ВІДГУК

офіційного опонента
доктора технічних наук, доцента **Мотала Василя Петровича**,
професора кафедри інформаційно-вимірювальних технологій
Національного університету «Львівська політехніка»
на дисертаційну роботу
Малісевич Наталії Миколаївни
«Вимірювання теплоти згоряння природного газу із застосуванням торцевих звужувальних пристроїв»,
яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасний стан світової економіки формує підвищення цін на енергоносії, в тому числі на природний газ. У зв'язку з цим актуальним було і залишається питання забезпечення необхідної точності обліку природного газу, яке на сьогоднішній день формує нові вимоги до його реалізації. Це стосується впровадження інформаційно-вимірювальних систем, які забезпечують вимірювання не тільки об'єму газу, але і передбачають врахування при цьому його теплоти згоряння. Це дає змогу у відповідності до міжнародного досвіду і чинних в Україні стандартів здійснювати облік газу в одиницях енергії, що є одним із чинників формування його вартості.

Такий підхід вимагає обов'язкового застосування методів визначення теплоти згоряння природного газу, що реалізуються тільки з використанням стаціонарних дорогих спеціалізованих аналізаторів якості газу, в тому числі хроматографів. Однак в процесі транспортування природного газу до споживачів через наявність декількох джерел газопостачання газорозподільних мереж якісні параметри газу при надходженні безпосередньо до газоспоживачів можуть суттєво змінитися, що буде недостатньо об'єктивно характеризувати якість газу на місці його споживання. Тому необхідним є удосконалення нових методів визначення теплоти згоряння природного газу, які могли б бути реалізовані безпосередньо у споживачів газу.

Серед значної кількості напрямків і методів визначення теплоти згоряння природного газу однин із перспективних напрямків належить застосуванню температурного фактору, який безпосереднім чином характеризує якість вуглеводневих газів при їх спалюванні. Однак цей напрямок досі є недостатньо вивченим внаслідок багатьох параметрів, які впливають на результати контролю якості природного газу.

Тому актуальним є удосконалення методу і технічних засобів для вимірювання теплоти згоряння природного газу за температурою його спалювання із застосуванням витратовимірювальних торцевих звужувальних пристроїв, що характеризує актуальність дисертаційної роботи в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, результати яких знайшли відображення в дисертаційній роботі, виконувались здобувачкою відповідно до плану навчання в аспірантурі на кафедрі метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Івано-

Франківського національного технічного університету нафти і газу і відповідають науковому напряму вказаної кафедри. Виконання роботи пов'язане з виконанням держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри, де здобувачка була виконавцем завдань, пов'язаних з удосконаленням вимірювальної техніки для контролю якісних параметрів природного газу.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Матеріали викладені на 160 сторінках основного тексту; робота містить 9 таблиць, 51 рисунок, список використаних джерел з 123 найменувань на 15 сторінках та 3 додатки на 7 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих в роботі результатів, а також наведено дані про особистий внесок здобувачки, апробацію результатів досліджень і публікації щодо виконаної роботи.

У першому розділі проаналізована суть якісної характеристики – теплоти згоряння природного газу на основі впливових факторів і параметрів, що визначають її кількісну оцінку при обліку природного газу за його енергетичною цінністю. Розглянуто прямі та опосередковані методи визначення теплоти згоряння природного газу і технічні засоби для реалізації цих методів в лабораторних умовах і при проведенні експрес-контролю якості природного газу у споживачів. Оцінено сучасну вітчизняну і закордонну нормативну базу для визначення теплоти згоряння природного газу.

На підставі аналізу встановлено, що тенденції розвитку засобів вимірювання теплоти згоряння природного газу стосуються розроблення, удосконалення і дослідження методів засобів для вимірювання і контролю теплоти згоряння природного газу безпосередньо за місцем газоспоживання.

На підставі викладеного матеріалу обґрунтовано необхідність удосконалення методів і засобів вимірювання теплоти згоряння природного газу за місцем газоспоживання, сформульовано завдання, які потребують вирішення, і обґрунтовано напрями дисертаційних досліджень.

У другому розділі викладені теоретичні дослідження стосовно спалювання природного газу і фактори, які впливають на його температуру згоряння. Проаналізовано вплив компонентного складу природного газу і умов його спалювання на температуру його згоряння, що дало змогу обґрунтувати спосіб експрес-визначення теплоти згоряння газів за їх температурою спалювання. При цьому необхідно одночасно вимірювати витрату і параметри досліджуваного газу, який подається в пальник, та параметри навколишнього середовища, в якому відбувається згоряння досліджуваного газу.

Досліджено вплив вологи природного газу і вологи навколишнього середовища, в якому відбувається згоряння досліджуваного газу, на визначення його теплоти згоряння.

Проведено моделювання взаємозв'язків фізичних характеристик і компонентного складу природного газу з його теплотою згоряння за умови вимірювання витрати газу торцевими звужувальними перетворювачами.

Отримані алгоритмічні залежності між теплотою згоряння природного газу і його коефіцієнтом стисливості, який визначається впливом густини газу і вмістом негорючих компонентів.

Досліджено вплив теплофізичних параметрів природного газу (теплоємності і теплопровідності) на його теплоту згоряння.

Досліджено умови функціонування торцевих звужувальних пристроїв з встановленням найсуттєвіших чинників, які безпосередньо впливають на точність вимірювання витрати спалюваного газу.

Третій розділ присвячений висвітленню результатів експериментальних досліджень розробленого засобу вимірювання теплоти згоряння природного газу з метою підтвердження правильності застосованих теоретичних засад з використанням температури полум'я, як основного інформативного вимірюваного параметра.

Описана суть застосованих особливостей технічного рішення при практичній реалізації методу контролю теплоти згоряння за температурою полум'я і витратою спалюваного досліджуваного газу, що реалізовано на базі відповідної інформаційно-вимірювальної системи.

Розроблений лабораторний стенд для експериментальних досліджень методу вимірювання теплоти згоряння природного газу за його температурою спалювання. Експериментально досліджено вплив якісного і кількісного складу газових сумішей на температуру полум'я досліджуваного газу за різних значень витрати газу і зміни умов його згоряння.

За результатами експериментальних досліджень встановлено зростання температури спалювання газу із зростанням його калорійності. Експериментально підтверджено збільшення температури спалювання газу із збільшенням об'ємної долі додаткового повітря у суміші, яка згоряє. Встановлені конструктивні та інформативні параметри, які формують чутливість методу при вимірювання теплоти згоряння природного газу.

Розглянуті прикладні аспекти застосування контролю теплоти згоряння природного газу в інтелектуальних засобах обліку природного газу, які стосуються діагностування і контролю теплоти згоряння в лічильниках газу, які реалізують його облік за енергетичною цінністю.

Викладено нове, захищене патентом, технічне рішення щодо еталонних засобів вимірювання витрати, які дають змогу здійснювати калібрування торцевих звужувальних пристроїв на природному газу з урахуванням малих значень витрат, що наявне при застосуванні розробленого методу вимірювання теплоти згоряння природного газу із застосуванням торцевих звужувальних пристроїв.

Четвертий розділ присвячений аналізу результатів метрологічних досліджень розробленого методу вимірювання теплоти згоряння природного газу. В ньому досліджено вплив окремих складових похибки, які стосуються вимірювання температури спалюваного газу, впливу вмісту азоту та вуглекислого газу при визначенні теплоти згоряння досліджуваного газу. Проведена кількісна оцінка методичної похибки теоретико-експериментального оцінювання числового значення конструктивного коефіцієнта пальника, яка є складовою похибки розробленого методу визначення теплоти згоряння

природного газу. Проведений метрологічний аналіз методу визначення теплоти згоряння природного газу на базі застосування теорії похибок і концепції невизначеності, який обґрунтовує можливість практичного застосування цього методу за місцем газоспоживання. За отриманими даними встановлені числові значення розширеної невизначеності результатів вимірювання теплоти згоряння природного газу.

У висновках сформульовані основні результати виконаних досліджень.

У додатках наведені результати експериментальних досліджень розробленого лабораторного стенду, а також поданий акт про використання результатів досліджень у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Наукова новизна роботи стосується розвитку методів і засобів контролю енергетичної цінності природного газу із застосуванням торцевих звужувальних пристроїв.

Найвагомішими науковими результатами є такі:

- вперше отримана математична модель взаємозв'язку теплоти згоряння природного газу із його температурою спалювання при згорянні сумішей газ-повітря різного об'ємного співвідношення, що дає можливість реалізувати процес вимірювання теплоти згоряння природного газу з використанням термоперетворювачів і торцевих звужувальних перетворювачів витрати;
- вперше отримані алгоритмічні залежності між теплотою згоряння природного газу і його теплофізичними характеристиками (коефіцієнт стисливості, вміст невуглеводневих компонентів природного газу, густина) за умови застосування торцевих звужувальних пристроїв, що дає можливість досліджувати вплив компонентного складу природного газу на інформативні параметри пристрою вимірювання теплоти згоряння природного газу;
- набули подальшого розвитку дослідження впливу вологості досліджуваного газу і вологості навколишнього середовища на визначення теплоти згоряння природного газу при його спалюванні, що дає можливість здійснювати вимірювання теплоти згоряння вологих газів з врахуванням умов функціонування засобу вимірювання теплоти згоряння природного газу;
- набув удосконалення метод термометричного контролю температури спалювання досліджуваного газу при вимірюванні теплоти згоряння природного газу шляхом застосування витратовимірювальних перетворювачів торцевого типу, що забезпечує практичну реалізацію експрес-вимірювання теплоти згоряння природного газу;
- набули подальшого розвитку метрологічні дослідження засобів вимірювання теплоти згоряння природного газу з метою коректного оцінювання їх метрологічних характеристик на основі теорії похибок і з використанням концепції невизначеності вимірювань.

Практична цінність отриманих авторкою результатів полягає у розробленні, виготовленні та дослідженні макету експериментальної установки для визначення теплоти згоряння природного газу, що підтвердило правильність прийнятих теоретичних підходів та практичних рішень при реалізації експрес-методу визначення теплоти згоряння природного газу.

Запропоновані нові технічні рішення при створенні засобів для вимірювання теплоти згоряння природного газу, які захищенні двома патентами України на винахід.

Отримані в дисертаційній роботі наукові результати використовуються в навчальному процесі кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Опосередковані вимірювання в нафтогазовій промисловості» при підготовці магістрів за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Основні теоретичні положення роботи, які захищаються здобувачкою, *обґрунтовані* та підтверджені коректним використанням основних положень теорії термодинаміки і теплообміну для процесів горіння спалюваних газів, а також теорії газодинаміки, критеріїв гідродинамічної подібності потоків, рівняння стану газу за умов його протікання через звужувальний пристрій. При цьому застосовувалися методи комп'ютерно-імітаційного моделювання з використанням сучасних стандартизованих програмних пакетів, методів статистичного опрацювання чисельних даних результатів експериментальних досліджень, а також методи планування та постановки експериментів при дослідженні фізичних процесів при вимірюванні температури спалюваного газу і його витрати через торцеві звужувальні пристрої.

При метрологічному аналізі розробленого засобу експрес-контролю теплоти згоряння природного газу використовувалися методи оцінювання з використанням теорії похибок і концепції невизначеності у вимірюваннях, методу структурного аналізу складових похибок та невизначеностей та імовірнісні методи розрахунку стандартної невизначеності.

Наукові положення і висновки, які сформульовані в дисертаційній роботі, достатньо обґрунтовані з наукової і технічної точки зору і підтверджуються результатами проведених модельних та експериментальних досліджень. Обґрунтованість положень забезпечується також використанням сучасних методів наукового дослідження, а саме фундаментальних положень теорії вимірювань, витратометрії, кваліметрії та метрології.

Отримані авторкою наукові результати у відповідності до поставлених задач досліджень є логічними, не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям, повністю відображають отримані автором результати, а також підтверджуються достатньою апробацією основних положень і висновків на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Достовірність отриманих в роботі положень і наукових результатів підтверджується коректністю застосування системи припущень і формулювання умов досліджень при фізичному моделюванні процесів термометричного визначення теплоти згоряння природного газу з врахуванням його витрати через торцеві звужувальні пристрої. Достовірність отриманих результатів підтверджується малими значеннями розбіжностей між

результатами математичного моделювання, експериментальних і метрологічних досліджень термометричного і витратовимірювального пристроїв.

Повнота викладу основних матеріалів в опублікованих працях

Результати наукових досліджень, які отримані автором, опубліковані у 26 наукових публікаціях, у тому числі 5 статей у вітчизняних виданнях, що входять до переліку МОН України (серед яких 1 стаття у фаховому виданні України, включеного до наукометричної бази Web of Science і 1 стаття у виданні з наукометричною індексацією Index Copernicus), 3 статті у закордонних періодичних виданнях (серед яких 1 з наукометричною індексацією Scopus і 1 – Index Copernicus), 2 патенти України на винаходи, 16 публікацій (із них 3 одноособові) за матеріалами праць міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференцій Тому апробацію результатів дисертаційних досліджень можна вважати достатньою.

Відсутність порушення академічної доброчесності

В процесі опрацювання дисертаційної роботи та наукових публікацій, зарахованих за темою дисертації порушення академічної доброчесності не виявлено. Зокрема не виявлено академічного плагіату, самоплагіату, елементів фабрикації та фальсифікації. По всьому тексту дисертаційної роботи авторкою застосовано посилання на його наукові публікації, публікації інших авторів, нормативні документи та інші джерела.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. В роботі необхідно було здійснити кількісну оцінку впливу вологи навколишнього середовища на функціонування розробленого пристрою з метою формулювання допустимих змін параметрів навколишнього середовища на наявність додаткової похибки вимірювання теплоти згоряння газу.

2. Є зауваження щодо оформленя дисертаційної роботи:

2.1. Занадто великий опис калориметричного пристрою, поданого на рис. 1.13.

2.2. Рис. 1.10 доцільно подати швидше за текстом.

2.3. Є відхилення від правильності опису списку використаних джерел, наприклад, поз. 11, 22, 41, 42, 43.

2.4. Різні умовні позначення теплоти згоряння, наприклад на с. 42 і с. 43, які відрізняються від використаних позначень далі за текстом.

3. Не конкретизовано в роботі, яку теплоту згоряння досліджуваного газу вимірюють розробленим засобом і чим це обґрунтовано.

4. Експериментальні дослідження проведені з використанням малої кількості досліджуваних сумішей і газів. Не вказано, як визначалася їх теплота згоряння?

5. Необґрунтовано потребу застосування двох методик метрологічних досліджень розробленого засобу, які стосуються похибок і невизначеності результатів вимірювання.

6. У роботі немає чіткого висновку про суть розробленого засобу – це вимірювальний засіб, чи засіб експрес-контролю, адже у тексті використовуються ці два терміни.

7. В роботі доцільно було би сформулювати умови, які дають змогу оптимізувати процес вимірювання теплоти згоряння.

8. Доцільно було навести розрахунок об'єму газу, який необхідно спалити для визначення його теплоти згоряння.

9. В роботі відсутні пояснення щодо стабілізації температури при зростанні витрати спалюваного газу, що ілюструється на рис. 3.11, які наведені на с. 134 і 135 і мають однакове позначення.

10. В роботі не розкрита методика вимірювання густини газу, яка фігурує в алгоритмі 2.16, необхідному для визначення теплоти згоряння газу.

11.У дисертації зустрічаються описки, граматичні помилки, стилістичні неточності.

Висновок про відповідність дисертації вимогам ДАК Міністерства освіти і науки України

Дисертаційна робота Малісевич Н.М. є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані суттєві нові наукові і практичні результати, що дають змогу розв'язати науково-прикладне завдання удосконалення методу вимірювання теплоти згоряння природного газу і створення на його основі пристрою експрес-контролю теплоти згоряння природного газу з використанням торцевих звужувальних пристроїв.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній завдання досліджень, викладені основні наукові результати дають можливість зробити висновок, що дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Вказані зауваження не стосуються основних наукових положень дисертації і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та на її наукову цінність.

Вважаю, що дисертаційна робота Малісевич Наталії Миколаївни «Вимірювання теплоти згоряння природного газу із застосуванням торцевих звужувальних пристроїв» за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю отриманих в ній результатів досліджень і рівнем виконання відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, зокрема вимогам п. 9-12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019р. №167, а її авторка заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Офіційний опонент:
професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»,
докт. техн. наук, доцент В.П. Мотало

Підпис В.П. Мотала засвідчую:
Вчений секретар
НУ «Львівська політехніка» Р.Б. Брилинський

Відгук надійшов до спеціалізованої Вченої ради ДФ 26.052.005 11.12.2020р.
Голова спеціаліз. Вченої ради