

## ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., проф. Бойка Т.Г. на дисертаційну роботу  
Кузя Миколи Васильовича

### «Розвиток метрологічного забезпечення експлуатації засобів вимірювань об'єму та витрати газу»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за  
спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне  
забезпечення

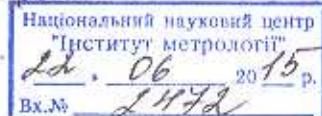
**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Енергетична незалежність України є напевно найбільш злободенною темою сьогоднішнього дня. Тому всі роботи присвячені раціональнішому використанню енергоносіїв зараз є надзвичайно актуальними.

Розвиток світової економіки об'єктивно супроводжується збільшення видобутку з надр Землі усіх видів вуглеводневої сировини, і, зокрема, природного газу. Обмеженість запасів цього ресурсу зумовлює тенденцію зростання вартості природного газу. А це в свою чергу збільшує актуальність задач, пов'язаних з його обліком. Події останнього десятиліття, пов'язані із проблемами закупівлі природного газу, завдання точного обліку природного газу, а також розвиток еталонних засобів у сфері вимірювання його витрат спричиняють необхідність вдосконалення метрологічного забезпечення експлуатації засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу.

Супутнім і не менш важливим є завдання метрологічних досліджень еталонів та робочих засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу, вдосконалення та актуалізації чинних нормативних документів у цій сфері вимірювань, що дасть змогу забезпечити високий рівень достовірності вимірювання витрат газу в процесі його споживання, удосконалити систему обліку газу на всіх її рівнях та забезпечити ефективність його використання.

У виконаній автором роботі зреалізовано комплексний підхід до вирішення завдань удосконалення методів, засобів, метрологічного та нормативного забезпечення, які стосуються як робочих так і еталонних засобів. Тому слід вважати, що дисертаційна робота Кузя М.В., яка присвячена розвитку наукових основ метрологічного забезпечення та розробленню нових і вдосконалення існуючих методів і засобів обліку газу, а також раціональному використанню паливно-енергетичних ресурсів вирішує важливу, актуальну і навіть пріоритетну науково-прикладну задачу.

Окрім того актуальність теми дисертації підтверджується участю автора у виконанні пріоритетних науково-дослідних та дослідно-конструкторських держбюджетних робіт, а також господоговорів у сфері метрології та розвитку еталонної бази протягом 2001-2014 років.



## **Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

*Обґрунтованість* наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується глибоким критичним аналізом літературних джерел, чітким формулюванням мети роботи, коректністю постановки і вирішення завдань дисертації, використанням ефективних сучасних методів дослідження, послідовним викладенням теоретичних та експериментальних результатів, отриманих моделюванням на основі положень теорії ймовірностей, зокрема, елементів математичної статистики, а також теорії похибок. Наукові положення, що виносяться на захист, обґрунтовані та доведені на необхідному науковому рівні, є новими та забезпечують істотний внесок у розвиток наукових зasad метрологічного забезпечення засобів для обліку природного газу, підтверджуються широкою апробацією основних результатів і висновків на міжнародних науково-технічних конференціях, а також впровадженням результатів роботи у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» та на підприємствах України.

*Достовірність* теоретичних положень дисертаційної роботи підтверджується коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових результатів, зокрема строгим виведенням аналітичних залежностей при математичному моделюванні фізичних процесів у еталонних і робочих засобах на базі основних положень теорії рівнянь стану реального газу, теорій вимірювань і планування експерименту, а також збіжністю результатів моделювання з результатами, що отримані під час експериментальних досліджень засобів вимірювань об'єму та витрати газу.

**Наукова новизна дисертаційної роботи** стосується як розвитку теоретичних зasad, так і нормативно-технічного та метрологічного забезпечення експлуатації засобів для обліку природного газу, їх діагностування, покращення метрологічних характеристик, вдосконалення еталонів та повірочних схем, а також низки організаційно-управлінських заходів, що в цілому забезпечують вирішення проблеми раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів. Зокрема, автором:

- здійснено моделювання впливу параметрів будинкових газопроводів на обліковані об'єми природного газу побутовими лічильниками на основі електротермічної аналогії потоку газу та моделювання обчислювальних компонентів еталонів одиниць об'єму та об'ємної витрати, які дають змогу оцінити втрати природного газу ще на стадії проектування систем газопостачання та визначити метрологічні характеристики обчислювальних компонентів державних еталонів;

- науково обґрунтовано принцип створення еталонів еквівалентного рідинно-газового заміщення та запропоновано розвиток повірочних схем,

завдяки яким створюється можливість отримувати одиницю об'єму і витрати газу від еталонів об'єму та витрати рідини; удосконалено методи визначення складових похибок робочих еталонів та лічильників об'єму та витрати газу на основі теоретичних досліджень фізичних процесів, які в них перебігають;

- розвинuto прогнозне моделювання стабільності характеристик еталонних і промислових лічильників газу в процесі експлуатації, а також організаційну складову метрологічного забезпечення для перевірки метрологічних характеристик еталонів, лічильників та витратомірів газу, що дасть змогу теоретично оцінити динаміку зміни метрологічних характеристик і забезпечити їх відповідність вимогам нормативних документів впродовж міжповірочного інтервалу, а також забезпечити звіряння перелічених ЗВТ з Державним первинним еталоном одиниць об'єму та об'ємної витрати газу;

- удосконалено метод діагностиування побутових лічильників газу шляхом моделювання зміни значень параметрів природного газу, що ними обліковується, який дасть змогу контролювати метрологічні характеристики лічильників газу впродовж їх міжповірочних інтервалів без демонтажу з трубопроводів.

### **Практичне значення та впровадження роботи**

Практична цінність результатів роботи полягає у використані розроблених автором методів, способів, математичних та інших моделей, а також результатів теоретичних та експериментальних досліджень фізичних процесів, що протікають в робочих еталонах і засобах вимірювань об'єму та витрати газу, у нових захищених патентами конструктивних рішеннях. Зокрема представлені розробки щодо метрологічного забезпечення витратовимірювальних засобів захищені 9-ма патентами України. А запропоновані автором в роботі теоретичні, метрологічні та нормативно-технічні напрацювання дали змогу розробити і впровадити в метрологічну практику Національний стандарт України, а також два нормативні документи з метрології, які занесені до Державного реєстру України.

Практична реалізація вирішених в роботі проблем дасть змогу отримати економічний ефект. Так, зменшення втрат природного газу на стадії проектування внутрішньо-будинкових газових мереж досягається через зменшення значення відносної похибки вимірювання об'єму природного газу до 4 %, що призведе до значної економії цього важливого ресурсу.

Розроблені нові алгоритми функціонування, установки для перевірки промислових лічильників газу та вимірювальних комплексів об'єму газу, модернізовані перевірочні установки дзвонового типу, компенсатори температури газу впроваджені в метрологічну практику ПАТ Івано-Франківський завод „Промприлад”, інженерно-впровадницької фірми „Темпо” та підприємства ТОВ „Західний інженерно-технічний центр”.

## **Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи**

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку літератури та додатків, викладених на 310 сторінках друкованого тексту і містить 84 рисунки, 48 таблиць, 7 додатків додатки та список використаних літературних джерел з 183 найменувань.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, поставлена мета і задачі дослідження, а також коротко сформульовано основні результати, одержані в роботі; вказано їх значення для науки та практики, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; подано дані про структуру дисертації, апробацію та публікації основних результатів роботи.

**У першому розділі** на основі аналізу сучасного стану метрологічного забезпечення вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу встановлена необхідність удосконалення його нормативно-методичної, науково-технічної та організаційної складових. Акцентовано увагу на тому, що, попри це, нормативно-правова складова достатньо повно забезпечена дорочними актами.

Встановлена необхідність дослідження складових похибки, обумовлених обчислювальними засобами, та розроблення відповідних методологій і нормативних документів, що регламентували б її оцінювання; потреба діагностування метрологічних характеристик засобів витратовимірювальної техніки протягом міжповірочного інтервалу; необхідність розроблення ефективних методологій здійснення повірки і оцінювання динаміки зміни стабільності метрологічних характеристик еталонних та промислових лічильників газу.

За результатами виконаного аналізу сформульовані основні завдання дисертаційних досліджень.

**У другому розділі** охарактеризовані основні напрями удосконалення забезпечення єдності вимірювань об'єму та об'ємної витрати природного газу. Для цього визначено нормативні вимоги до метрологічних характеристик вимірювальних комплексів об'єму та витрати газу.

Виокремлено вимірювальні характеристики з якісних показників програмного забезпечення засобів вимірювань об'єму та витрати природного газу. Серед показників вибрані ті, для яких можна визначити числові значення впливу на метрологічні параметри і, як наслідок, визначити похибку обчислювальних компонентів.

Розроблено математичну модель, що базується на електротермічній аналогії, на основі якої розроблено метод зменшення втрат природного газу у внутрішньо-будинкових газових мережах.

Розвинуто методологію визначення абсолютноного тиску природного газу на основі вимірювань температури повітря довкілля.

**Третій розділ присвячено** розробленню нових, захищених патентами, конструктивних рішень підвищення точності відтворення одиниці об'єму та витрати газу робочими еталонами. Зокрема запропоновані модернізацію робочих еталонів, які працюють в дискретно-динамічному режимі, для роботи їх в псевдо-динамічному режимі, що дало змогу зменшити похибки таких засобів вимірювань, спричинені коливанням тиску довкілля.

Для зменшення вертикального градієнта температури розроблена нова конструкція повірочних установок дзвонового типу.

Як технічну основу метрологічного забезпечення вимірювальних комплексів об'єму газу розроблено експериментальний зразок робочого еталона на базі повірочної установки з еталонними лічильниками газу через модернізацію її інформаційно-вимірювальної системи та введення до її складу пристрою переривання сигналу в інформаційних лініях.

Розроблена нова конструкція та визначені метрологічні характеристики робочого еталона еквівалентного рідинно-газового заміщення. Для забезпечення прямої корекції об'єму газу і компенсації впливу температури на вимірюваний об'єм розроблено новий конструктивний елемент в системі обліку газу - компенсатор температури газу.

**В четвертому розділі** розроблена структура повірочної схеми і спосіб передавання розмірів одиниць об'єму і витрати лічильникам та витратомірам газу від еталонних витратомірів рідини, що, на думку автора, забезпечить єдність вимірювань об'єму та об'ємної витрати рідини та газу у державі.

Також в розділі розроблені методи: прогнозування зміни метрологічних характеристик еталонних лічильників газу впродовж міжповірочного інтервалу для забезпечення відповідності їх характеристик безпосередньо під час експлуатації; зниження втрат природного газу ще на стадії проєктування внутрішньо-будинкових газових мереж на основі теплового і гідралічного розрахунків будинкових газопроводів; визначення метрологічних характеристик обчислювальних компонентів еталонів одиниці об'єму та витрати газу, що дало змогу оцінити їх похибку та сформувати бюджет похибок.

Подані результати оцінки динаміки зміни похибок лічильників газу, завдяки чому є змога оцінити динаміку зміни стабільності метрологічних характеристик роторних і турбінних лічильників газу та спрогнозувати їх метрологічну стабільність на період експлуатації.

**У п'ятому розділі** подано спосіб зведення балансу витрат газу для газозбутових організацій впродовж міжповірочного інтервалу, що дасть змогу робити висновки про необхідність проведення позачергової повірки лічильників, або ж проведення їх експертизи на предмет несанкціонованого втручання в їх роботу.

Для усунення методичної складової похибки і покращення метрологічних характеристик еталонів дзвонового типу розроблено спосіб врахування

параметрів відтворюваного контрольного об'єму дзвонового мірника.

Запропоновано метод визначення метрологічних характеристик робочого еталона еквівалентного рідинно-газового заміщення, що дасть змогу здійснювати передавання розміру одиниці об'єму та об'ємної витрати від еталонних витратомірів рідини до лічильників та витратомірів газу.

Розвинуто спосіб коригування функціональної залежності похиби побутових мембраних лічильників газу від витрати природного газу на основі зважених річних коефіцієнтів коригування їх показів, що забезпечить підвищення точності обліку природного газу цими лічильниками.

**Шостий розділ стосується** розвитку організаційних заходів метрологічного забезпечення обліку природного газу. Зокрема для удосконалення організаційної складової експлуатації засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу запропоновано впорядкування графіків повірочних робіт цих засобів вимірювань, що дасть змогу охопити своєчасною повіркою всі робочі еталони і засоби вимірювань.

Розроблено способи діагностики лічильників газу в експлуатації: на основі залежності втрати тиску газу від його витрати та на основі залежності температурних параметрів газопроводів від витрати природного газу.

Здійснено моделювання взаємної кореляції обліку води, електроенергії та природного газу в побутовому секторі, яка дасть змогу, на думку автора, у разі відсутності лічильників для вимірювання цих фізичних величин, коригувати обсяги споживання природного газу.

**У висновках** сформульовані найважливіші результати досліджень.

**У додатках** подано номенклатуру нормативного забезпечення засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу, зведену інформацію про національні еталони одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, результати покращення метрологічних характеристик розроблених методів та засобів вимірювань, а також акти впровадження результатів дисертації.

### **Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях**

Результати досліджень за темою дисертації викладено у 57 роботах, з яких 1 монографія; 25 статей у виданнях, які входять до переліку фахових видань України, та 5 статей в закордонних спеціалізованих наукових виданнях (9 з названих статей входять до наукометричних баз); 3 нормативні документи; 6 патентів та 16 публікацій у матеріалах всеукраїнських і міжнародних конференцій.

Основні результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Перелік публікацій, їх зміст та обсяг відповідають темі дисертації, повністю відображають основні положення виконаних досліджень і не суперечать висновкам роботи.

## Оцінка мови і стилю дисертації та автореферату. Ідентичність змісту автореферату і дисертації

Стиль викладення матеріалу дисертації і автореферату - науковий, послідовний, чіткий та лаконічний. Використана у роботі наукова термінологія є загальновизнаною. Мова викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій практично завжди забезпечує доступність їх сприйняття. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому відображають суть виконаних досліджень. Структура роботи і стиль викладення матеріалу відповідають вимогам до докторських дисертацій.

Зміст автореферату повністю ідентичний до змісту і основних положень дисертації та відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до авторефератів.

## Зауваження до змісту і представлення дисертації

1. Пункт 4 наукової новизни не містить жодної конкретизації щодо того, які метрологічні засади розвинуто, що за характеристики еталонів автор має на увазі, про які еталони йдеться, що за оцінка динаміки зміни метрологічних характеристик отримана тощо.

2. Частково те саме можна сказати і про пункт 6 наукової новизни, де йдеться про непояснене вдосконалення методів визначення складових похибки для неназваних засобів вимірювання, отримане на основі невідомо яких теоретичних досліджень абстрактних фізичних процесів, і не зрозуміло, як це дасть змогу підвищити точність обліку газу цими ЗВТ.

3. З пункту 7 наукової новизни не зрозуміло як можна зреалізувати запропоноване, а саме «Удосконалено методологію діагностування ... лічильників шляхом зміни значень параметрів природного газу...».

4. Загалом викликає сумнів доцільність вживання терміну «методологія» стосовно дій з діагностування лічильників, коригування залежностей, визначення характеристик тощо. В академічних словниках методологія означується як сукупність прийомів дослідження, що застосовуються в певній науці, і містить принципи, методи діяльності та знання.

5. Не доцільно в р. 1 і в п. 1.3.2, який до того ж розпочинається словом «аналіз», подавати власні результати, а саме класифікацію ЗВТ – табл. 1.8, пропозиції щодо методики і саму методику розроблення Схеми нормативного забезпечення вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу (стор. 36).

6. Не зрозумілим є змістовне наповнення п.р. 1.4, в якому за назвою слід було розкрити тенденції розвитку еталонних та робочих засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу, а представлено лише

деталізовані приклади часткової модернізації конструкцій робочих еталонів з вказанням їх принципу дії, характеристик переваг і недоліків, критика нормативних документів та стану вимірюваної справи тощо.

7. П.р. 1.5 містить висновки (стор. 63), що не пов'язані з попереднім матеріалом і назвою підрозділу.

8. Не зрозуміло як за результатами виконаних досліджень (стор. 121) автором встановлено, що коливання надлишкового тиску робочого середовища робочого еталона зменшилося (рис. 3.4). Навпаки порівнюючи його з рис. 3.1 можна зауважити, що на початку ділянок  $V_k$  і  $V_3$  коливання тиску збільшилось, а далі залишилось в тих самих межах.

9. Не зрозумілим є наукове обґрунтування практичної реалізації управлінсько-організаційних заходів щодо формування графіків повірочних робіт. Якщо йшла мова про оптимізацію якогось параметру, то слід було подати критерій оптимізації, та пояснити як вони були досягнуті.

10. Рис. 6.1 та рис. 6.2 не можна називати діаграмами, оскільки вони не подають співвідношень між різними порівнюваними величинами. Скоріше за все це направлениі графи.

11. Для реалізації методу, описаного в п. 6.2.1 слід було б теоретично обґрунтувати, чи експериментально встановити характер кореляційних залежностей між значенням похиби – метрологічною характеристикою і технічною характеристикою – втратою тиску лічильником, про що йдеться на стор. 244 і посиланні на роботу [169].

12. Так само обґрунтування методу знаходження кореляційних залежностей між обсягами спожитої води, газу і електроенергії знаходиться на рівні гіпотези, а саме «... з великою достовірністю, можна стверджувати, що, якщо не вівся облік електроенергії..., то і не споживався ...газ.». Це є недопустимим в науковій роботі.

13. Описаний в п. 6.2.2. температурний метод діагностування лічильників газу доцільно було б дополнити прикладом його практичної реалізації.

14. П.р. 6.4 має описовий, науково-популярний характер. Його інформативність знаходиться на рівні концепції (стор. 261, абзац 3), а доцільність представлення в дисертації викликає сумнів.

15. Трапляються в роботі повтори і дрібні неточності. Наприклад, табл. 2.1 дублює табл. 1.3; рис. 2.2, табл. 2.5 і діаграма на рис. 2.3 подають ідентичну інформацію лише в різній формі і, фактично, теж саме повторює текст на стор. 78; в ф. 2.10 представлено СКВ не результату вимірювань, а окремого спостереження; в підписах до рис. 2.4-2.7 йде мова про кількісні і якісні показники надійності програмного забезпечення, однак, на самих рисунках вони не позначені; сума вагових коефіцієнтів не може прийматися рівною 1, бо вона і є 1 (стор. 192).

**Висновок про відповідність дисертації вимогам Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України**

Дисертаційна робота Кузя М.В. є завершеною науковою працею і містить нове вирішення актуальної науково-прикладної проблеми в сфері забезпечення єдності вимірювань об'єму та об'ємної витрати природного газу. Теоретичні положення дисертації можуть бути основою для вдосконалення національної еталонної бази України. За результатами роботи вже розроблено ряд важливих нормативних документів. Їх практичне використання підтвердило цінність отриманих автором результатів.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній завдання досліджень, викладені основні наукові результати дають можливість зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Робота вносить суттєвий вклад в науку і має практичне значення. Зміст дисертації свідчить про високий рівень кваліфікації автора, як наукового співробітника. Відзначенні недоліки і зауваження не впливають на вагомість результатів та їх практичну значимість.

На підставі проведеного аналізу дисертації «Розвиток метрологічного забезпечення експлуатації засобів вимірювань об'єму та витрати газу» можна зробити висновок про те, що за актуальністю, науковим рівнем, отриманими науковими результатами та практичною цінністю робота відповідає вимогам п. п. 9, 10 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор **Кузь Микола Васильович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент,  
д.т.н., професор, професор кафедри  
метрології, стандартизації та сертифікації  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

Т. Г. Бойко

Підпис Бойка Т.Г. засвідчує

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»  
кандидат технічних наук



Р.Б. Брилинський