

ВІДГУК

офіційного опонента Середюка Ореста Євгеновича
на дисертаційну роботу Новицького Дмитра Володимировича
«Надвисокочастотний метод і засіб вимірювання вологості природного
газу», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка»

Актуальність обраної теми. Досягнення енергетичної безпеки України зумовлює необхідність раціонального і ефективного використання енергетичних ресурсів, що, в свою чергу, формує підвищені вимоги до точності обліку енергоносіїв, в тому числі природного газу. Це потребує комплексного впровадження енергозберігаючих заходів, насамперед, оснащення всіх енергоспоживачів засобами зимірювання і обліку енергоносіїв урахуванням їх вартості, яка відповідає реальному споживанню. З урахуванням такого підходу потребують розроблення і впровадження нові засоби витратовимірювальної техніки у сфері обліку природного газу, які би враховували не тільки об'єм спожитого газу, але і його якісні характеристики. Це стосується в значній мірі вимірювання не тільки калорійності природного газу, але і параметрів, які впливають на достовірність і точність обліку природного газу. Одним із параметрів, який безпосередньо впливає на якість природного газу є його вологість, яка зумовлює утворення гідратних корків при низьких температурах, а також знижує ефективність спалювання природного газу за рахунок зменшення низкої теплоти згоряння природного газу. В цілому також контроль вологості безпосереднім чином впливає на економічність і ефективність технологічних процесів. Тому розроблення сучасних методів і засобів вимірювання вологості природного газу, і, насамперед, нових підходів і технічних рішень для реалізації оперативного потокового контролю є актуальною задачею, яка характеризує актуальність дисертаційної роботи.

Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний текст дисертації викладено на 143 сторінках, загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок. Дисертаційна робота проілюстрована 49 рисунками, містить 8 таблиць, список використаних джерел складається із 134 найменувань на 12 сторінках та включає 10 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, обґрунтовано вибір теми дослідження,

відображені застосовані методи дослідження, висвітлено наукову новизну отриманих результатів, практичну цінність та особистий внесок здобувача в одержаних результатах, подано відомості про їх апробацію і публікації щодо роботи.

У першому розділі висвітлено стан досліджуваного питання щодо вимірювання вологості природного газу. Проаналізовано існуючі прилади та методи вимірювання вологості природного газу, визначено їх основні недоліки. Викладено розроблену класифікацію сучасних вимірювачів вологості газів за конструктивним виконанням, фізику процесу перетворення та особливостями вимірювання. Сформовано основні критерії для побудови систем вимірювання вологості природного газу, визначений напрямок наукових досліджень.

У другому розділі викладені дослідження теоретичних зasad вимірювання вологості природного газу. Проведені дослідження об'єкта вимірювання та впливу надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання на газове середовище. Обґрутовано вибір хвилеводного НВЧ методу вимірювання вологості природного газу. Розроблено математичну модель НВЧ вимірювального перетворення вологості природного газу, суть якого полягає у вимірюванні зміни потужності НВЧ сигналу біжучої хвилі на виході хвилеводу, що відповідає вологості газу. Здійснено моделювання процесу вимірювання вологості природного газу шляхом використання еквівалентної схеми, що описує бінарну гетерогенну систему, якій відповідає математична модель НВЧ вимірювального перетворювача. Розроблено структурну схему двоканального НВЧ вимірювального перетворювача вологості природного газу та його математичну модель. Отримано функцію перетворення та статичну характеристику.

Третій розділ присвячений розробленню засобу вимірювання вологості природного газу, який відображає його структурну схему та математичну модель вимірювання вологості природного газу. Також викладено методику розрахунку вологості природного газу при функціонуванні розробленого вологоміра. Викладений алгоритм визначення нижньої та верхньої градуюальної точки діапазону вимірювання вологості природного газу. Здійснений аналіз складових похибок вимірювання вологості природного газу згідно запропонованих алгоритмів.

У четвертому розділі викладені засади апаратно-програмної реалізації та процесу експериментальних досліджень НВЧ засобу вимірювання вологості природного газу. Описані розроблені алгоритми та програмне забезпечення для отримання та опрацювання контрольно-вимірювальної інформації, в тому числі зчитування даних з USB порту та збереження в файл виведення результатів вимірювання в табличній формі та у вигляді графіків. Запропоновано методику

експериментальних досліджень розробленого аналізатора вологості газу та результати його експериментальних досліджень з викладенням результатів опрацювання вимірювальної інформації.

У висновках сформульовано основні результати виконаних досліджень.

У додатках наведені залежність коефіцієнта поглинання НВЧ випромінювання природним газом від його абсолютної вологості, густини водяної пари, результати моделювання двоканального вимірювального перетворювача вологості, результати експериментальних досліджень, а також акти впровадження результатів дисертаційних досліджень в АТ «Харківгаз» та в навчальний процес Вінницького НТУ.

Наукова новизна роботи стосується вдосконалення методу та засобу вимірювання вологості газу в надвисокочастотному діапазоні поширення хвиль в газових середовищах. При цьому найвагомішими науковими результатами є наступні:

1. Отримав подальший розвиток метод вимірювання вологості природного газу в НВЧ області, який на відміну від відомих, відрізняється тим, що значення вологості газу отримують на основі співвідношення показників поглинання природного сухого газу та водяної пари в результаті використання «біжучої» НВЧ хвилі певної довжини, що дало змогу забезпечити підвищення точності результатів вимірювання з використанням одноканального та двоканального вимірювальних перетворювачів.

2. Вперше запропоновано математичну модель НВЧ вимірювального перетворювача вологості на основі біжучої хвилі та на її основі отримано рівняння перетворення двоканального вимірювального перетворювача, що дозволяє зменшити мультиплікативну похибку в 1,3-1,5 рази, яка виникає в процесі нестабільності джерела НВЧ сигналу, девіації частоти та власних втрат хвилеводів.

3. Отримала подальший розвиток математична модель НВЧ засобу вимірювання вологості, що дало змогу отримати рівняння перетворення, яке дозволило отримати статичну характеристику й розробити принципово новий засіб вимірювання вологості зі стабільними метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблено та впроваджено експериментальний зразок НВЧ засобу вимірювального вимірювання вологості, який забезпечує можливість вимірювання вологості в

діапазоні температури точки роси $-30^{\circ}\text{C} \dots +30^{\circ}\text{C}$, що відповідає значенню абсолютної вологості $0,454 \text{ г}/\text{м}^3 \dots 30,37 \text{ г}/\text{м}^3$, при максимальній зведеній похибці засобу вимірювання вологості, яка не перевищує $2,43\%$.

2. Розроблено методику експериментального визначення показників поглинання природного сухого газу та водяної пари, а також експериментального вибору довжини хвилі джерела випромінювання як для сухого газу, так і для водяної пари.

3. Одержані наукові результати впроваджені у вигляді експериментального зразка НВЧ засобу вимірювання вологості у АТ «Харківгаз», які передбачають використання методики розрахунку коефіцієнтів поглинання водяної пари та сухого газу, а також температурної корекції при вимірюванні вологості природного газу.

4. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес кафедри електроніки та наносистем Вінницького національного технічного університету.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій та достовірність отриманих результатів.

Обґрунтованість наукових положень дисертації забезпечується коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, достатньо чітким формулюванням мети і вибору методу досліджень, використанням нормативно затверджених методик визначення вологості природного газу, коректним використанням основних положень теорії збудження, поширення і прийняття акустичних хвиль у газоподібних середовищах, а також теорії вимірюваного перетворення, методів імітаційного моделювання поширення акустичних хвиль за умов вологого природного газу в надвисокочастотному діапазоні випромінювання з використанням програмного пакету Electronic WorkBench. Експериментальні дослідження та узагальнення результатів здійснювалося із застосуванням методів планування експерименту, теорії вимірювань, математичної статистики і теорії похибок вимірювання, статистичного і регресійного аналізу, методів числового опрацювання результатів експериментів із використанням персональних комп'ютерів.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач 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 і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Достовірність отриманих в роботі положень і наукових результатів визначається їх теоретичним обґрунтуванням та експериментальним

підтвердженням результатів досліджень, достатньою збіжністю результатів математичного і фізичного моделювання та результатами метрологічних досліджень, а також впровадженням результатів досліджень в АТ «Харківгаз».

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Розроблений автором вдосконалений надвисокочастотний метод і засіб вимірювання вологості природного газу можуть бути використані у практичній діяльності підприємств, які займаються проєктуванням і виготовленням вологомірів і витратомірів газу, а також у практичній діяльності підприємств, які здійснюють у своїй діяльності облік енергоностіїв з урахуванням їх якісних характеристик.

Повнота викладу основних матеріалів в опублікованих працях.

Результати наукових досліджень, які отримані автором, опубліковані у 12 публікаціях, у тому числі в 6-х наукових працях у виданнях, що входять до переліку ВАК України, в 5-ти публікаціях за матеріалами і тезами доповідей міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій та одному патенту України на корисну модель. Тому апробацію результатів дисертаційних досліджень можна вважати достатньою.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертацій. Дисертаційна робота написана загальноприйнятою науковою українською мовою із використанням сучасної правильної української наукової термінології. Робота виконана на належному науковому рівні, є завершеною науковою працею, має практичне значення та відображає рішення актуальної науково-прикладної задачі вимірювання вологості природного газу. Оформлення дисертації в цілому відповідає темі досліджень і вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження доктора філософії», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 та діючим пунктам Наказів Міністерства освіти і науки України «Про опублікування результатів дисертацій та здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» від 17.10.2012 р. №1112, від 03.12.2012 р. №1380 та Листа МОН України від 04.12.2015 р. №1/9-586 «Про опублікування результатів дисертацій у періодичних виданнях».

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. У переліку вчених, які занималися розвитком вітчизняної вологометрії, відсутні науковці Вінницького НТУ, зокрема науковий керівник Білинський Й.Й. та здобувачі наукового ступеня, якими керував вказаний професор.

2. В роботі відсутнє обґрунтування вибору довжини шляху проходження НВЧ сигналу, яке в розробленій конструкції становить 12 см.

3. В роботі відсутні числові значення складових похибок, які подані формулою (3.23) і алгоритмічна функція для формулування цієї формули. Не всі складові похибки розраховані.

4. Відсутнє обґрунтування отримання числового значення сумарної похибки 0,43 % (сторінка 112, бо відсутня номерація формули), а також відсутнє обґрунтування числового значення довірчої ймовірності 0,97 у формулі (3.23) на сторінці 112.

5. Не зрозумілим є алгоритм розрахунку похибки при зміні температури, яка не перевищує 0,01 %, а при цьому середній температурний коефіцієнт, що віднесений до 1 °C становить 0.000000535, тобто є суттєво менший.

6. Відсутнє обґрунтування результатів моделювання, які наведені на сторінці 90 і не перевищують 3 %.

7. В роботі не розкрито вплив густини природного газу, його компонентного складу і виду середовища (повітря чи природний газ) на результати вимірювання вологості газу. Яке значення зміни похибки при градуюванні розробленого вологоміра на повітрі порівняно із очікуваним градуюванням на природному газі?

8. Відсутнє посилання на технічні і метрологічні характеристики калібрувальної системи (сторінка 130 дисертації), яка використовувалася для оцінювання достовірності результатів вимірювання вологості природного газу.

9. Чому в методиці розрахунку вологості природного газу передбачено, що природний газ містить 98-99 % метану? Що буде коли вміст метану зменшиться, наприклад до 60-70 %, що передбачають міждержавні і українські нормативні документи?

10. У висновках сказано, що розв'язано важливу науково-практичну задачу підвищення точності, вірогідності та чутливості вимірювання вологості природного газу, однак відсутнє чисельне обґрунтування і порівняльний аналіз отриманих результатів з відомими аналогами.

11. Не зрозумілим є розкриття суті поняття «універсальності» класифікації методів дослідження вологості газу (які критерії, область застосування, принцип дії і т.д.).

12. Дисертаційна робота містить ряд неточностей у її оформленні:

12.1 В роботі використовуються русизми, наприклад, «достойства НВЧ» (сторінка 50), «СВЧ» (сторінка 55), а також граматичні помилки, наприклад, на сторінках 18, 66, 69, 78, 139 та ін.

12.2 Недостатньо посилань на свої публікації за текстом дисертації.

- 12.3 Відсутнє розшифрування значень діелектричної проникності, які позначені у формулах (2.1)-(2.5).
- 12.4 Посилання на літературу [101] на сторінці 90 є помилковим, бо не відображає новизни отриманого рівняння (2.24), оскільки повинно бути посилання на публікацію розробки автора.
- 12.5 Використовуються за текстом позасистемні одиниці систем вимірювання, наприклад, атмосфери (сторінка 108).
- 12.6 Є дублювання номерації формул (2.18), (2.19) на сторінках 83-84 і 87-88.
- 12.7 Кількість публікацій має бути 12 (за переліком) чи 13 (фактично)? Не вказаний номер патенту за участю здобувача, який перелічений під номером [7] в переліку піблікацій і під номером [97] в списку використаних джерел. А може це тільки заявка на корисну модель?

Висновки

Дисертація Новицького Дмитра Володимировича, що подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», виконана на достатньо високому науковому рівні, становить завершену наукову працю та має суттєве практичне значення. В дисертації міститься рішення важливої науково-прикладної задачі у галузі вимірювання і контролю вологості природного газу.

За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів вважаю, що дисертаційна робота повністю відповідає «Порядку проведення експерименту з присудження доктора філософії», що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а її автор – Новицький Дмитро Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент,
завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
доктор технічних наук, професор

О.Є. Середюк

