вимірювання під час їх експлуатації а також адаптацію системи до умов застосування та до зміни характеристик окремих компонентів, що є предметом досліджень у цій дисертаційній роботі. Одним із найбільш поширених способів обліку плинних енергоносіїв в промисловості є облік за допомогою лічильників газу. Отже, дослідження впливу експлуатаційних факторів на метрологічні характеристики

лічильників газу, розроблення математичних моделей для врахування таких впливів та розроблення на їх основі алгоритмів діагностики та адаптації системи вимірювання до умов застосування є актуальними завданнями, вирішення яких створює необхідні наукові основи для розроблення адаптивної системи вимірювання кількості плинного енергоносія.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Робота виконана згідно з науковими програмами та планами науково-дослідних робіт кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка» у рамках наукового напрямку «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), зареєстрованої науково-дослідної роботи «Моделювання та оптимальне керування нелінійними об'єктами із невимірюваними параметрами стану» (номер держ. реєстрації 0123U104448).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Результати наукових досліджень, які представлені у дисертаційній роботі та виносяться на захист, отримані автором самостійно. За темою дисертації загалом опубліковано 10 наукових праць. Основні положення та результати дисертаційної роботи, що були отримані автором та опубліковані у співавторстві у працях за темою дисертації, присвячені вивченню та розробленню наукових основ побудови адаптивних систем вимірювання кількості плинного енергоносія. Зокрема проведено аналіз додаткових похибок засобів вимірювання витрати природного газу, які застосовують в газотранспортних і газорозподільних мережах. Удосконалено методологію регресійного аналізу результатів метрологічної перевірки лічильників газу та розроблено аналітичні залежності похибки від облікованого об'єму газу. Виконано аналіз математичної моделі ультразвукового витратоміра та можливостей зменшення додаткових похибок вимірювання витрати під час їх проектування. Розроблено залежності основної похибки роторних лічильників газу від вимірюваного значення витрати. Розроблено також загальні принципи та методологію синтезу адаптивних систем вимірювання кількості плинних середовищ, основи алгоритмів адаптивного коректування результатів вимірювань. Побудовано математичну модель теплообмінних процесів у вимірювальних трубопроводах систем обліку, виконано моделювання процесів зміни температури та пов'язаних з ними похибок вимірювання витрати та об'єму газу. Розроблено адаптивні алгоритми коригування вимірюваного значення витрати та кількості плинного енергоносія.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими, а їх достовірність

підтверджена результатами апробації, шляхом математичного моделювання за допомогою програмного середовища MATLAB та за результатами експериментальних досліджень.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

У дисертаційній роботі розроблено адаптивну систему вимірювання кількості плинного енергоносія на основі нових, розроблених здобувачем залежностей основної похибки лічильників газу від вимірюваного значення витрати, а також нових алгоритмів для обчислення витрати плинного енергоносія та адаптивного коректування результатів вимірювань, що у сукупності забезпечують підвищення точності вимірювань кількості плинних енергоносіїв за змінних технологічних умов. При цьому отримано наступні нові наукові результати:

- 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;

- 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;

- отримала 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;

- на основі розгляду у сукупності рівнянь збереження маси та енергії, законів руху газу в газопроводі, рівняння стану газу удосконалено 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 різницеve рівняння коректувальної ланки для зменшення впливу інерційності термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу під час нестационарного (імпульсного) режиму відбору газу.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

6.1. Публікації у наукових періодичних фахових виданнях України за спеціальністю:

1. Matiko F., Pistun O. Investigation of changes in main error of rotary gas meters during their operation. *Energy Engineering and Control Systems*. – 2023. – Vol. 9, № 2. – P. 136–142. (Фахове видання категорії Б)
2. Pistun O., Matiko F. Investigating the dependencies of rotary gas meters error on flowrate for designing the adaptive measurement system. *Праці Одеського політехнічного університету*. – 2024. – Вип. 1 (69). – С. 143–150. (Фахове видання категорії Б)
3. Matiko F., Pistun O. Methodology for developing an automated adaptive system for measuring fluid volume based on gas meter. *Energy Engineering and Control Systems*. – 2024. – Vol. 10, № 2. – P. 153–160. (Фахове видання категорії Б)

6.2. Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, а саме матеріали та тези міжнародних і вітчизняних науково-технічних та наукових конференцій:

1. Матіко Ф.Д., Пістун О.І., Федоришин Р. М., Автоматизоване коригування результатів вимірювання об'єму природного газу з метою підвищення точності. Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019. Львів 10-12 вересня 2019 р. Національний університет "Львівська політехніка". – С. 139-140.
2. Федоришин Р. М., Пістун О. І. Моделювання похибки вимірювання об'єму природного газу для імпульсного режиму потоку в системі обліку. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси: збірка тез тринадцятої міжнародної науково-практичної конференції, 19–20 травня 2020 року, Київ. – 2020. – С. 145–147.
3. Fedoryshyn R., Matiko F., Pistun O., Brylins'kyi R., Masnyak O. Impulse mode of natural gas flow and Its effect on metering system accuracy. *Intelligent Manufacturing & Automation: proceedings of the 31st DAAAM International Symposium (Mostar, 21-24 October 2020)*. – 2020. – С. 956–962. (SCOPUS).
4. Федоришин Р. М., Брилинський Р. Б., Масняк О. Я., Пістун О. І. Вплив імпульсного режиму потоку природного газу на точність його обліку. Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Луцьк, 29–30 жовтня 2020 р.). – 2020. – С. 88–89.
5. Матіко Ф. Д., Матіко Г. Ф., Пістун О. І. Аналіз причин виникнення дисбалансу об'єму природного газу в системах транспортування та розподілу. Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 20–21 травня 2021 р.). – 2021. – С. 157–158.
6. Roman V., Matiko H., Pistun O., Kostyk I. Mathematical model of multipath ultrasonic flowmeter for its automated designing. *Selected issues of electrical engineering and electronics: 16th International conference, Rzeszów 13-15 September, 2021*. – 2021. – С. 1–6. (SCOPUS).

6.3. Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Матіко Ф.Д., Пістун О.І., Федоришин Р.М., Спосіб вимірювання об'єму газу, зведеного до стандартних умов. *Патент на корисну модель* № 134376. Бюлетень №9, 10.05.2019.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні положення та результати роботи були представлені на таких конференціях:

- Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019 (Львів, Україна, 2019);
- XIII міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (Київ, Україна, 2020);
- 31st DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing & Automation (Mostar, Bosnia and Herzegovina, 2020);
- IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» (Луцьк, Україна, 2020);
- V Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (Львів, Україна, 2021);
- 16th International conference «Selected issues of electrical engineering and electronics» (Rzeszów, Poland, 2021).

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Наукове значення дисертації полягає в тому, що на основі розроблених аналітичних залежностей похибки лічильника від облікованого об'єму газу та витрати газу, а також розроблених алгоритмів коректування вимірюваного значення витрати, контролю прогресуючої складової похибки за інтегральним значенням об'єму та формування діагностичного повідомлення про необхідність позачергової перевірки лічильника, сформовано методологію розроблення адаптивних систем вимірювання витрати та кількості плинних енергоносіїв.

Результати досліджень, отримані під час виконання даної дисертаційної роботи, використовуються у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» під час викладання дисципліни «Технологічні вимірювання та прилади» (бакалаврський рівень) для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», а також під час виконання курсових робіт, магістерських та бакалаврських кваліфікаційних робіт.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

- на основі отриманих аналітичних залежностей похибки лічильників газу роторного та турбінного типів від відносного значення витрати газу розроблено алгоритми коректування вимірюваного значення об'єму газу, який забезпечує врахування невилученої систематичної похибки вимірювання витрати газу та підвищення точності вимірювання витрати і об'єму газу;

- розроблено алгоритм коректування вимірюваного значення температури за допомогою введеної коректувальної ланки для зменшення впливу інерції термоперетворювача на вимірюване значення витрати та об'єму газу, впровадження яких дало можливість розробити адаптивну систему вимірювання кількості плинного енергоносія;

- 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.

Одне з нових технічних рішень здобувача – спосіб вимірювання об'єму газу, зведеного до стандартних умов, захищене патентом на корисну модель.

Практичне значення одержаних результатів підтверджується наведеним у додатку актом про впровадження розроблених алгоритмів в програмне забезпечення обчислювачів витрати та кількості природного газу виробництва НПВП «Техприлад», на основі яких розробляють адаптивні системи вимірювання витрати та кількості природного газу.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає усім вимогам МОН України. Дисертант уміло застосовує наукову термінологію галузі автоматизації та приладобудування, а також суміжних галузей.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технології навчально-наукового інституту енергетики та систем керування ухвалили:

11.1. Дисертаційна робота Пістуна Олега Ігоровича на тему «Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія» є завершеною науковою працею, в якій розв'язано важливу науково-прикладне завдання – розроблення адаптивної системи вимірювання кількості плинного енергоносія на основі нових, розроблених здобувачем залежностей основної похибки лічильників газу від вимірюваного значення витрати і об'єму газу, а також нових алгоритмів для обчислення витрати плинного енергоносія та адаптивного коректування результатів вимірювань.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. Основні результати дисертації опубліковано у 10 друкованих працях, з них: 3 статі у фахових виданнях категорії Б, один патент на корисну модель, 6 публікацій у матеріалах конференцій, з яких 2 у виданнях, що індексовані в наукометричній базі Scopus, та 4 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях. Опубліковані праці в повній мірі відображають вміст дисертаційної роботи, що підтверджується посиланнями в її тексті.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Пістуна О.І. дисертація на тему «Адаптивна система вимірювання кількості плинного енергоносія» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

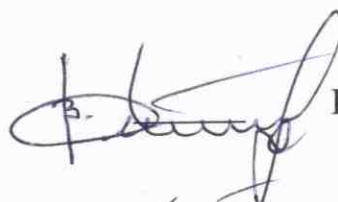
За затвердження висновку проголосували:

«За»	— 21 (двадцять один);
«Проти»	— немає;
«Утримались»	— немає.

Головуюча на науковому семінарі
кафедри АВКТ ІЕСК
д.т.н., професор

 Ольга ХИМКО

Рецензенти:
Професор кафедри АВКТ
д.т.н., доцент

 Василь ФЕДИНЕЦЬ

Професор кафедри ІВТ
д.т.н., професор

 Микола МИКИЙЧУК

Відповідальна у ІЕСК
за атестацію PhD,
к.т.н., доцент

 Марта КУЗНЕЦОВА

"24" квітня 2025р.