

681.12
ПЗ0

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Петришин Наталія Ігорівна

~~УДК 658.4.681.122~~ X(043)

ПЗ0

**РОЗРОБЛЕННЯ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНИХ ЗАСАД СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ВИМІРЮВАННЯМИ ПІД ЧАС ОБЛІКУ ГАЗУ**

Спеціальність 05.01.02 – стандартизація, сертифікація
та метрологічне забезпечення

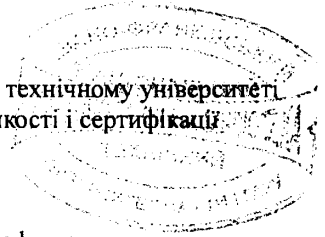
Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу на кафедрі „Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції”



Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Карпаш Олег Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу (м.Івано-Франківськ),
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Байцар Роман Іванович,
Національний університет „Львівська політехніка”
(м.Львів), професор кафедри метрології,
стандартизації та сертифікації

кандидат технічних наук, доцент
Паракуда Василь Васильович,
Державне підприємство Науково-дослідний
інститут метрології вимірювальних
і управляючих систем (м.Львів), перший
заступник директора з науково-технічної роботи

Захист відбудеться «25» лютого 2011 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.08 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м.Львів, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 головного корпусу.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: м.Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий « 24 » січня 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., проф.

Я.Т. Луцик



ГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стратегія досягнення енергетичної безпеки України побудована на ефективному використанні енергетичних ресурсів, скороченні їх споживання та зменшенні втрат, підвищенні точності і вірогідності їх обліку. У першу чергу це стосується такого енергоносія, як природний газ, через нестачу якого наша держава є імпортозалежною. Проблемаам підвищення точності, єдності та вірогідності вимірювань під час обліку природного газу присвячено наукові праці багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема І.С. Бродина, Є.П. Пістуна, О.Є. Середюка, І.С. Петришина, С.А. Чеховського (Україна), П.П. Кремльовського, А.А. Тупіченкова, М.А. Данілова (Росія), М. Ван дер Беєка (Нідерланди), Р. Крамера, Д. Допхайде (Німеччина), Г. Маттінглі, А. Джонсона (США) та інш. Незважаючи на значну наукову і практичну зацікавленість питаннями обліку природного газу, майже не проводились дослідження механізмів запобігання одержанню невірогідних результатів, що спричиняють значні дисбаланси газу. Системний підхід до вирішення цього питання потребує розроблення і створення результативної та ефективної системи управління вимірюваннями, яка повинна забезпечувати придатність вимірювального обладнання та процесів вимірювання для досягнення мети вірогідного обліку природного газу й управління ризиками одержання невірогідних результатів вимірювання. Оскільки одним із основних принципів управління якістю, згідно з міжнародними стандартами серії ISO 9000, задекларовано процесний підхід, актуальним завданням є дослідження процесу вимірювання об'єму газу (ПВОГ) на вузлах його обліку з метою діагностування перебігу процесу та своєчасного його коригування у випадку відхилення від оптимального перебігу. Таким чином, визначення ризиків одержання невірогідних результатів й управління ними є запорукою ефективності і результативності ПВОГ.

Оскільки процедури визначення ризиків і застосування коригувальних та запобіжних дій, пов'язаних з потенційними відмовами, є успішними ще до того, як відмови виникають (наприклад, технологія FMEA-аналізу: Failure modes and effects analysis – аналіз можливості виникнення дефектів та їх впливу на споживача), то актуальним завданням є постійне вдосконалення процесу з використанням ефективних методів, до яких, у першу чергу, належать статистичні методи. Найбільш дієвим методом аналізування причин потенційних ризиків одержання невірогідних результатів вимірювання та наслідків від них є причинно-наслідкові діаграми, застосування яких до операцій вимірювання на всіх стадіях життєвого циклу процесів вимірювання і метрологічного підтвердження придатності вимірювального обладнання (проектування, виробництва, експлуатації, інспектування) є передумовою ефективного впровадження та поліпшування системи управління вимірюваннями на вузлах обліку газу. Оскільки причин потенційних ризиків одержання невірогідних результатів вимірювання може бути нескінченна множина, потрібно розробити і впровадити системний підхід до безперервного

МБА

вдосконалення процесів вимірювання та метрологічного підтвердження, зосередивши свою увагу на ключових проблемах.

Таким чином, формування наукових, методичних та нормативних засад системи управління вимірюваннями на вузлах обліку природного газу є актуальним завданням, яке має важливе соціально-економічне значення для України і потребує якнайшвидшого вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких знайшли відображення в дисертаційній роботі, виконувались здобувачем відповідно до плану навчання в аспірантурі на кафедрі “Методи і прилади контролю якості та сертифікації продукції” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) та на Державному підприємстві “Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації” згідно з тематикою науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері метрології й еталонної бази за темами: “Державна програма розвитку еталонної бази на 2006-2010 роки” (ДРН 0106U006782), “Розроблення технічного регламенту щодо суттєвих вимог до лічильників газу” (ДРН 0107U005918), “Зберігання та відтворення одиниці вимірювання об'єму та об'ємної витрати державним еталоном” (ДРН 0107U005916). Автор був відповідальним виконавцем цих робіт.

Мета роботи полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання забезпечення єдності і вірогідності вимірювань на вузлах обліку природного газу шляхом створення методичних та нормативних засад управління вимірюваннями та ризиками одержання невірогідних результатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- провести аналіз технічної, методичної та нормативної основи ПВОГ і його метрологічного підтвердження;
- виявити потенційні джерела впливу на мінливість ПВОГ і побудувати причинно-наслідкову діаграму для визначення ризиків невірогідних результатів вимірювань;
- побудувати контрольні карти ПВОГ і процесу метрологічного підтвердження результатів вимірювання;
- дослідити якість і технічний рівень основного вимірювального обладнання, а також можливості виникнення дефектів на стадіях його проектування, виробництва й експлуатації;
- розробити і впровадити сучасні технології управління якістю процесів проектування, виробництва та експлуатації вимірювального обладнання;
- розробити та впровадити методичні і нормативні засади управління ризиками одержання невірогідних результатів вимірювання під час обліку газу.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання кількості природного газу під час його постачання споживачем.

Предметом дослідження є методична та нормативна база системи управління вимірюваннями кількості газу на вузлах його обліку.

Методи дослідження ПВОГ ґрунтуються на використанні математичної

статистики і теорії ймовірності, статистичного управління процесами, математичного моделювання, математичного та кореляційного аналізу. Експериментальні дослідження якості і технічного рівня вимірювального обладнання ґрунтуються на методах теорії планування та постановки експериментів, теорії обмежень, факторного експерименту, чисельного оброблення результатів експериментів із використанням ЕОМ. Для розроблення програмного забезпечення застосовано методи алгоритмізації та програмування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше теоретично обґрунтовано та впроваджено процесний і системний підходи в управлінні ризиками одержання невірогідних результатів вимірювання на вузлі обліку природного газу з використанням статистичних методів, що забезпечує необхідну вірогідність результатів вимірювань та їх точність під час постачання газу споживачам;

- вперше одержано математичні моделі похибок роторних і турбінних лічильників газу за зміни тиску, густини та об'ємної витрати із застосуванням теорії планування факторного експерименту, що дає можливість спрогнозувати їх поведінку в умовах реального газового середовища та вносити коригувальні дії під час управління результатами вимірювань;

- вперше побудовано “дереву поточної реальності” причинно-наслідкових ланцюгів небажаних дефектів і визначено ключові недоліки конструкції роторних лічильників газу із застосуванням теорії обмежень Голдратта, що дало суттєвий розвиток технології аналізу можливості виникнення дефектів та їх впливу на споживача на стадії проектування і виготовлення лічильників газу, підвищення їх якості та надійності в експлуатації;

- вперше розроблено методологію управління результатами вимірювання об'єму газу на вузлі обліку під час постачання газу споживачам на основі аналізування градуовальних характеристик лічильника газу, одержаних під час його метрологічного підтвердження на повітрі та шляхом математичного моделювання для реальних робочих умов вимірювання з використанням методів поліноміальної апроксимації і теорії планування факторного експерименту, що підвищує довіру до результатів вимірювання на вузлі обліку;

- удосконалено методику коригування міжповірочних інтервалів лічильників газу на базі одноступінчатого і двоступінчатого вибіркового статистичного контролю їх метрологічних характеристик в експлуатації, що зменшує ризики одержання невірогідних результатів вимірювання.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено і впроваджено у виробничу практику ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» методологію виявлення причин мінливості ПВОГ, пов'язаних з дефектами еталонного обладнання, що є сигналом для його метрологічного підтвердження.

2. Побудовано узагальнену причинно-наслідкову діаграму для визначення потенційних дефектів газової витратовимірювальної техніки в експлуатації, яка одержала широке застосування у виробництві лічильників газу (ВАТ «Промприлад», ТзОВ «ІВФ «Темпо») і може бути застосована іншими

підприємствами-виробниками.

3. Розроблено і впроваджено в практику нормативний документ “РМУ 023-2007. Інструкція. Метрологія. Лічильники газу. Методика оцінювання похибок вимірювання об'єму газу лічильниками газу”, застосування якого дає можливість визначити дисбаланси облікованих об'ємів газу, що виникають внаслідок використання лічильників різних типів і з різними метрологічними характеристиками у постачальників та споживачів.

4. Розроблено і впроваджено в практику нормативний документ “РМУ 032-2010. Рекомендації. Метрологія. Організація та проведення вибіркового статистичного контролю побутових лічильників газу в експлуатації”, застосування якого зменшує ризики одержання невірогідних результатів вимірювань об'єму газу в комунально-побутовій сфері.

5. Розроблено і впроваджено в практику програмне забезпечення метрологічного підтвердження вимірювань на вузлах обліку газу (“САПР КОРЕКТ”), що дає можливість зацікавленим сторонам здійснювати власне незалежне оцінювання похибки вимірювання у випадку виникнення спірних чи конфліктних ситуацій.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати роботи, що виносяться на захист, одержані автором самостійно і стосуються:

- теоретичного обґрунтування процесного та системного підходів до вимірювань на вузлах обліку природного газу з використанням статистичних методів і створення системи управління вимірюваннями з коригувальними та запобіжними заходами, направленими на її постійне поліпшення [3, 4, 6, 9, 14, 15, 19, 21];

- компонентного, структурного і функціонального аналізу лічильників газу та побудови на основі теорії обмежень Голдратта причинно-наслідкових ланцюгів небажаних основних і ключових дефектів конструкції роторних лічильників газу [7, 22, 24, 25];

- застосування теорії факторного експерименту для встановлення математичних моделей похибок лічильника газу [8].

У роботах, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, одержані здобувачем особисто, до яких належить: обґрунтування ідей побудови причинно-наслідкових діаграм для визначення потенційних дефектів лічильників газу в експлуатації [2], застосування контрольних карт Шухарта для аналізу стабільності ПВОГ та аналізу стабільності і відтворюваності одиниці вимірювання об'єму й об'ємної витрати газу державним еталоном [6, 9, 20], застосування FMEA-аналізу в процесі проектування та виробництва лічильників газу [1, 16, 17, 18], застосування вибіркового статистичного контролю та його планування для коригування міжповітряних інтервалів лічильників газу [10, 15, 23], формування пропозицій щодо конфігурації програмного забезпечення метрологічного підтвердження вимірювань [5, 11, 12].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри “Методи та прилади контролю якості та сертифікації продукції” ІФНТУНГ у

2004-2010р.р., IV Всеукраїнській науково-технічній конференції “Вимірювання витрати та кількості газу і нафтопродуктів” (м.Івано-Франківськ, 17-20 травня 2005р.), V Всеукраїнській науково-технічній конференції “Вимірювання витрати та кількості газу” (м.Івано-Франківськ, жовтень 2007р.), Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених “Техніка та прогресивні технології в нафтогазовій інженерії” (м.Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008р.), VI Всеукраїнській науково-технічній конференції “Вимірювання витрати та кількості газу” (м.Івано-Франківськ, 20-21 жовтня 2009р.), VII науково-практичній конференції «Організація неруйнівного контролю якості продукції в промисловості» (м.Кемер, Туреччина, 9-16 травня 2010р.), VI Міжнародній конференції “Стратегія якості в промисловості та науці” (м.Варна, Болгарія, 4-11 червня 2010р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 25 наукових працях, з яких 12 – статті у фахових наукових виданнях, затверджених ВАК України (в т.ч. 1 – одноосібна), 1 – патент на винахід, 2 - організаційно-методичні нормативні документи з метрології, 10 – тези доповідей у збірниках міжнародних та національних науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок основного тексту, 45 рисунків, 30 таблиць, 5 додатків на 67 сторінках. Список використаних джерел складається із 124 найменувань на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи. Обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету, завдання та методи досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами та планами, визначено наукову новизну, практичне значення та особистий внесок здобувача в одержаних результатах, наведено відомості про їх апробацію і впровадження.

У першому розділі здійснено аналіз сучасного стану вимірювання об'єму газу під час транспортування його до споживачів трубопроводами середнього та низького тиску. Встановлено, що найбільш поширено для цієї мети використовується метод, яким об'єм вимірюється лічильником газу за робочих умов і зводиться до стандартних умов за відомими формулами за допомогою коректора об'єму газу та, за необхідності, інших засобів вимірювальної техніки (тиску, температури, густини). Для цього створена та впроваджена необхідна нормативна основа, в т.ч. типова методика виконання вимірювань з використанням лічильника газу та коректора об'єму газу (МБУ 034/03-2008). Разом з тим, вірогідність вимірювання об'єму газу під час його обліку (ступінь довіри до результатів вимірювання) потребує суттєвого підвищення. Це, в першу чергу, зумовлено недостатнім технічним рівнем і надійністю лічильників газу у процесі експлуатації їх в умовах реального вимірювального та навколишнього середовищ, що суттєво впливають на метрологічні

характеристики лічильників. Так як метрологічне підтвердження лічильників газу традиційно проводиться на повітрі за нормальних умов, їх метрологічні характеристики (МХ) на природному газі за існуючого надлишкового тиску в газопроводах суттєво змінюються, що потребує внесення коригувальних дій в одержаний результат вимірювання. Також потребує подальших досліджень проблема підвищення якості і технічного рівня лічильників газу на стадіях їх життєвого циклу (проекткування, виготовлення, експлуатації) з метою зменшення ризиків споживачів від невірогідних вимірювань. Таким чином, є актуальним завдання впровадження системного підходу до управління ризиками того, що вимірювальне обладнання (лічильники газу), його метрологічне підтвердження та методи виконання вимірювань могли б давати невірогідні результати. Інструментом для вирішення цього завдання є впровадження новітніх технологій управління якістю в процесах проектування, виготовлення, експлуатації, метрологічного підтвердження лічильників газу з використанням статистичних методів. Оскільки одним із принципів управління, проголошених у міжнародних стандартах серії ISO 9000, є процесний підхід, пропонується розглядати процеси вимірювання і метрологічного підтвердження як особливі процеси, спрямовані на забезпечення якості та вірогідності вимірювальної інформації на вузлах обліку газу. Система управління ПВОГ може бути описана як система зі зворотнім зв'язком, інформативними параметрами якої є статистичні методи контролю мінливості метрологічних характеристик результатів вимірювання та джерел мінливості ПВОГ. Автором запропоновано модель такої системи, яку наведено на рис. 1.

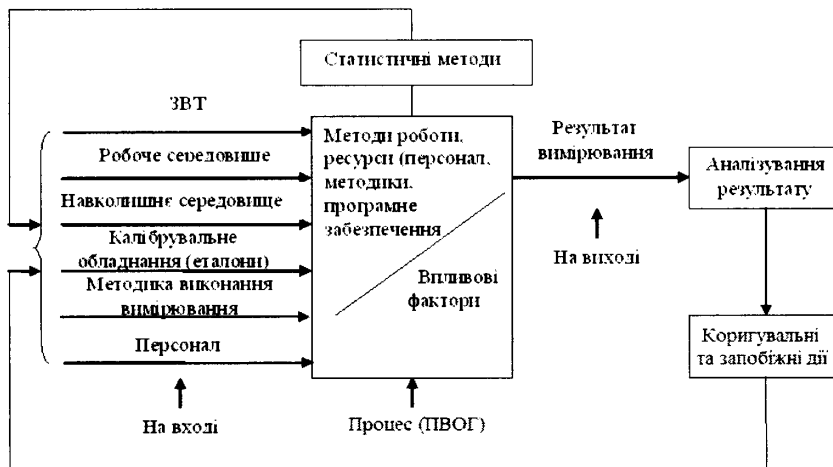


Рис. 1. Модель системи управління ПВОГ

Також на основі ДСТУ ISO 10012 розглянуто основні елементи системи управління вимірюваннями під час обліку газу та сформульовано загальні вимоги до них.

На підставі викладеного в розділі також сформовано основні завдання й обґрунтовано напрям дисертаційних досліджень.

У другому розділі викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень основних елементів системи управління вимірюваннями на вузлах обліку природного газу — процесів вимірювання та метрологічного підтвердження. Будь-який процес, у т.ч. вимірювальний, потребує постійного вдосконалення (поліпшення) з використанням ефективних методів, до яких, у першу чергу, відносяться статистичні методи. Найбільш універсальним та зручним методом є контрольні карти, які запропоновано використовувати як дієвий інструмент в управлінні процесами та їх вдосконаленні.

Якщо оцінювати результат вимірювання як вихід ПВОГ, то якісними характеристиками його будуть точність (похибка), відтворюваність, збіжність, правильність. Для вірогідного обліку газу, зменшення його втрат найбільш ефективною характеристикою є точність результатів вимірювання, зумовлена значенням результуючої похибки вимірювань $\pm 2,5\%$, регламентованим методикою виконання вимірювань. Тому метою системи управління ПВОГ є підтримання точності результатів вимірювання в заданих межах похибки та визначення того, наскільки близько або далеко результат від них знаходиться, з метою оптимізації похибок.

Для забезпечення досягнення вірогідних результатів вимірювань необхідно визначити ризики, пов'язані з потенційними відмовами вимірювального процесу, та застосувати коригувальні дії до того, як відмови виникають. Для дослідження потенційних джерел мінливості ПВОГ використано метод FMEA-аналізу і побудовано причинно-наслідкову діаграму (ПН-діаграму) ПВОГ, який проводиться згідно з типовою методикою виконання вимірювань МВУ 034/03-2008. На рис.2 зображено ПН-діаграму факторів, що можуть вплинути на якість результатів вимірювання об'єму газу та вірогідність його обліку.



Рис.2. ПН-діаграма факторів впливу на результат ПВОГ

Проведено аналіз ПВОГ з метою одержання висновку про прийнятність процесу, під яким будемо розуміти не тільки лічильник газу та інші ЗВТ (у тому числі еталони), але і сукупність параметрів навколишнього і робочого середовищ, оператора і відповідної методики виконання вимірювань. Враховано те, що перед дослідженням вимірювального процесу всі використовувані ЗВТ пройшли метрологічне підтвердження, в результаті якого були враховані складові похибок еталонів, а також той фактор, що вимірювання проводяться в автоматичному режимі та відсутня суб'єктивна похибка оператора.

Загалом мінливість будь-якого вимірювального процесу можна охарактеризувати такими статистичними характеристиками як зміщення, збіжність і відтворюваність результатів вимірювань. У роботі наведено та використано методику обчислень цих показників під час проведення досліджень процесу вимірювання об'єму газу на вузлі обліку ДП «Укргазтех» Установа підготовки газу (УПГ) «Славець» з використанням контрольних карт.

Також автором проведено дослідження мінливості ПВОГ, джерелами якої є суттєві зміни параметрів робочого середовища в трубопроводі, з використанням програмного забезпечення. Досліджувався вплив зміни тиску, температури та густини на результат вимірювання об'єму газу та його похибку за стандартних умов. За результатами аналізу одержаних даних побудовано характерні криві залежності похибок вимірювання об'єму газу та проаналізовано вплив на мінливість ПВОГ кожного з досліджуваних джерел параметрів робочого середовища.

З метою забезпечення простежуваності всіх результатів ПВОГ до еталонів в роботі наведено результати дослідження еталону одиниці об'єму і об'ємної витрати як джерела мінливості процесу. На основі ПН-діаграми встановлено, що найбільш вагомою причиною мінливості процесу метрологічного підтвердження (ПМП) є нестабільність МХ еталону. Дослідження ПМП на стабільність проведено із застосуванням контрольних карт середніх значень і розмахів. Багатократними повторними вимірюваннями впродовж декількох тижнів літньо-осіннього періоду року в різний час доби, коли атмосферні умови суттєво змінювались, еталоном відтворювались контрольні витрати (160 м³/год та 16 м³/год), на яких, на основі попередніх досліджень під час проведення метрологічної атестації, показник стабільності мав найбільший розмах. На базі одержаних даних побудовано контрольні карти середніх значень і розмахів (рис. 3 та 4), для яких верхні (BGC_x , BGP_R) та нижні (HGC_x , HGP_R) межі допустимих значень розраховано із наступних виразів:

$$BGC_x = \bar{X} + A_2 \bar{R}, \quad HGC_x = \bar{X} - A_2 \bar{R}, \quad (1)$$

$$BGP_R = D_4 \bar{R}, \quad HGP_R = D_3 \bar{R}, \quad (2)$$

де \bar{X} – середнє значення результатів, а \bar{R} – середнє значення розмахів результатів багатократних повторних вимірювань; A_2 , D_3 , D_4 – табличні значення констант для побудови контрольних карт середніх значень і розмахів, які залежать від кількості вимірювань.



Рис. 3. Контрольна карта середніх значень на витраті 16 м³/год



Рис. 4. Контрольна карта розмахів на витраті 16 м³/год

У третьому розділі проведено дослідження якості і технічного рівня лічильників газу як основного вимірювального обладнання та потенційного джерела мінливості ПВОГ. З цією метою на основі теорії планування експерименту ідентифіковано технічний рівень та якість лічильників газу з їх математичною моделлю. Для одержання математичної моделі, кількісною характеристикою якої є параметр оптимізації, розглянуто множину одиничних показників якості лічильників газу та вибрано найбільш важливий з них способом оцінки коефіцієнтів парної кореляції. Тобто, параметром оптимізації вибрано основну похибку лічильника газу за реальних умов експлуатації (тиск, температура, склад газу, густина тощо).

Встановлено, що суттєвою невідповідністю процесу вимірювання кількості газу на вузлах його обліку з використанням лічильників газу є недосконалість процедури їх метрологічного підтвердження, яка, як правило, проводиться на повітрі за атмосферного тиску, а не на реальному робочому

середовищі – природному газі з визначеними фізико-хімічними параметрами.

З метою встановлення математичних залежностей похибок вимірювання об'єму газу лічильниками газу під час роботи на повітрі та природному газі за різних тисків проведено серію досліджень на калібрувальній установці з еталонними лічильниками газу на природному газі. Дослідження проводились на лічильниках турбінного та роторного типів різних заводів-виробників.

На основі одержаних результатів експериментальних досліджень із застосуванням статистичних методів оброблення виміральної інформації та використовуючи методи поліноміальної апроксимації визначено апроксимаційні поліноми для встановлення відносних похибок лічильників газу турбінного і роторного типів за низького та середнього тисків.

За результатами апроксимації:

– відносна похибка турбінного лічильника за об'ємної витрати q_i під час роботи на природному газі за низького тиску (до 0,005 МПа) визначається за апроксимаційним поліномом:

$$\delta_{\text{ПТ-НТ}}(q_i/q_{\text{max}}) = \delta_{\text{ПОВ}}(q_i/q_{\text{max}}) - 2,41(q_i/q_{\text{max}})^2 + 4,7(q_i/q_{\text{max}}) - 2,53 + \frac{0,3}{(q_i, q_{\text{max}})} - \frac{0,016}{(q_i, q_{\text{max}})^2}, \quad (3)$$

де $\delta_{\text{ПОВ}}(q_i/q_{\text{max}})$ – похибка лічильника, визначена на повітрі за даного співвідношення q_i/q_{max} .

– відносна похибка турбінного лічильника за об'ємної витрати q під час роботи на природному газі за середнього тиску (від 0,005 до 0,3 МПа) визначається за апроксимаційним поліномом:

$$\delta_{\text{ПТ-СТ}}(q_i/q_{\text{max}}) = \delta_{\text{ПОВ}}(q_i/q_{\text{max}}) - 0,768(q_i/q_{\text{max}})^2 + 2,15(q_i/q_{\text{max}}) - 0,4 - \frac{0,167}{(q_i, q_{\text{max}})} + \frac{0,0108}{(q_i, q_{\text{max}})^2}, \quad (4)$$

– відносна похибка роторного лічильника за об'ємної витрати q_i під час роботи на природному газі за низького тиску (до 0,005 МПа) визначається за апроксимаційним поліномом:

$$\delta_{\text{РТ-НТ}}(q_i/q_{\text{max}}) = \delta_{\text{ПОВ}}(q_i/q_{\text{max}}) - 0,45(q_i/q_{\text{max}})^2 + 0,75(q_i/q_{\text{max}}) - 0,45, \quad (5)$$

– відносна похибка роторного лічильника за об'ємної витрати q під час роботи на природному газі за середнього тиску (від 0,005 до 0,3 МПа) визначається за апроксимаційним поліномом:

$$\delta_{\text{РТ-СТ}}(q_i/q_{\text{max}}) = \delta_{\text{ПОВ}}(q_i/q_{\text{max}}) - 0,05(q_i/q_{\text{max}})^2 - 0,05, \quad (6)$$

Результати тієї ж серії експериментальних досліджень на основі теорії планування факторного експерименту також були піддані аналізу з метою одержання математичних моделей похибок способом повного факторного експерименту. Впливовими факторами вибрані такі вимірювані змінні величини як густина ρ (для повітря $\rho_1=1,24$ кг/м³, для газу $\rho_2=0,78$ кг/м³), тиск P_i (в діапазоні від 100 кПа до 300 кПа для газу і повітря), витрата q_i (в діапазонах від 32 м³/год до 160 м³/год для роторних лічильників газу і від 40 м³/год до 250 м³/год для турбінних лічильників газу).

Одержано математичні моделі похибок лічильників газу під час їх роботи на реальному газовому середовищі, аналітичний вираз яких має вигляд:

- для роторного лічильника газу:

$$\delta I(q, P) = 0.664 - 5.093 \cdot 10^{-3} q + 7.5 \cdot 10^{-4} P + 7.813 \cdot 10^{-6} qP, \quad (7)$$

- для турбінного лічильника газу:

$$\delta I(q, P) = 0.381 - 1.695 \cdot 10^{-3} q - 2.425 \cdot 10^{-3} P + 1.933 \cdot 10^{-5} qP. \quad (8)$$

Графічна інтерпретація залежностей одержаної математичної моделі, яка зображена на рис.5, підтверджує високу ступінь адекватності отриманих математичних моделей похибок двома запропонованими способами в діапазонах зміни впливових факторів.

Результати апробації одержаних математичних моделей шляхом порівняння результатів експериментальних досліджень лічильників газу на природному газі і розрахункових даних показали, що відхилення розрахункової характеристики похибок від експериментально одержаних не перевищує $\pm 0,4\%$ у досліджуваному діапазоні вимірювань.

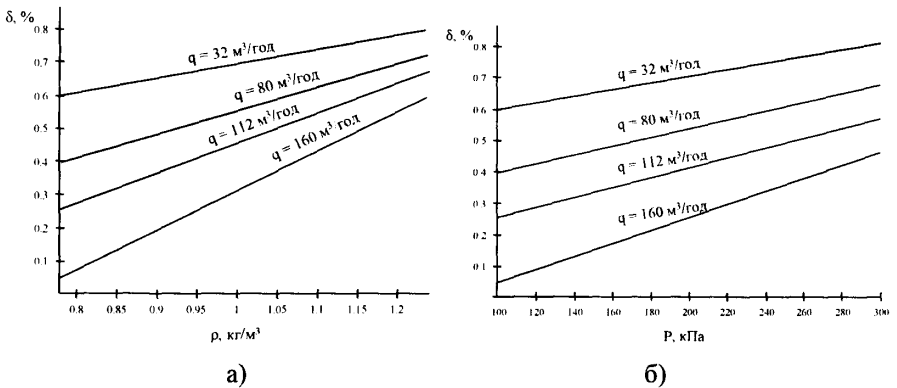


Рис. 5. Графічна інтерпретація математичної моделі похибки роторного лічильника газу типу ТЕМП-100 як залежність похибки від: а) витрати і густини; б) витрати і тиску

Четвертий розділ роботи присвячений розробленню та впровадженню сучасних технологій управління якістю щодо процесів проектування, виробництва та експлуатації вимірювального обладнання (лічильників газу).

У рамках впровадження FMEA-аналізу на стадії проектування та виробництва лічильників газу проаналізовано їх технічний стан з точки зору таких параметрів, як ефективність, метрологічна надійність і безпечність використання. З метою виявлення ключових недоліків лічильників запропоновано здійснити низку послідовних процедур, а саме компонентний, структурний та функціональний аналіз, і на їх основі побудувати причинно-наслідкові ланцюги небажаних ефектів. Аналіз проведено на базі роторного лічильника газу. Для побудови компонентної моделі розглянуто конструкцію лічильника як ієрархічну ланку з 3-х рівнів: елементи конструкції \rightarrow блоки конструкції \rightarrow конструкція. Для визначення ключових недоліків аналіз

проведено на рівні елементів конструкції. На базі аналізу безпосередньої взаємодії між елементами побудована структурна модель, яка відображає наявність або відсутність взаємодії (матриця взаємодії). Під час побудови функціональної моделі розглянуто усі функції елементів конструкції як головна, корисна, недостатня, небажана (шкідлива), проведено їх ранжування і визначення ступеня їх виконання як недостатня, адекватна та надлишкова. В подальшому всі недоліки (небажані (шкідливі), недостатньо корисні, надлишково-витратні) проаналізовано з точки зору причин та наслідків з метою виявлення ключових недоліків.

Переважно ключові недоліки є прихованими системними проблемами, які запропонованою методологією теорії обмежень Е.Голдратта доцільно розв'язувати за допомогою побудови “дерева поточної реальності” – причинно-наслідкової діаграми ланцюжка пов'язаних зв'язків між проявами дефектів та причинами, що лежать в їх основі.

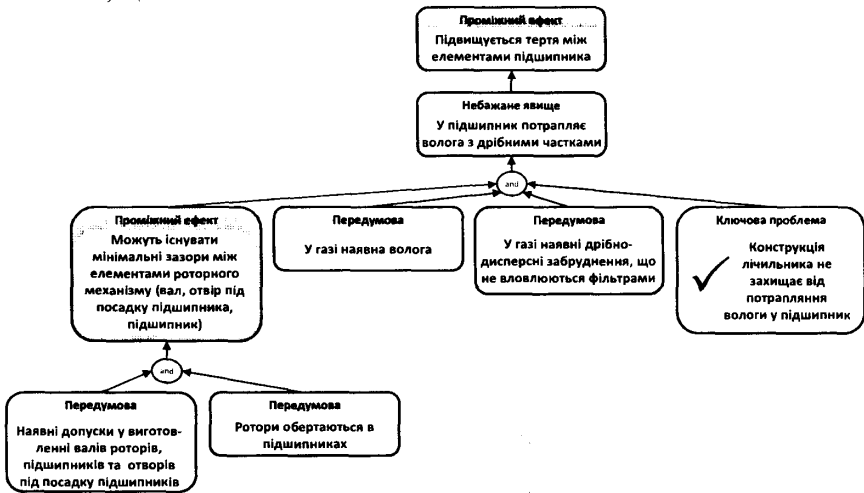


Рис. 6. Фрагмент «дерева поточної реальності»

Побудовано «дерево поточної реальності» для п'яти основних небажаних дефектів, які впливають на метрологічну надійність роторного лічильника газу, а саме: 1) заклинають підшипники; 2) зношуються синхронізуючі шестерні; 3) деформуються колеса відлікового механізму; 4) затирається магнітна муфта у місці її посадки; 5) витікає мастило з коробки синхронізатора в робочу зону. На їх основі виявлено ключовий недолік (відсутність захисту підшипника від потрапляння вологи) та запропоновано конструкторам виробника роторних лічильників газу (ТЗОВ «ІВФ «Темпо») усунути дану невідповідність. Фрагмент “дерева поточної реальності” щодо визначення ключового недоліку зображено на рисунку 6.

Також у даному розділі на основі аналізу чинників, які впливають на працездатність і метрологічну надійність лічильників в експлуатації,

розроблено їх узагальнену причинно-наслідкову діаграму. Запропонована діаграма може бути використана як основа для побудови окремих діаграм щодо конкретних дефектів лічильників газу в експлуатації з метою запровадження коригувальних і запобіжних дій виробниками лічильників.

П'ятий розділ присвячений розробленню методичних та нормативних засад управління ризиками одержання невірогідних результатів вимірювання під час обліку газу. Автором запропоновано низку коригувальних і запобіжних дій для усунення причин потенційних невідповідностей ПВОГ та ПМП як елементів системи управління вимірюваннями під час обліку газу.

Розроблено методику управління результатами вимірювання, зафіксованими вимірювальними пристроями різних типів лічильників газу з різними метрологічними характеристиками (РМУ 023-2007), впровадження якої суттєво зменшить втрати газу під час його обліку на вузлах із застосуванням лічильників газу. Вона базується на методах оцінювання похибок лічильників газу розрахунковим шляхом (перерахунком градуовальної характеристики лічильника газу за конкретних робочих умов вимірювання, використовуючи одержані математичні моделі (3)–(6)) або експериментальним шляхом (одержання градуовальної характеристики конкретного екземпляра лічильника газу за результатами його калібрування у робочих умовах).

На основі запропонованих методів розроблено і впроваджено алгоритм управління результатами вимірювання кількості природного газу на вузлах обліку під час його постачання споживачам.

Автором проведено дослідження на предмет автоматизації процесу визначення похибки вимірювання об'єму газу приведеного до стандартних умов. В результаті досліджень було розроблене програмне забезпечення “Система автоматизованого проектування та розрахунку метрологічних характеристик вузлів обліку природного газу” (“САПР КОРЕКТ”), яке дає можливість зацікавленим сторонам здійснювати власне незалежне оцінювання похибки вимірювання об'єму газу для вузлів обліку конкретних конфігурацій у разі виникнення спірних чи конфліктних ситуацій. Користувач має можливість оцінити зміну похибки вимірювання об'єму газу на вузлі обліку газу за зміни фізико-хімічних параметрів вимірюваного газу, метрологічних характеристик ЗВТ, умов проведення вимірювання тощо.

У процесі експлуатації лічильників газу внаслідок зношення, старіння елементів відбуваються зміни їх метрологічних характеристик. Неідентичність зміни метрологічних характеристик у різних типів лічильників різних виробників зумовлює необхідність коригування міжповірочного інтервалу для конкретних лічильників у бік його збільшення або зменшення.

У зв'язку з цим розроблено рекомендації «РМУ 032-2010. Метрологія. Організація та порядок проведення вибіркового статистичного контролю побутових лічильників газу в експлуатації», впровадження яких у метрологічну практику дасть можливість вирішити проблему міжповірочних інтервалів побутових лічильників газу і суттєво зменшить ризики від невірогідних вимірювань під час обліку газу в комунально-побутовій сфері.

Для контролю МХ та потенційних дефектів лічильників газу в експлуатації газозбутові організації все частіше почали впроваджувати контрольні лічильники газу і за порівнянням вимірених об'ємів робити висновок про придатність лічильника газу. Ця операція є досить складною та витратною з точки зору її реалізації. У дисертації розроблено і наведено запатентований спосіб діагностики лічильників газу в експлуатації, суттю якого є визначення впродовж експлуатації лічильника реальної характеристики втрат тиску на ньому (для цього в лічильниках або на трубопроводах передбачені отвори для під'єднання дифманометрів) і порівняння виміряного значення із номінальною характеристикою втрат тиску газу, одержаного під час його метрологічного підтвердження. За відхиленням від допустимих значень цієї характеристики оцінюють технічний і метрологічний стан лічильника, таким чином здійснюється безперервна його діагностика, що суттєво зменшує ризики одержання невірогідних результатів вимірювання та унеможливує його використання у випадку встановлених невідповідностей.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень стану вимірювань кількості природного газу розроблено та впроваджено в практику наукові та методологічні підходи, а також нормативні документи системи управління вимірюваннями на вузлах обліку природного газу під час його постачання споживачам. Таким чином, вирішено актуальне науково-технічне завдання, яке має важливе значення для забезпечення енергетичної безпеки України. При цьому одержано такі основні наукові та практичні результати:

- 1) На основі проведеного аналізу та досліджень розроблено модель системи управління процесом вимірювання під час обліку газу як системи зі зворотнім зв'язком, інформативними параметрами якої є статистичні методи, теоретично обґрунтовано та впроваджено процесний та системний підходи в управління ризиками одержання невірогідних результатів на вузлах обліку природного газу, що підвищує вірогідність вимірювань та забезпечує необхідну їх точність.
- 2) На основі проведених на вузлі обліку ДП «Укргазтех» Установки підготовки газу (УПГ) «Славець» досліджень побудовано причинно-наслідкову діаграму для визначення ризиків невірогідних вимірювань. Із застосуванням розробленого програмного забезпечення «САПР КОРЕКТ» досліджено вплив на процес вимірювання такого джерела мінливості як зміна параметрів робочого середовища (тиск, температура та густина газу) в межах заданих мінімальних та максимальних значень умов проведення вимірювань згідно методики виконання вимірювань на конкретному вузлі обліку газу. За результатами досліджень побудовано характерні криві похибок вимірювання для кожного з досліджуваних джерел мінливості та зроблено аналіз їх впливу на результат вимірювання.
- 3) В результаті проведених досліджень державного первинного еталону

одиниці об'єму та об'ємної витрати газу як джерела мінливості ПВОГ на основі контрольних карт середніх значень і розмахів встановлено нестабільність МХ еталону на конкретній відтворюваній витраті (16 м³/год). Після введення відповідних коригувальних заходів у процес метрологічного підтвердження зменшено похибку каналу вимірювання тиску під дзвоном (з 37,7 Па до 6,5 Па) та забезпечено простежуваність усіх результатів ПВОГ до еталонів.

- 4) На основі теорії планування факторного експерименту та з використанням методів поліноміальної апроксимації встановлено математичні залежності похибок вимірювання об'єму газу під час їх роботи на природному газі в трубопроводах низького і середнього тиску та одержаних у результаті ПМП на повітрі. Це дало можливість розробити та впровадити алгоритм управління (коригування) результатами вимірювання кількості природного газу, зафіксованими вимірювальними пристроями різних типів лічильників газу з різними МХ.
- 5) Із застосуванням теорії обмежень Голдратта розвинуто технологію FMEA-аналізу та побудовано «дерево поточної реальності» причинно-наслідкових ланцюгів небажаних дефектів конструкції роторних лічильників газу та визначено ключові недоліки, усунення яких на стадії проектування конструкції лічильників підвищить їх якість і надійність в експлуатації.
- 6) Запропоновано технічне рішення, направлене на вдосконалення способу діагностики лічильників газу в експлуатації шляхом визначення залежності втрат тиску газу в лічильнику від витрати і контроль відхилення цієї характеристики лічильника від номінальної, одержаної в результаті метрологічного підтвердження, що забезпечить безперервну діагностику технічних та метрологічних характеристик лічильників газу, дозволить зафіксувати відмову лічильника, встановити момент її виникнення і зробити висновок про придатність лічильника.
- 7) Розроблено та впроваджено в практику нормативні документи: «РМУ 023-2007 Інструкція. Метрологія. Лічильники газу. Методика оцінювання похибок вимірювання об'єму газу лічильниками газу», «РМУ 032-2010. Рекомендації. Метрологія. Організація та проведення вибіркового статистичного контролю побутових лічильників газу в експлуатації». Застосування даних НД дасть можливість ефективно впроваджувати коригувальні та запобіжні заходи системи управління вимірюваннями під час обліку газу та зменшить ризики невірогідних результатів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карпаш О.М. Шляхи впровадження сучасних технологій менеджменту якості при розробленні та виробництві витратовимірювальної техніки / О.М. Карпаш, І.С. Петришин, Н.І. Петришин // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – №16. – С. 65–69.
2. Петришин І.С. Узагальнена причинно-наслідкова діаграма Ісікави для

- визначення потенційних дефектів газової витратовимірювальної техніки / І.С. Петришин, Н.І. Петришин // Стандартизація Сертифікація Якість. – 2006. – №3. – С. 52–55.
3. Петришин Н.І. Управління результатами вимірювань кількості газу під час передавання його від постачальників до споживачів / Н.І. Петришин, Я.В. Безгачнюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – №2. – С. 115–119.
 4. Петришин І.С. Посилки на стандарти у законодавчих актах: європейська практика та українські реалії / І.С. Петришин, Д.М. Моgetич, Н.І. Петришин // Стандартизація Сертифікація Якість. – 2008. – №2. – С. 9–12.
 5. Петришин І.С. Програмне забезпечення атестації методики виконання вимірювання об'єму природного газу за стандартних умов / І.С. Петришин, Т.Т. Котурбаш, Н.І. Петришин // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №23. – С. 93–95.
 6. Петришин Н.І. Аналіз потенційних джерел мінливості процесу вимірювання об'єму газу / Н.І. Петришин, Т. Котурбаш // Метрологія та прилади. – 2010. – №4. – С. 22-25.
 7. Петришин Н.І. Застосування підходів теорії обмежень для підвищення якості та технічного рівня лічильників газу / Петришин Н.І. // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – №24 – С. 59-64.
 8. Петришин Н.І. Планування факторного експерименту досліджень засобів обліку природного газу в умовах реального середовища / Н.І. Петришин, Т.І. Присяжнюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2010. – №2. – С. 125-130.
 9. Петришин І.С. Дослідження стабільності процесу відтворення одиниці об'ємної витрати газу державним еталоном / І.С. Петришин, Д.О. Середюк, Н.І. Петришин // Український метрологічний журнал. - 2010. - №1. - С. 46-49.
 10. Петришин І. Організація та порядок проведення вибіркового статистичного контролю побутових лічильників газу в експлуатації / Петришин І., Петришин Н., Джочко П., Безгачнюк Я. // Стандартизація Сертифікація Якість. – 2010. – №1. – С. 38–41.
 11. Петришин І.С. Програмне забезпечення процесу метрологічного підтвердження вимірювання об'єму природного газу на вузлах обліку / І.С. Петришин, Т.Т. Котурбаш, Н.І. Петришин // Нафтова і газова промисловість. – 2010. – №1. – С. 57–59.
 12. Петришин І.С. Автоматизація процесу атестації методики виконання вимірювання об'єму природного газу за стандартних умов / І.С.Петришин, Т.Т.Котурбаш, Н.І.Петришин // Метрологія та прилади. -2010.-№1.- С.53-56.
 13. Патент 84908 Україна, МПК (2006), G01F25/00. Спосіб діагностування лічильників газу в експлуатації / Петришин І.С., Кузь М.В., Петришин Н.І., Безгачнюк Я.В.; заявник та патентовласник Держ. підпр. Івано-Франківський рег. наук.-вир. центр стандартизації, метрології та сертифікації. – №а200609753; заявл. 11.09.2006; опубл. 10.12.2008; Бюл. №23.
 14. Методика оцінювання похибок вимірювання об'єму газу лічильниками

- газу: РМУ 023-2007 / Петришин І.С., Топчій В.М., Безгачнюк Я.В., Петришин Н.І. - Офіц.вид. - К.:Нафтогазбудінформатика, 2007. -18с. (Організаційно-методичний нормативний документ з метрології. Інструкція).
15. Організація та порядок проведення вибіркового статистичного контролю побутових лічильників газу в експлуатації : РМУ 032-2010 / Петришин І.С., Петришин Н.І., Джочко П.Я., Безгачнюк Я.В. – Офіц. вид. – К: Держспоживстандарт України, 2010. – 10 с. – (Організаційно-методичний нормативний документ з метрології. Рекомендації).
 16. Карпаш О.М. Шляхи впровадження сучасних технологій менеджменту якості при розробленні та виробництві витратовиміральної техніки / Карпаш О.М., Петришин Н.І. // Вимірювання витрати та кількості газу: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 17-20 травня 2005 р. – Івано-Франківськ; Матеріали конференції, 2005. – С. 42.
 17. Середюк Д.О. Застосування комплексного показника якості для оцінки технічного рівня лічильників газу / Середюк Д.О., Петришин Н.І. // Вимірювання витрати та кількості газу: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 17-20 травня 2005 р. – Івано-Франківськ; Матеріали конференції, 2005. – С. 60.
 18. Петришин Н.І. Методика визначення ризиків споживача витратовиміральної техніки / Петришин Н.І. // Вимірювання витрати та кількості газу: V Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 23-25 жовтня 2007 р. – Івано-Франківськ; Збірник тез доповідей, 2007. – С. 35.
 19. Петришин Н.І. Управління результатами вимірювань кількості газу при передачі його від постачальників до споживачів / Петришин Н.І. // Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії: Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених. Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р. – Івано-Франківськ; Анотації, 2008. – С. 59.
 20. Петришин І.С. Дослідження стабільності процесу відтворення одиниці об'єму при калібруванні засобів вимірювання об'єму газу / Петришин І.С., Середюк Д.О., Петришин Н.І. // Вимірювання витрати та кількості газу: VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 20-21 жовтня 2009 р. – Івано-Франківськ; Збірник тез доповідей, 2009. – С. 52.
 21. Петришин Н.І. Аналіз потенційних джерел мінливості процесу вимірювання об'єму газу / Петришин Н.І. // Вимірювання витрати та кількості газу: VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 20-21 жовтня 2009 р. – Івано-Франківськ; Збірник тез доповідей, 2009. – С. 55.
 22. Петришин Н.І. Компонентний, структурний, функціональний аналіз лічильника газу та побудова причинно-наслідкових діаграм небажаних ключових ефектів / Петришин Н.І. // Вимірювання витрати та кількості газу: VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 20-21 жовтня 2009 р. – Івано-Франківськ; Збірник тез доповідей, 2009. – С. 77.
 23. Петришин І.С. Організація та порядок проведення вибіркового статистичного контролю побутових лічильників газу в експлуатації / Петришин І.С., Петришин Н.І., Джочко П.Я., Безгачнюк Я.В. // Вимірювання

- витрати та кількості газу: VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. Івано-Франківськ, 20-21 жовтня 2009 р. – Івано-Франківськ; Збірник тез доповідей, 2009. – С. 78.
24. Карпаш О.М. Застосування елементів теорії обмежень для контролю якості лічильників газу / Карпаш О.М., Петришин Н.І., Моgetич Д.М. // VII науково-практична конференція «Організація неруйнівного контролю якості продукції в промисловості», м.Кемер, Туреччина, 9-16 травня 2010р. – Збірник тез доповідей, 2010 – С. 38-40.
25. Петришин Н.І. Застосування підходів теорії обмежень у процесі аналізу та розробки конструкції роторного лічильника газу / Петришин Н.І., Моgetич Д.М. // VI Міжнародна конференція “Стратегія якості в промисловості та освіті”, м.Варна, Болгарія, 4-11 червня 2010р. – Дніпропетровськ, Варна; Матеріали конференції в 4-х томах, 2010 – Т. I (2). – с. 325-329.

АНОТАЦІЯ

Петришин Н.І. Розроблення нормативно-методичних засад системи управління вимірюваннями під час обліку газу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня на кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 - стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. - Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, 2010.

Дисертація присвячена питанню розроблення і впровадження в практику наукових та методологічних підходів, а також нормативних документів системи управління вимірюваннями на вузлах обліку газу під час його постачання споживачам. Теоретично обґрунтовано і впроваджено процесний та системний підхід в управлінні ризиками одержання невірогідних результатів на стадіях проектування й експлуатації вимірювального обладнання. Розроблено модель системи управління процесом вимірювання об’єму газу, інформативними параметрами якої є статистичні методи контролю метрологічних характеристик результатів вимірювання. За допомогою причинно-наслідкової діаграми визначено ризики, пов’язані з потенційними відмовами процесу вимірювання з метою застосування запобіжних та коригувальних дій до того, як виникають відмови. Досліджено та обґрунтовано мінливість процесу вимірювання, джерелом якої є зміна параметрів робочого середовища та нестабільність еталонів під час передачі одиниці вимірювання. Встановлено математичні залежності похибок вимірювання лічильників газу в результаті їх метрологічного підтвердження на повітрі та реальному газовому середовищі. Із застосуванням теорії обмежень Голдратта розвинуто технологію FMEA-аналізу та побудовано причинно-наслідкові ланцюги небажаних дефектів конструкції роторних лічильників газу, усунення яких на стадії проектування конструкції лічильників підвищить їх якість та надійність. Розроблено і впроваджено в практику два нормативні документи для ефективного застосування коригувальних та запобіжних заходів в системі управління вимірюваннями під час обліку газу.

Ключові слова: природний газ, системи управління вимірюваннями,

процес вимірювання, контрольна карта, причинно-наслідкова діаграма, теорія обмежень Голдратта, FMEA-аналіз.

АННОТАЦИЯ

Петришин Н.И. Разработка нормативно-методических основ системы управления измерениями при учете газа. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. - Национальный институт "Львовская политехника", г.Львов, 2010.

Диссертация посвящена вопросу разработки и внедрения научных и методологических подходов, а также нормативных документов системы управления измерениями на узлах учета газа при передаче его от поставщика к потребителям. На основании анализа состояния измерений на узлах учета газа теоретически обосновано и внедрено процессный и системный подходы в управление рисками получения недостоверных результатов измерений на стадиях проектирования и эксплуатации измерительного оборудования, что существенно повышает достоверность измерений и обеспечивает их необходимую точность. Разработана модель системы управления процессом измерения объема газа как системы с обратной связью, информативными параметрами которой являются статистические методы контроля изменчивости характеристик качества результатов измерения. С использованием причинно-следственных диаграмм определены риски, связанные с потенциальными отказами измерительного процесса с целью использования предупредительных и корректирующих действий до момента наступления отказов. Проведены исследования изменчивости процесса измерений, источником которой является изменение параметров рабочей среды, построены характерные кривые влияния погрешностей измерений от изменения давления, температуры и плотности газа в трубопроводе. С целью обеспечения прослеживаемости результатов измерений исследовано влияние нестабильности эталона передачи единицы измерения как источника изменчивости измерительного процесса с использованием контрольных карт средних значений и размахов. С использованием теории планирования факторного эксперимента проведены исследования метрологических характеристик счетчиков газа в условиях реальной рабочей среды и определены математические зависимости погрешностей измерений объема газа в трубопроводах среднего и низкого давления при работе их на природном газе и полученных в результате метрологического подтверждения на воздухе. Это дало возможность разработать и внедрить алгоритм управления результатами измерений количества природного газа, зафиксированными измерительными устройствами различных типов счетчиков с различными метрологическими характеристиками. В развитие технологии FMEA-анализа на основании теории ограничений Голдратта построено «дерево текущей реальности» причинно-следственных цепей нежелательных дефектов конструкции роторных счетчиков газа. Установлены ключевые недостатки конструкции счетчиков газа, предупрежде-

ние которых на стадии их проектирования существенно повысит их качество и надежность в эксплуатации. Разработана обобщенная причинно-следственная диаграмма конкретных дефектов счетчиков газа в эксплуатации с целью принятия предупредительных и корректирующих действий производителями счетчиков газа. В работе также предложен новый способ диагностики счетчиков газа в эксплуатации, информативным параметром которого есть потеря давления в счетчике газа, а также разработано и внедрено программное обеспечение процесса метрологического подтверждения измерения объема газа для узлов учета различных конфигураций.

Разработано и внедрено в практику два нормативных документа, использование которых позволяет эффективно осуществлять корректирующие и предупредительные мероприятия системы управления измерениями при учете газа и существенно уменьшать риски недостоверных результатов измерений.

Ключевые слова: природный газ, системы управления измерениями, процесс измерения, контрольная карта, причинно-следственная диаграмма, теория ограничений Голдратта, FMEA-анализ.

ABSTRACTS

Petryshyn N.I. Development of regulatory and methodological principles of measurements of gas management. – Manuscript.

Thesis for the degree of Ph.D. in the specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrology. - National University "Lviv Polytechnic", Lviv, 2010.

Dissertation is devoted to the development and implementation in practice of scientific and methodological approaches, and legal documents of management system of measurements at the metering centers in the transmission of gas from its suppliers to consumers. The procedural and systematic approach to manage risk of getting unauthentic results on the stage of design and operation of measuring equipment is theoretically justified and applied. The model of process control system of measuring the volume is created with statistical methods for quality control of measurement results as informative parameters of this system. Using cause and effect diagram are identified risks associated with potential failures of process measurement to use preventive and corrective actions before a failure occur. Here is invested and justified the process measurement variability, which is the source of changing the work environment and instability of standards in the transmission unit. Here are established mathematical dependences of gas measurement errors by their metrological validation in the air environment. Is developed technology of FMEA-analysis by adopting the Goldratt's theory of constraints and are constructed cause and effect chains of undesirable defects of the rotary gas meters construction, eliminating of which at the stage of designing of the meters raise the quality and reliability of that meters. Are developed and put into practice two regulations for the effective implementation of corrective and preventive actions of measurements of gas management system.

Key words: natural gas, control measurements, process measurement, control card, a cause and effect diagram, Goldratt's theory of constraints, FMEA-analysis.