

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертацію

Присяжнюк Людмили Олександрівни “Вдосконалення методів та засобів вимірювання енергетичних характеристик природного газу”, поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка (галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування)

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Із-за стрімкої динаміки зростання ціни природного газу все актуальнішим стає питання якості цього енергоносія. В Україні на законодавчому рівні закріплений перехід на облік природного газу з волюметричних одиниць вимірювань на енергетичні. Проте вимірювання енергії природного газу з високою точністю супроводжується певними конструктивними та технологічними труднощами, які ускладнюють використання приладів, що традиційно застосовуються в калориметрії енергоносіїв. Тому необхідним є удосконалення методів та засобів вимірювання енергетичних характеристик природного газу в напрямку підвищення точності результатів вимірювань шляхом розробки нових приладів з застосуванням сучасної елементної бази та методів обробки результатів.

Актуальним є вирішення науково-прикладного завдання у галузі вимірювання і контролю якісних характеристик природного газу – вдосконалення методів та засобів вимірювання теплоти згоряння та числа Воббе природного газу шляхом модифікації ізоперіболічного прямого методу вимірювання теплоти згоряння та розроблення методу визначення числа Воббе з використанням резонатора Гельмгольца.

Дисертаційна робота Присяжнюк Л.О. присвячена вирішенню цих питань.

Дослідження, що склали основу дисертації, виконані у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу та в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», за місцем роботи здобувачки.

### **Аналіз змісту дисертації, повнота викладу в опублікованих працях**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків; загальний обсяг з додатками – 187 с.

У вступі обґрунтовано актуальність задач дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначений об'єкт та предмет дослідження, наукова новизна, практична цінність та особистий внесок здобувачки в одержаних результатах, подані відомості про їх публікацію, апробацію та впровадження.

У першому розділі наведено огляд науково-технічної літератури за темою дисертації. Проведено аналіз стану та тенденцій розвитку

вимірювання енергетичних характеристик природного газу. Оцінено сучасний стан технічного забезпечення вимірювання теплоти згоряння природного газу шляхом аналізу показників кращих зразків приладів, окремо за засобами, які реалізують прямі, опосередковані та хроматографічні методи вимірювання. В результаті проведеного аналізу зроблено висновки щодо спільних рис, характерних для більшості сучасних приладів по кожному з визначених методів вимірювання.

Здійснено узагальнення та обґрунтування завдань досліджень.

В другому розділі наведено теоретичні дослідження особливостей вимірювання енергетичних характеристик газу в межах газотранспортної системи України:

- розроблено теоретичну основу створення газового калориметра, проаналізовано кінетику реакції горіння вуглеводнів, досліджено методи та засоби контролю показників продуктів згоряння;

- теоретично обґрунтовано удосконалений ізоперіболічний метод визначення теплоти згоряння та параметрів і режиму роботи газового калориметра, а також метод визначення числа Воббе з використанням резонатора Гельмгольца. Проведено оцінку точності методу визначення густини газу з використанням резонатора Гельмгольца.

В третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень розробленого аналізатора енергетичних характеристик природного газу, що є комплексним приладом, складовими компонентами якого є потоковий густиномір газу та інформаційно-вимірювальна система визначення енергетичних характеристик газу:

- проведено експериментальні дослідження аналізатора енергетичних характеристик газу з використанням метану та трьох зразків природного газу відомого складу;

- розроблено комплект технічних засобів для відбору та зберігання проб газу, який відповідає вимогам техніки безпеки та автономної роботи.

В четвертому розділі запропоновано шляхи створення метрологічного забезпечення відтворення одиниць масової і об'ємної одиниці теплоти згоряння, одиниці густини природного газу та визначення числа Воббе:

- проведено метрологічний аналіз розробленого калориметра з активним керуванням теплообміном та визначено його відносну похибку, яка становить 1,5 %, і вимірювача числа Воббе, відносна похибка якого склала 2,5%;

- встановлено функціональну залежність похибки визначення теплотворної здатності від діапазону зміни температури калориметричної ємності та визначено оптимальні межі діапазону зміни температури калориметричної ємності, які забезпечують максимальні показники точності відносно рівня конструктивної складності;

- розроблено алгоритм проведення відбору проби газу та регулювання його числа Воббе.

Висновки дисертаційної роботи обґрунтовані. Більшість висновків роботи підтверджені результатами експериментальних досліджень і доведені до промислового впровадження, для яких характерна технічна новизна.

У додатках наведені:

- схема електрична принципова інформаційно-вимірювальної системи визначення енергетичних характеристик газу;
- результати експериментальних досліджень розробленого калориметра при спалюванні чистого метану;
- результати експериментальних досліджень розробленого калориметра при спалюванні природного газу.

Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи, основні завдання та отримані науково-технічні результати прикладного характеру.

### **Основні результати роботи, їх наукова новизна**

Серед описаних в дисертації результатів як наукові нові слід відмітити наступні:

Вперше отримана залежність числа Воббе від резонансної частоти заповненого природним газом різного компонентного складу резонатора Гельмгольца, що дозволяє реалізувати новий метод експериментального визначення числа Воббе.

Вперше запропоновано метод стабілізації стехіометричного відношення газоповітряної суміші калориметра прямого згоряння шляхом одночасного вимірювання трьох параметрів продуктів згоряння – вмісту залишкового кисню, вмісту монооксиду вуглецю та температури, що дає можливість оцінювати повноту окислення газу і підвищити точність вимірювання вищої теплоти згоряння.

Не менш важливими є наступні наукові результати:

Удосконалено метод ізоперіболічного вимірювання теплоти згоряння природного газу шляхом додаткового впровадження засобів активного керування теплообміном калориметричної ємності, що дозволяє скоротити час виконання вимірювань з 20 – 24 годин до 40 хвилин – 1 години, залежно від значення теплоти згоряння природного газу.

Набув подальшого розвитку метод визначення резонансної частоти резонатора Гельмгольца шляхом доповнення методу процедурою двохстороннього сканування, що дозволяє підвищити точність визначення числа Воббе в складі розробленого приладу.

Набули подальшого розвитку методи оцінки метрологічних характеристик ізоперіболічних калориметрів шляхом використання встановленої залежності похибки визначення теплоти згоряння природного газу від діапазону зміни температури калориметричної ємності, що дозволяє оцінювати вплив діапазону зміни температури калориметричної ємності на точність вимірювання вищої теплоти згоряння ізоперіболічного калориметра.

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

Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, обґрунтовані теоретичним аналізом та прикладними експериментальними дослідженнями.

Вірогідність результатів забезпечується коректністю постановки

задачі, використанням методів планування експерименту, теорії вимірювань, математичної статистики, регресійного аналізу, теорії похибок із застосуванням методу структурного аналізу складових похибок.

### **Практична цінність роботи**

Прикладна частина дисертаційної роботи підтверджується впровадженнями в метрологічну практику розробленими засобами вимірювальної техніки, зокрема:

- дослідного зразка вдосконаленого ізоперіболічного калориметра з інтегрованою мікропроцесорною інформаційно-вимірювальною системою, що дало можливість скоротити час виконання вимірювання порівняно з існуючими конструкціями ізоперіболічних калориметрів з 20 – 24 годин до 40 хвилин – 1 години, залежно від значення теплоти згоряння природного газу;
- дослідного зразка аналізатора енергетичних характеристик природного газу, який дозволяє визначати вищу теплоту згоряння, густину газу та його число Воббе в умовах побутових та промислових споживачів газу.

Розроблено конструкцію вибухобезпечного пробовідбірника газу з пневматичним приводом для мереж низького та середнього тиску газу, що забезпечує можливість відбору проб в реальних умовах газових мереж.

### **Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації**

Результати дисертаційного дослідження та основні положення в достатній мірі відображені в опублікованих 20 наукових публікаціях (з них 4 статті у наукових фахових виданнях України, з них 2 статті у наукових фахових виданнях України, що включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science Core Collection), 1 стаття у науковому періодичному виданні Європейського Союзу (одноосібна). Отримані в дисертації результати є новими, їх цінність підтверджена практичним застосуванням. Результати дисертації доповідались на 8-х міжнародних та 2-х всеукраїнських науково-технічних конференціях, опубліковані в 14 наукових працях (з них 2 одноосібні). Отримано 1 патент на корисну модель.

Обсяг і зміст опублікованих наукових праць повністю охоплює всі розділи дисертації та відображає її зміст. Основні результати проведених дисертаційних досліджень отримані здобувачем самостійно, а особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві, є визначальним.

### **Відсутність порушення академічної доброчесності**

В дисертаційній роботі та наукових публікаціях здобувачки, які зараховані за темою дисертації, немає порушень академічної доброчесності, зокрема не виявлено академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації та фальсифікації.

В дисертаційній роботі наявні посилання на наукові публікації інших авторів.

### **Зауваження до дисертації**

1. Перший розділ дисертації переобтяжений детальним описом конструкцій, технічних характеристик калориметрів, їх вартості. Однак, для багатьох з них вказується, що та чи інша метрологічна характеристика не наводиться в технічній документації виробника. Хоча саме метрологічні характеристики є найбільш інформативними в розрізі теми дисертаційного дослідження.
2. У лівій частині формули (2.18), на стор. 74 дисертації, наведена фізична величина – теплова потужність, яка визначається у Вт, натомість у правій частині формули теплота згоряння природного газу вказується у  $\text{кДж/м}^3$ , що призводить до неправильних результатів обчислень за даною формулою. Аналогічно у формулі (2.19), на стор. 75, одночасно наводяться одиниці вимірювань Вт і Дж, К і  $^{\circ}\text{C}$ .
3. На стор. 94 говориться, що похибка вимірювання температури теплоносія в калориметрі всього  $0,1^{\circ}\text{C}$ , або нерівномірність розподілу температури на таку ж величину, спричиняє збільшення відхилення результатів вимірювання теплотворної здатності на 3%. В роботі не обґрунтовано, чи достатньою є точність регулювання температури в термостаті у розробленому приладі на рівні  $0,05^{\circ}\text{C}$  (стор. 107).
4. Авторка роботи стверджує (стор. 118), що похибка вимірювання температури калориметричної рідини становить не більше  $0,033^{\circ}\text{C}$ , що відповідає не більше 2 одиницям молодшого розряду АЦП мікроконтролера Atmel. Однак, вказане значення не може бути похибкою вимірювання, а є лише її складовою – інструментальною похибкою засобу вимірювання температури.
5. В п.3.3.2 не вказано, з якою точністю вимірюється час, об'єм та витрата газу, оскільки такі дані повинні бути наведені виходячи з назви підпункту «Реалізація засобів точного вимірювання часу, об'єму та витрати газу».
6. У четвертому розділі дисертації наведені тільки технічні характеристики засобів калібрування розробленого приладу, але відсутні дані метрологічної простежуваності.
7. У шостому реченні сторінки 162 мова йде про зміну температури від  $295,15$  до  $278,15^{\circ}\text{C}$ . Напевно тут невірно вказана одиниця вимірювань і, логічно, повинні бути К замість  $^{\circ}\text{C}$ .
8. В додатку А відсутнє позначення і номер рисунка, а в додатках Б і В – позначення, номери і назви таблиць.

Проте ці зауваження не знижують теоретичної і практичної цінності дисертаційної роботи Присяжнюк Л.О.

### **Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам**

Дисертація викладена грамотно, послідовно, добре оформлена, всі висновки обґрунтовані і доведені як теоретично та експериментально до логічного завершення.

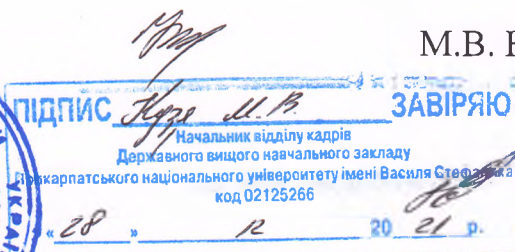
Дисертаційна робота Присяжнюк Л.О. “Вдосконалення методів та засобів вимірювання енергетичних характеристик природного газу” за актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною і практичною

цінністю отриманих результатів є завершеним науковим дослідженням, виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам п. 9-12 "Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 (із змінами, внесеними згідно із Постановами КМ № 979 від 21.10.2020 та № 608 від 09.06.2021), а здобувачка Присяжнюк Людмила Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

### Офіційний опонент:

Професор кафедри інформаційних технологій, директор Центру забезпечення якості ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», доктор технічних наук, професор

М.В. Кузь



Відрук надійшов до спеціалізованої вченої ради  
ДФ 20.052.023 29.12.2021 р.  
Голова ради  
Л.В. Процюк

