

67-72-79/2  
29.04.2021

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Середюка О.Є.  
на дисертаційну роботу

**Масняка Олега Ярославовича**

**«Вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу»**,  
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю

05. 11. 01 – прилади та методи вимірювання механічних величин

### **Актуальність теми дисертації.**

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 альтернативних видів палива. В цьому аспекті потребують розроблення і впровадження нові достатньої точності і прості за конструкцією засоби витратовимірювальної техніки у сфері обліку супутнього нафтового газу, який донедавна не обліковувався та спалювався на факелах, що також мало негативний вплив на екологію місцевості та збільшувало викиди вуглекислого газу в атмосферу. Також в процесі застосування супутнього нафтового газу постає потреба його обліку в умовах хімічної та енергетичної галузях. З врахуванням того, що сучасні вітчизняні витратоміри і засоби обліку плинних середовищ переважно стосуються природного газу і практично реалізовані на декількох найбільш поширених методах вимірювання (метод змінного перепаду тиску, турбінні і ультразвукові витратоміри) удосконалення методів і засобів вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу є актуальною задачею, яка характеризує актуальність дисертаційної роботи і дозволяє підвищити точність та достовірність вимірювання витрати цього виду плинних середовищ у закритих каналах.

### **Структура та зміст дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний текст дисертації викладено на 158 сторінках, загальний обсяг дисертації становить 237 сторінок. Дисертаційна робота проілюстрована 25 рисунками, містить 28 таблиць, список використаних джерел складається із 96 найменувань на 10 сторінках та включає 6 додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, обґрунтовано вибір теми дослідження, відображено 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 витрати та кількості супутнього газу. Визначено відмінність

супутнього нафтового газу від природного газу, його цінність у застосуванні та потребу у розробленні засобу вимірювання витрати супутнього нафтового газу. Наведено посилання на літературні джерела, в яких описані методи та засоби вимірювання витрати плинних середовищ та сформовано основні критерії для побудови систем обліку супутнього нафтового газу, визначений напрямок наукових досліджень.

**У другому розділі** викладені дослідження теоретичних засад вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу, серед яких впливовими факторами є велика частка важких вуглеводнів у компонентному складі газових сумішей та великий вміст сірководню. Досліджено діапазони тиску та температури, за яких може виникати конденсат нафтового газу.

Проаналізовано методи вимірювання витрати плинних середовищ та обґрунтовано, що для побудови системи обліку супутнього нафтового газу доцільно застосувати метод змінного перепаду тиску з подальшим удосконаленням його математичної моделі та алгоритмів практичної реалізації. Встановлено, що для підвищення точності системи вимірювання витрати супутнього нафтового газу необхідно застосувати алгоритм побудови витратомірів змінного перепаду тиску оптимальних за точністю вимірювання витрати.

**Третій розділ** присвячений дослідженню методик визначення термодинамічних параметрів супутнього нафтового газу з врахуванням особливостей процесу вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу та його компонентного складу. Розглянуті теоретичні основи визначення коефіцієнта стисливості газу, його коефіцієнта динамічної в'язкості і показника адіабати. Розроблена методика визначення густини супутнього нафтового газу різних якісних складів в реальних діапазонах вимірювання, а також визначення за цих умов показника адіабати і коефіцієнта динамічної в'язкості. Досліджено вплив невизначеності показника адіабати на невизначеність вимірювання витрати за методом змінного перепаду тиску. Встановлено, що придатними для застосування для супутнього газу визначено дві методики: ГСССД МР 113-03 для вуглеводневих сумішей та AGA8-92DC для природного газу.

На основі їх аналізу, сформовано можливі границі компонентних складів, тиску та температури для їх застосування для супутнього нафтового газу. Встановлено, що методика ГСССД МР 113-03 найкраще підходить для розрахунку термодинамічних параметрів супутнього нафтового газу, але її складність, визначена ітераційними процесами алгоритму, для реалізації в обчислювачах не дозволяє застосувати її в системах обліку. Тому автором запропоновано альтернативна методика розрахунку термодинамічних параметрів супутнього нафтового газу, яка розроблена на основі сформованих 15 компонентних складах та із базовими значеннями густини, визначеними за методикою ГСССД МР 113-03.

Автором запропоновані поліноміальні залежності для розрахунку термодинамічних параметрів супутнього нафтового газу (густина, коефіцієнт стисливості, показник адіабати та коефіцієнт динамічної в'язкості), що визначаються шляхом їх апроксимації даних для конкретного компонентного

складу супутнього нафтового газу у визначених діапазонах тиску і температури, отриманих за допомогою методики ГСССД МР 113-03. Точність запропонованих залежностей визначається методичною похибкою ГСССД МР 113-03 та похибкою апроксимації відповідних термодинамічних параметрів. Суттєвою перевагою розроблених алгоритмів є їх простота реалізації у обчислювачах витрати та кількості супутнього нафтового газу.

**У четвертому розділі** сформовано концепцію побудови системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу на основі методу змінного перепаду тиску, яка базується на визначенні характеристик системи вимірювання для обмежених умов експлуатації, які стосуються компонентного складу, тиску та температури газу. На її основі удосконалено математичну модель витратоміра змінного перепаду тиску та алгоритм розрахунку витрати та кількості із введенням в них розроблених залежностей для визначення густини, показника адіабати, коефіцієнта динамічної в'язкості та рівняння для розрахунку коефіцієнта Джоуля-Томсона за наявності великих втрат тиску на звужувальному пристрої.

Розроблено структурну схему системи обліку супутнього нафтового газу на основі методу змінного перепаду тиску та запропоновано технічні засоби для її реалізації, визначено особливості їх застосування.

Для задач проектування, перевірки та виконання оцінки відповідності технічному регламенту систем вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу удосконалено систему автоматичного розрахунку та проектування витратоміра змінного перепаду тиску САПР «Расход-РУ» (версія 2.0), яка відповідає вимогам комплексу національних стандартів ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009.

**У п'ятому розділі** розроблено метрологічне забезпечення для запропонованої системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу, яке полягає у визначенні відносної розширеної невизначеності результату вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу на основі методу змінного перепаду тиску з врахуванням додаткової складової, яка виникає за рахунок зміни в часі компонентного складу супутнього нафтового газу.

У математичну модель визначення відносної розширеної невизначеності результату вимірювання витрати для методу змінного перепаду тиску автор вводить складові похибок розрахунку термодинамічних параметрів супутнього нафтового газу та додаткову складову, яка виникає за рахунок зміни в часі компонентного складу супутнього нафтового газу.

Наведені результати проведених експериментальних досліджень для підтвердження метрологічних характеристик систем вимірювання.

**У висновках** сформульовано основні результати виконаних досліджень.

**У додатках** наведені алгоритми розрахунку термодинамічних параметрів вологого нафтового газу за методикою ГСССД МР 113 – 03, тексти програм для розрахунку коефіцієнтів апроксимації рівняння для розрахунку густини супутнього нафтового газу, показника адіабати та коефіцієнта динамічної в'язкості, приклад і протоколи розрахунку параметрів витратоміра супутнього нафтового газу, а також документи, які підтверджують впровадження результатів дисертаційних досліджень.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи стосується розроблення системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу. Найвагомими науковими результатами дисертаційної роботи є наступні:

– вперше розроблено нові рівняння для визначення густини, показника адіабати та коефіцієнта динамічної в'язкості супутнього нафтового газу, що дає можливість реалізувати їх в обчислювачах системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу без застосування ітерацій в алгоритмах їх реалізацій;

– удосконалено математичну модель та алгоритми розрахунку витрати та кількості газу витратоміра супутнього нафтового газу на основі методу змінного перепаду тиску, що дозволило удосконалити систему автоматичного проектування та розрахунку витратомірів змінного перепаду тиску САПР "Расход-РУ" (версія 2.0) та розробити програмне забезпечення для обчислювача системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу;

– удосконалено математичну модель для розрахунку відносної стандартної невизначеності вимірювання об'ємної витрати супутнього нафтового газу на основі методу змінного перепаду тиску, що дає можливість розробити метрологічне забезпечення для системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу.

**Практичне значення отриманих в дисертації результатів** полягає в розробленні концепції побудови системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу на основі методу змінного перепаду тиску, яка базується на визначенні характеристик системи вимірювання для обмежених умов експлуатації, які стосуються компонентного складу, тиску та температури газу і розробленні програмної реалізації алгоритму розрахунку цієї системи на базі мікропроцесорних обчислювачів витрати.

Удосконалено систему автоматичного розрахунку та проектування витратомірів змінного перепаду тиску САПР «Расход-РУ» (версія 2.0), яка використовується для задач проектування, перевірки та виконання оцінки відповідності технічному регламенту систем вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу в наступних країнах: Україна, Казахстан, Азербайджан, Польща, Австрія, Молдова, Узбекистан, Естонія.

Одержані наукові результати впроваджені в практичну діяльність ДП «Укрметртестстандарт», ТзОВ «Техприлад», а також при експлуатації вузлів обліку газу в умовах ТОВ «ВКФ Скарб».

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

**Обґрунтованість** наукових положень дисертації забезпечується коректністю постановки і вирішення завдань дослідження, достатньо чітким формулюванням мети і вибором методів досліджень, використанням нормативно затверджених методик визначення термодинамічних параметрів вологого нафтового газу і природного газу, широко апробованих методів математичної

статистики, теорії похибок вимірювання і концепції невизначеності при вимірюваннях, а також результатами теоретичних і експериментальних досліджень.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач є логічними, не суперечать фундаментальних 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 результатів визначається їх теоретичним обґрунтуванням та підтвердженнями результатами досліджень. Адекватність математичної моделі системи вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу підтверджується атестацією в ДП «Укрметртестстандарт» удосконаленої системи автоматизованого розрахунку та проектування витратомірів змінного перепаду тиску САПР «Расход-РУ» (версія 2.0) та підтверджується свідоцтвом про атестацію споживчого програмного продукту № 39.0453.10 від 10.07.2010 р., а також впровадженням результатів досліджень в практичну діяльність ТзОВ «Техприлад» і ТОВ «ВКФ Скарб».

**Рекомендації щодо використання результатів роботи.** Розроблений автором вдосконалений метод і засіб вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу можуть бути використані у практичній діяльності підприємств, які займаються проектуванням і виготовленням витратомірів газу, а також у практичній діяльності підприємств, які здійснюють у своїй діяльності облік енергоносіїв, в тому числі альтернативних видів палива.

**Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях.** Результати наукових досліджень, які отримані автором, опубліковані у 25 наукових працях, в тому числі 4 статті у наукових фахових виданнях України (1 з них у науковому фаховому виданні України, що включено до наукометричної бази даних Index Copernicus International), 3 статті у закордонних наукових періодичних виданнях, серед яких США (видання включено до наукометричної бази даних Scopus), Казахстан та Російська Федерація, 1 патент на винахід, 1 публікація у іншому науковому виданні, 1 посібник користувача, науково-технічне редагування п'яти Національних стандартів України, 10 публікацій у збірниках доповідей міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій. 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 витрати та кількості супутнього нафтового газу. Оформлення дисертації в цілому відповідає темі досліджень і вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», щодо кандидатських дисертаційних робіт, затвердженого

Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 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», а також паспорту спеціальності 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

**Відповідність автореферату змісту дисертації.** Автореферат в загальному написаний відповідно до вимог МОН України до авторефератів, є ідентичним до основних положень дисертаційної роботи. Він містить всі необхідні складові структурної побудови і в ньому викладена основна суть виконаних наукових досліджень, а також наведені висновки та список основних публікацій. В цілому зміст автореферату дисертації адекватно відображає основну суть виконаної роботи.

### **Зауваження до дисертаційної роботи і автореферату.**

1. Недостатньо повний аналіз сучасного стану вимірювання витрати і об'єму супутнього нафтового газу, оскільки аналіз здійснений на базі літературних джерел 80-90-х років минулого століття (за винятком розгляду сучасного стану витратомірів змінного перетаду тиску).

2. В науковій новизні роботи (пункт 3) та в висновках (пункт 5) не розкрито суть удосконалення математичної моделі та алгоритму розрахунку витрати та кількості витратоміра супутнього нафтового газу.

3. Не розкрита в роботі методологія побудови алгоритму розрахунку параметрів витратоміра з мінімальною невизначеністю, адже можливе числове значення ще меншої невизначеності між точками 4 і 3 або між точками 3 і 2 (рисунок додатку Д на сторінці 220 дисертації або цей же рисунок 8 автореферату).

4. В роботі детально не розглянуто вимірювання витрати супутнього нафтового газу із вмістом вологи або води.

5. В формулах для розрахунку густини, коефіцієнта адіабати і коефіцієнта динамічної в'язкості не враховується вологість супутнього нафтового газу. Чи це так насправді?

6. В алгоритмі (розділ 4.2.2) не охарактеризовані відмінності, які реалізує програма «Расход-РУ» при розрахунку витрати супутнього нафтового газу.

7. Рекомендації до конструкції та мотажу витратомірного вузла (пункт 4.3.2) не відображають особливостей при вимірюванні витрати нафтового газу, а рисунок 4.4 є повторенням відомих схем без посилання на нормативні документи.

8. В розділі 5 роботи при розрахунку невизначеності за формулою (5.1) не враховується невизначеність від вмісту вологи в нафтовому газі.

9. Не конкретизована методика вибору коефіцієнтів  $\alpha_{ij}$  в рівняннях (3.35), (3.39), (3.40), а є тільки посилання щодо їх вибору згідно методики ГСССД МР 113 – 03. Таке викладення ускладнює розуміння правильності наведених рівнянь.

10. Чи враховувався в дисертаційних дослідженнях вплив вмісту сірководню у вологому нафтовому газі на його термодинамічні параметри і результати вимірювання витрати?

11. Похибка розрахунку показника адіабати і коефіцієнта динамічної в'язкості супутнього нафтового газу для газових сумішей з вмістом метану не менше 70% молярних і з вмістом метану менше 70% молярних, як це слідує з наведених в третьому розділі даних, є суттєво різною. Як ці складові похибок вписуються в значення допустимої відносної розширеної невизначеності результату вимірювання витрати супутнього нафтового газу для максимального значення витрати на рівні 2%? Адже похибка розрахунку коефіцієнта динамічної в'язкості може сягати 5%.

12. В таблиці 5.4 та на рисунку 5.1 значення  $U'_{q_{\text{доп}}}$  мають від'ємне значення, хоча у формулі (5.42), за якою вони визначаються є модуль, відповідно ці значення мають бути додатні.

13. В авторефераті не зрозумілим є знаменник формули (5) при розрахунку приведеної термодинамічної температури.

14. В авторефераті рисунок 6 є недостатньо інформативний з точки зору вимірювання витрати і кількості супутнього нафтового газу, бо відображає відому методологію вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску.

15. Дисертаційна робота містить ряд неточностей у її оформленні:

15.1. Термін «ідеологія» стосовно побудови системи вимірювання дещо невдалий, оскільки більш доцільним є застосування його в суспільних і соціологічних науках.

15.2. За текстом дисертації недостатньо посилань на публікації автора.

15.3. Помилково вказано, що для обліку природного газу випускаються турбінні лічильники типу ТУРГАС (на даний час це лічильники типу ЛГ-К), а виробником не є ВО «Геофізприлад», а Івано-Франківський завод «Промприлад».

15.4. На рисунках 3.1-3.5 позначення осей подані латиницею.

15.5. Завеликий об'єм подання практичного значення дисертаційної роботи (перелік на 6 пунктів).

### **Висновок про відповідність дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України**

Дисертаційна робота Масняка О. Я. «Вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в галузі вимірювання витрати та кількості плинних енергоносіїв, що в сукупності вирішують важливе науково-прикладне завдання забезпечення вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу.

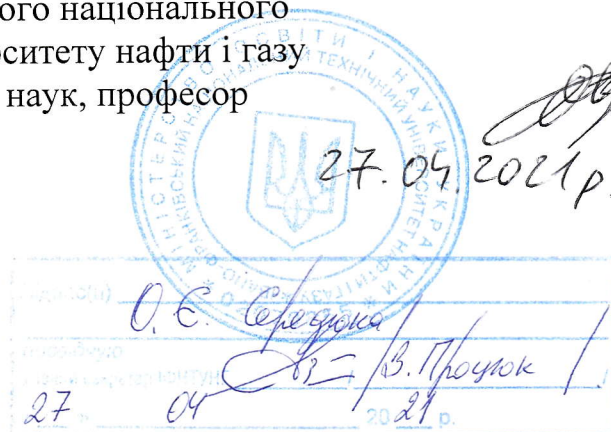
Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній завдання досліджень, викладені основні наукові результати дають можливість зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

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

На підставі проведеного аналізу дисертації, вважаю, що дисертаційна робота «Вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу» за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю отриманих в ній результатів досліджень і рівнем виконання відповідає вимогам МОН України, що ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, відповідає п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор Масняк Олег Ярославович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин.

**Офіційний опонент:**

Завідувача кафедри «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»  
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу  
доктор технічних наук, професор



О.Є. Середюк