



## ВІДГУК

офіційного опонента д-ра техн. наук, ст. наук. співр. Большакова В.Б.  
на дисертаційну роботу

**Романіва Василя Михайловича**

«Удосконалення оптичного методу оцінювання енергетичних параметрів  
природного газу»,  
яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та  
метрологічне забезпечення

**Дисертаційна робота Романіва Василя Михайловича** складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 222 сторінки друкованого тексту, який містить 162 сторінки основного тексту, 11 таблиць і 48 рисунків, з яких 1 таблиця і 1 рисунок розташовані на 2-х окремих аркушах, список використаних літературних джерел з 147 найменувань на 16 сторінках і 11 додатків на 42 сторінках.

Дисертацію написано українською мовою, оформлено відповідно до вимог чинного документу «Вимоги до оформлення дисертації», затвердженого Наказом МОН України від 12.01.2017 № 40.

**Дисертаційна робота, що опонується, є завершеною кваліфікаційною працею**, яка характеризується єдністю змісту і містить в собі нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу метрології в енергетиці – удосконалення оптичного методу вимірювання енергії природного газу в газопроводах середнього тиску в умовах їх експлуатації в режимі реального часу шляхом розроблення нових та вдосконалення і подальшого розвитку існуючих методів, алгоритмів і засобів вимірювань його енергетичних компонентів.

Актуальність роботи обумовлено тим, що згідно з Законом України «Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Спітвовариства» Україна увійшла до **єдиного простору**

регулювання торгівлі газом та взяла на себе зобов'язання, зокрема, реалізувати концепцію обліку природного газу в одиницях енергії. На виконання цього зобов'язання, відповідно до «Плану пріоритетних дій Уряду на 2016 рік», затвердженого розпорядженням КМУ від 27.05.2016 № 418-р, а також рекомендацій Круглого столу Комітету Верховної Ради України з питань паливно-енергетичного комплексу, ядерної політики та ядерної безпеки «Запровадження в Україні обліку природного газу в одиницях енергії. Якість природного газу», розроблено відповідний проект постанови КМУ «Про затвердження плану заходів із запровадження в Україні обліку природного газу в одиницях енергії».

Складність виконання цього взятого Україною зобов'язання та реалізації запланованих заходів обумовлено, в першу чергу, тим, що природний газ, який постачається споживачам, має непостійний компонентний склад, тому що він видобувається з різних родовищ, які відрізняються за складом газових сумішей, зміщується в процесі транспортування газопроводами та при зберіганні у підземних сховищах, що впливає на його склад і енергоефективність. Тому оперативний контроль за компонентним складом природного газу і, як наслідок, за його енергією є важливим не тільки для інтеграції ринку природного газу України в Європейський, а й для національної економіки і, в першу чергу, для крупних металургійних, хімічних підприємств та підприємств із великим споживанням газу задля реалізації заходів з проведення аудиту, оптимізації технологічних процесів, підвищення енергоефективності підприємств, енергозбереження.

При визначені компонентного складу природного газу найбільш важливим є визначення концентрацій саме вищих вуглеводневих компонент (метану, етану, пропану, бутану та пентану), які вносять найбільшу вагу в його енергетичні показники. Для цієї цілі поряд із хроматографічними методами перспективним є застосування оптичних методів, які мають такі переваги відносно інших, як селективність, високу чутливість, точність, можливість здійснювати вимірювання у реальному часі. А газоаналізатори, побудовані на основі цих методів, прості в обслуговуванні, не мають розхідних матеріалів, відносно недорогі й можуть застосовуватись у вибухонебезпечних приміщеннях. Тому подальший розвиток і удосконалення оптичних методів визначення компонентів природного газу, а також відповідних засобів, що входять до складу систем вимірювання його енергії, шляхом підвищення швидкодії та чутливості вимірювання концентрації вищих складових газових сумішей завдяки розробці нових підходів до вимірювальних схем оптичних каналів, алгоритмів та засобів обробляння сигналів, застосування сучасної елементної бази, дуже важливий, а дана дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню цієї задачі, безумовно актуальна.

**Новизна та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність обумовлено тим, що в результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень сформульовані в дисертаційній роботі завдання, які в сукупності й формують поставлену науково-прикладну задачу, вирішенні й, зокрема, отримані наступні нові наукові результати, положення, висновки та рекомендації:**

**- вперше розроблено:**

- метод адаптивного оцінювання сумарної концентрації вищих вуглеводневих складових природного газу за трьома його основними компонентами – метаном, етаном і пропаном на основі проведеного кореляційного аналізу взаємозв'язків концентрацій складових газу 84 основних газових родовищ світу і України, що послужило підґрунтам створення алгоритму визначення енергії природного газу на основі вимірювання трьох його основних компонентів і попередньо отриманих статистичних даних аналізу компонентного складу хроматографічним методом безпосередньо на визначеному замірному вузлі, що дозволило зменшити кількість вимірювальних параметрів газу, а також підвищити оперативність і ефективність визначення його енергії,

- методологію застосування трьохкюветної оптичної системи та кільцевидної кювети для вимірювання концентрації основних вуглеводневих складових природного газу, що дало змогу підвищити чутливість газоаналізатора й визначати основні компоненти природного газу без попередньої підготовки проб на замірному вузлі,

- методологію метрологічного забезпечення розробленої системи визначення енергії природного газу та її репрезентативний аналіз, в результаті якого доведено, що відносна розширенна невизначеність вимірювання енергії природного газу за допомогою розробленої системи становить 5,87 %;

- уdosконалено** метод вимірювання витрати природного газу турбінними лічильниками, які входять до складу розробленої системи вимірювання його енергії, за рахунок використання квазітрійково-маніпульованих кодових послідовностей в базисі Гауса, що підвищило достовірність результатів вимірювання об'ємної витрати газу в діапазоні, що розглядається, у 2 рази;

- отримав подальший розвиток** оптичний метод визначення енергії природного газу за його компонентним складом засобами вимірювання на основі інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії при детектуванні його основних компонент смугами з центрами 1,65 мкм; 3,06 мкм і 3,36 мкм, відповідно.

Треба відмітити глибокий висококваліфікований аналіз

- сучасного стану і тенденцій розвитку існуючих методів визначення компонентного складу газової суміші (стор. 39-49) і засобів вимірювання енергії природного газу (стор. 50-58, додатки А і В),

- факторів впливу на невизначеність вимірювання енергії природного газу засобами ІЧ спектроскопії (стор. 137-148) та, як результат, визначену при цьому відносну розширену невизначеність вимірювання ( $\delta U_E = 5,87 \%$ ), що забезпечує виготовлений експериментальний зразок розробленої системи,

- презентативну дослідно-виробничу перевірку експериментального зразка розробленої системи вимірювання енергії природного газу на робочому еталоні одиниці витрати природного газу в атестованій випробувальній лабораторії ПАТ «Івано-Франківськгаз», яка довела коректність отриманих наукових результатів, положень, висновків, рекомендацій і запропонованих технічних рішень.

Недоліком дисертаційної роботи є те, що в ній здобувач у своїх дослідженнях посилається на недіючі в Україні стандарти, наприклад, на ГОСТ 8.361-79 і ГОСТ Р 51750-2001 (стор. 34), замість яких в Україні чинні ДСТУ 7221:2011 «Метрологія. Витрата рідини та газу. Методика вимірювання за швидкістю в одній точці перетину труби» і ДСТУ 3682-98 «Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг», відповідно.

Бажано, виходячи з актуальності для енергозбереження та енергетики в цілому отриманих у роботі результатів, більш широке їх впровадження у національну економіку.

**Обґрунтованість** наукових результатів, положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, обумовлено коректністю постановки і рішення завдань дослідження, використанням широко апробованих методів математичного моделювання, статистичного і кореляційного аналізів, кодування інформації та метрологічного аналізу результатів вимірювання, зокрема, сучасної теорії невизначеності.

**Достовірність** наукових результатів, положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується результатами експериментальних досліджень, виконаних, як зазначено раніше, в атестованій випробувальній лабораторії ПАТ «Івано-Франківськгаз».

**Верифікацію** розроблених методів, математичних моделей, алгоритмів є їх апробація на міжнародному та національному рівнях, упровадження у навчальний процес на кафедрі інформаційно-вимірювальної техніки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФТУНГ).

Таким чином, отримані В.М. Романівим нові наукові результати обґрунтовані і в сукупності є значним досягненням в удосконаленні оптичного методу вимірювання енергії природного газу.

**Практична цінність** отриманих у дисертації результатів полягає в тому, що розроблено:

– конструкцію швидкодіючого багатоканального ІЧ газоаналізатора на основі удосконаленого оптичного методу вимірювання,

- методику забезпечення єдності вимірювань енергії природного газу розробленим багатоканальним ІЧ газоаналізатором,
- новий тип вимірювальних оптических схем і кювет для газоаналізаторів, які мають змогу працювати в натурних умовах у режимі реального часу без попередньої підготовки проби газу,
- пристрій для перетворення та представлення вимірювальної інформації у турбінних лічильниках газу, який в процесі її формування і передавання унеможливлює повторення однакових імпульсів в інформаційних блоках, а також ефективно відтворює частково втрачену інформацію,
- експериментальний зразок системи визначення енергії природного газу, в якому реалізовані розроблені здобувачем наукові положення, висновки і рекомендації.

Варто відмітити, що розробки В.М. Романіва виконані на рівні винаходів – захищенні 2-ма патентами України на корисні моделі.

Все це підтверджує новизну і практичну цінність роботи.

**Рівень впровадження** результатів роботи обумовлений тим, що вони впроваджені в навчальний процес кафедри інформаційно-вимірювальної техніки ІФНТУНГ для студентів спеціальності 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» у робочих програмах дисциплін «Методи і засоби вимірювань та первинні вимірювальні перетворювачі» та «Науково-дослідна робота» при навчанні за бакалаврським рівнем вищої освіти.

**Доцільно рекомендувати** більш широке використання отриманих у дисертаційній роботі результатів національними підприємствами і організаціями, які здійснюють

- актуалізацію та модернізацію системи забезпечення єдності вимірювань витрати, об'єму та енергії природного газу,
- розроблення, виробництво, калібрування (повірку) засобів вимірювань витрати, об'єму та енергії природного газу,
- розподіл і облік природного газу.

**Повнота викладення основних наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, в опублікованих працях** має місце, оскільки за темою дисертації опубліковано 23 наукові праці, у тому числі: 10 (з яких 3 одноосібні) у фахових виданнях України та у 1 закордонному періодичному науковому виданні, з них 5 статей – у виданнях, які входять до міжнародних наукометрических баз (РИНЦ, Index Copernicus) та 14 (з яких 1 одноосібна) у матеріалах і тезах конференцій, отримано 2 патенти України на корисну модель.

У публікаціях є повний опис наукових результатів роботи, які виносяться на захист.

**Робота пройшла необхідну апробацію**, оскільки її основні наукові положення, висновки та рекомендації доповідалися та обговорювалися на 8 міжнародних і 6 всеукраїнських науково-технічних конференціях.

**Авторська участь здобувача** в спільних працях відзначена у висновку організації, де виконувалася дисертація, з якого слідує, що основні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані безпосередньо здобувачем.

**Відповідність змісту дисертації паспорту спеціальності**, за якою вона подається до захисту, профілю спеціалізованої вченої ради.

Роботу виконано в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

### **Зміст роботи** відповідає

- паспорту спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення, а саме:

- формулі: «Галузь науки, яка вивчає створення, оптимізацію та вдосконалення нормативної бази та механізмів її застосування, методи та засоби до всіх галузей науки, техніки, народного господарства, а також ефективного метрологічного забезпечення єдності вимірювань і випробувань»;
- напряму досліджень: «Розроблення нових і вдосконалення наявних методів і засобів вимірювань і їх метрологічного забезпечення»;
- профілю спеціалізованої вченої ради Д 64.827.01.

**Автореферат** дисертації адекватно відображає основні наукові результати, положення й рекомендації роботи. Однак, у ньому є наступна неточність: на сьогодні я не є головним науковим співробітником ННЦ «Інститутом метрології», а є Віце-президентом Академії метрології України (сайт АМУ: <http://amu.in.ua/>).

Але, незважаючи на те, що дисертаційна робота В.М. Романіва, в цілому, оцінюється вельми позитивно, її властиві **ряд недоліків** і, в першу чергу:

1. Визначення «вища» і «нижча» температури згоряння газу (стор. 30) у роботі сформульовані ідентично, хоча це декілька різні окислювальні процеси.

2. Здобувач стверджує (стор. 34): «З виразу (1.9) випливає, що енергія природного газу безпосередньо залежить від компонентного складу його горючих складових». Однак цей вираз, судячи з пояснення до нього: « $H_{ei}$  – теплотворна здатність горючого газу..., визначена в інтервалі  $\Delta_i$  –  $i$ -тому проміжку часу між двома визначеннями  $H_e$ », скоріше характеризує часову варіацію енергії газового потоку, а не його компонентний склад.

3. Лінійність залежності молярної концентрації компоненти природного газу С від її оптичної густини А, що представлено на рис. 2.6 (стор. 72), витікає не з формули (2.9) (стор. 71), як стверджує здобувач, а з вихідного визначення молярного питомого коефіцієнта поглинання (формула (2.7), стор. 71).

4. Похибки (вимірювання, визначення параметра тощо) регламентовано характеризувати границями (стор. 95, 120) зі знаком « $\pm$ », а не абсолютною величиною (стор. 77).

5. Результати «Розрахунку бюджету затухання ІЧ-випромінювання оптичного каналу», що представлені у табл.. 2.1 (стор. 80), мають наступні некоректності:

- незрозуміло, чому «Вихідна потужність ПДЛ» і «Гарантована чутливість фотодетектора» подані від'ємними,

- у п.3 «Втрати в оптоволокні» повинно бути зазначено величину 1,2 дБ, а не відносний рівень втрат 0,4 дБ/м,

- оскільки складаються максимальні втрати потужності оптичного сигналу в елементах запропонованої схеми (рис. 2.8, стор. 78), то «Сумарні витрати» (п.7) коректніше визначити як граничні.

6. На основі аналізу отриманої формули (2.58) здобувач робить висновок, що «у кільцеподібної кювети довжина ходу оптичного променя буде найбільшою з усіх розглянутих видів кювет». Однак цей висновок суперечить результатам його ж досліджень, наведеним на рис. 2.16 (стор. 101).

7. На рис. 3.9 (стор. 124) «наведено розроблений алгоритм роботи вимірювального каналу контролю концентрації трьох основних компонентів природного газу». Однак ні позначення, що використані на цьому рисунку, ні функціонування алгоритму у роботі не розкрито.

8. У роботі є гносеологічні твердження здобувача без наведення будь-якої доказової бази, наприклад:

- «Але, враховуючи, що похиби вимірювань при використанні трьохкюветної схеми ... менші ніж при використанні одно- та двохкюветної схеми, її можна використати як основу для побудови швидкодіючих газоаналізаторів» (стор. 86);

- «..., у кільцеподібної кювети довжина ходу оптичного променя буде найбільшою з усіх розглянутих видів кювет (стор. 95-101)..., а отже і більше енергії ІЧ випромінювання поглинається досліджуваною компонентою. Це дає змогу вимірювати концентрацію компонент природного газу на рівні долей відсотка» (стор. 100);

- «Для реалізації алгоритму функціонування розроблено відповідне програмне забезпечення. При цьому відносна похибка визначення концентрації вищих компонент не виходить за граници  $\pm 7\%$ » (стор. 130).

9. У багатьох формулах відсутні пояснення до величин, що входять до них, наприклад, у:

- формулі (1.7) (стор. 31) не пояснено, що таке коефіцієнт сумування (термін здобувача) « $b_j$ », хоча у формулі його подано як спів множник,
- формулі (1.9) (стор. 34) не пояснено, що є « $n$ »,
- формулі (2.5) (стор. 68) не пояснено, що є « $\delta_0$ » та « $T_0$ ».

10. Роботі притаманні некоректності й неточності, зокрема:

- у формулі (2.1) (стор. 63) буквами  $v$  і  $c$  позначені частота коливань (молекул газу) і швидкість світла у вакуумі, а у формулі (2.3) (стор. 68) цими ж буквами позначені довжина хвилі і концентрація компонента газової суміші,

- у другому абзаці на стор. 156 має бути посилання на рис. 4.10, а не на рис. 4.9.

Однак, незважаючи на те, що зроблені зауваження дещо знижують, як відмічалося раніше, високу оцінку роботи, можна констатувати, що вони носять частковий характер і не стосуються основних положень дисертації, що виносяться на захист.

В цілому, на основі проведеного аналізу можна зробити **висновок**, що дисертаційна робота В.М. Романіва є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні й експериментальні результати, що у сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу метрології в енергетиці – вдосконалення оптичного методу вимірювання енергії природного газу в газопроводах середнього тиску в умовах їх експлуатації у режимі реального часу, відповідає науковому рівню робіт, що подаються на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

За актуальністю, науковим рівнем, дослідно-виробничою перевіркою розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідної кількості й обсягу публікацій та апробації дисертаційна робота В.М. Романіва «Удосконалення оптичного методу оцінювання енергетичних параметрів природного газу» задовільняє вимогам п. 9, 11 – 14 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, затвердженого постановою КМУ від 24.07.2013 № 567 (зі змінами), діючим на сьогодні пунктам Наказів Міністерства освіти і науки, молоді і спорту України «Про опублікування результатів дисертації на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата науки» від 17.10.2012 №112 і від 03.12.2013 №1380, а її автор Романів Василь Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент

Віце-президент

Академії метрології України,

Заслужений діяч науки і техніки України

д-р техн. наук, ст. наук. співр.



В.Б. Большаков