

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 389.14

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ СКРАПЛЕНИХ НАФТОВИХ ГАЗІВ У РЕЗЕРВУАРАХ

І. Б. Демків

Національний університет „Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013,
тел. (0322)72-77-61

Розглянуті основи методу вимірювання маси скраплених нафтових газів при виконанні комерційних операцій. Проаналізовані особливості застосування для цілей цього методу імпульсної рефлектометрії. Досліджена математична модель запропонованих для застосування при обліку скраплених газів поліметричних інформаційно-вимірювальних систем. Здійснена оцінка похибки вимірювання при функціонуванні таких систем. Сформульовані способи підвищення точності вимірювання маси скраплених нафтових газів шляхом розробки відповідних програм з визначення поліномів функціональної залежності відносних похибок від конкретного аргументу на визначеній ділянці діапазону вимірювання для оцінки поточних значень характеристик похибок.

Ключові слова: скраплений нафтовий газ, маса, резервуар, поліметрична інформаційно-вимірювальна система, похибка, рефлектометрія.

Рассмотрены основы метода измерения массы сжиженных нефтяных газов при выполнении коммерческих операций. Проанализированы особенности применения для целей этого метода импульсной рефлектометрии. Исследована математическая модель предложенных для применения при учете сжиженных газов полиметрических информационно-измерительных систем. Произведена оценка погрешности измерения при функционировании таких систем. Сформулированы способы повышения точности измерения массы сжиженных нефтяных газов путем разработки соответствующих программ по определению полиномов функциональной зависимости относительных погрешностей от конкретного аргумента на определенном участке диапазона измерения для оценки текущих значений характеристик погрешностей.

Ключевые слова: сжиженный нефтяной газ, масса, резервуар, полиметрических информационно-измерительная система, погрешность, рефлектометрия.

The basic aspects of the method of measuring the mass of liquefied petroleum gases in the performance of commercial operations. The features of the application for the purposes of this method of pulse reflectometry. Investigated mathematical model proposed for use in accounting for liquefied gases polymetric information-measuring systems. Evaluation has been made of measurement error in the operation of such systems. Formulate ways to improve the accuracy of measuring the mass of liquefied petroleum gas by developing appropriate programs to determine the polynomial functional dependence of the relative errors of a particular argument on a particular section of the measurement range to measure the current values of errors.

Keywords: liquefied petroleum gas, bulk, container, polymetric information measuring system error reflectometry.

З метою запобігання зменшення фінансових затрат, як альтернативу звичайному природному газу рекомендовано для потреб підприємств застосовувати охолоджені вуглеводневі рідин (ОВР), а саме: скраплені природні гази (СПГ) та скраплені нафтові гази (СНГ), далі продукт.

Одним із основних завдань при вирішенні

цього питання є удосконалення методів та засобів вимірювань та підвищення точності вимірювання маси скраплених нафтових газів для оперативного контролю кількісних (об'ємно – масових) і якісних (фізико – хімічних) характеристик ОВР при виконанні основних комерційних операцій: транспортування, збері-

гання та відпуску [1, 2].

Вирішення цієї науково – технічної задачі лежить в площині застосування принципово нових комп'ютеризованих вимірювальних інформаційних систем, в яких, наприклад, застосовується метод імпульсної рефлектометрії [2, 3], який враховує функціональні залежності електрофізичних параметрів продукту і в основі якого лежать непрямі методи вимірювання (НВ).

НВ застосовують для обліково – розрахункових операцій при здійсненні товарних операцій наповнення та відпуску СНГ. Цей вид вимірювання дозволяє визначити масу СНГ в даний момент часу при відомих його відповідних параметрах (температура, густина) та впливових величин.

До проблем нормування похибки непрямих вимірювань відноситься та особливість, що одне і те саме значення результату непрямого вимірювання може бути одержане при найрізноманітніших співвідношеннях значень безпосередньо вимірювальних фізичних величин (параметрів), через які визначають масу продукту.

Метою роботи є вдосконалення методу імпульсної рефлектометрії і дослідження похибок, які мають місце при його застосування для умов обліку маси скраплених нафтових газів.

Схема імпульсних рефлектометричних вимірювань приведена на рис. 1. Генератор зонduючих імпульсів ГЗІ виробляє короткий імпульс, який поступає в досліджуваний об'єкт Пр і одночасно на вхід приймача. Взаємодія зонduючого імпульсу з внутрішніми неоднорідностями об'єкту приводить до появи відображених імпульсів, що також поступають на вхід приймача. При цьому відображені імпульси розподілені в часі. По отриманій рефлектограмі можна визначити структуру і характеристики об'єкту.

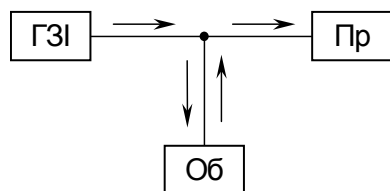


Рисунок 1 - Схема імпульсних рефлектометричних вимірювань

Залежно від типу зонduючого імпульсу можна виділити три напрямки в імпульсній рефлектометрії: відеоімпульсна рефлектометрія,

радіоімпульсна рефлектометрія і рефлектометрія оптичного діапазону.

Відеоімпульсна рефлектометрія (як зонduючий імпульс використовується відеоімпульс, перепад напруги та суперпозиція перепаду напруги і відеоімпульсу) застосовується при роботі в широкій смузі частот, розташованої поблизу нульової частоти. Радіоімпульсна рефлектометрія (як зонduючий імпульс використовується радіоімпульс) застосовується для дослідження об'єктів в кінцевій смузі частот для заданої центральної частоти.

Рефлектометрія оптичного діапазону (як зонduючий імпульс використовується імпульс світлового випромінювання) застосовуються для дослідження пристроїв оптичного діапазону, наприклад, волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Для контролю розділу середовищ використовується відеоімпульсна рефлектометрія. У відеоімпульсній рефлектометрії використовується три види зонduючих імпульсів: відеоімпульс (рис. 2, а), перепад напруги (рис. 2, б) і суперпозиція (накладення) перепаду напруги і відеоімпульсу (рис. 2, в).

Більшість існуючих способів формування зонduючих імпульсів (рис. 2), базується на використанні сучасних швидкодіючих напівпровідникових перемикаючих елементів – тунельних діодів, лавинних транзисторів, діодів з накопиченням заряду тощо, в яких швидкість перемикачання визначається внутрішніми процесами в елементі.

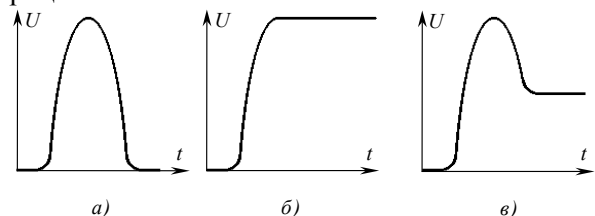


Рисунок 2 – Види зонduючих імпульсів

Метод імпульсної рефлектометрії, стосовно задачі контролю розділу середовищ, реалізується таким чином. В чутливий елемент, що є двопровідною лінією з повітряним заповненням, посилається зонduючий імпульс, який розповсюджується із швидкістю:

$$\vartheta = c / \sqrt{\varepsilon}, \quad (1)$$

де ϑ – швидкість поширення зонduючого імпульсу в повітрі; c – швидкість електромагнітної хвилі у вакуумі; ε – діелектрична проникність середовища, яким заповнений простір між провідниками

чутливого елемента.

Знаменник формули (1) є коефіцієнтом укорочення електромагнітної хвилі:

$$\gamma = \sqrt{\epsilon}. \quad (2)$$

Коефіцієнт укорочення γ показує, в скільки разів швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі в лінії з діелектричною проникністю заповнення ϵ є меншого у порівнянні з лінією з повітряним заповненням.

Зонduючий імпульс відбивається від неоднорідностей хвильового опору чутливого елемента з таким коефіцієнтом відбивання:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}, \quad (3)$$

де ϵ_1 , ϵ_2 – діелектрична проникність першого і другого середовища, відповідно.

Приклад монтажу чутливого елемента в резервуарі представлений на рис. 3. Неоднорідності хвильового опору виникають внаслідок заповнення контрольованим середовищем (середовищами) простору між провідниками чутливого елемента (ЧЕ) на межах розділу незмішуваних середовищ. Кінець елемента (замкнений або розімкнений) також є неоднорідністю хвильового опору. Рефлектограма, яка отримана в результаті зондування чутливого елемента, дозволяє по затримках відбитих імпульсів відносно зонduючого імпульсу визначити значення рівня і положення межі розділу середовищ.

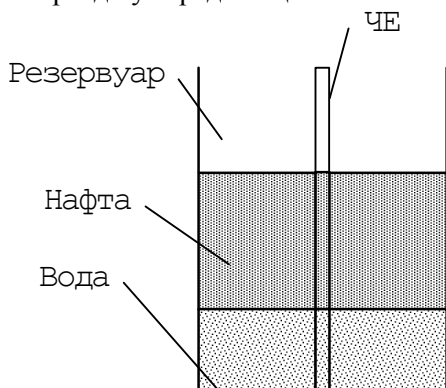


Рисунок 3 – Приклад установки чутливого елемента в резервуарі

В загальному випадку відстань від генератора зонduючих імпульсів до неоднорідності хвильового опору пропорційна часу затримки відбитого імпульсу відносно зонduючого імпульсу [2]:

$$l = 0,549 \cdot t_3, \quad (4)$$

де t_3 – час затримки відбитого імпульсу відносно зонduючого імпульсу.

Коефіцієнт 0,5 враховує подвійний шлях пройдений імпульсом. Кількість відбитих імпульсів (за винятком імпульсу, відбитого від кінця) визначається кількістю меж розділу середовищ з різними діелектричними властивостями.

Формула (4) може застосовуватися для визначення рівня середовища. Для визначення положення межі розділу середовищ необхідно враховувати відмінність в швидкостях проходження імпульсів в чутливому елементі на ділянках, що мають різне заповнення.

Приклад рефлектограми, одержаної зондуванням відеоімпульсом за наявності в резервуарі двох незмішуваних середовищ (нафта і вода), приведений на рис. 4.

Зонduючий імпульс 1, що поступає в чутливий елемент, є точкою відліку затримок відбитих імпульсів. Імпульс 2, відбитий від неоднорідності на межі розділу повітря-нафта, затриманий відносно зонduючого імпульсу 1 на деякий час t_n . Значення t_n визначається відстанню від генератора зонduючих імпульсів до рівня нафти. Імпульс 3, відбитий від неоднорідності на межі розділу нафта-вода, затриманий відносно зонduючого імпульсу 1 на деякий час t_g . Вимірювання часу t_g дозволяє визначити положення межі розділу нафта-вода. Імпульс 4, затриманий відносно зонduючого імпульсу 1 на деякий час t_k , є імпульсом, відбитим від замкнутого кінця чутливого елемента.

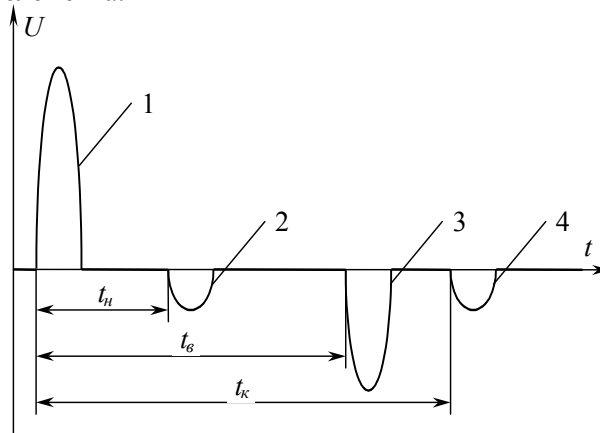


Рисунок 4 – Рефлектограма, отримана для резервуару, заповненого нафтою та водою

При застосованні об'ємно – масового статичного методу для вимірювань маси СНГ в резервуарах визначають об'єм і густину СНГ при відповідних значеннях температури, а її масу розраховують як добуток цих величин. Об'єм СНГ в резервуарах визначають за допомогою градувальних таблиць резервуарів за значенням рівня наповнення, який вимірюється за допомогою вимірювальних каналів (ВК) поліметричних систем (ПС). Густина СНГ вимірюють за допомогою відповідного ВК з врахуванням поточних значень температури. Отже вимірювання маси СНГ здійснюється непрямым методом вимірювання (НВ), який в загальному вигляді реалізується за формулою

$$m = f(H, \bar{T}, \rho, \psi), \quad (5)$$

де H – значення рівня наповнення резервуару; $\bar{T}$ – середня температура; ρ – густина СНГ; ψ – значення ВВ.

Для оперативної комплексної оцінки як маси продукту, так і відповідних характеристик пропонується застосовувати новий вид інформаційно вимірювальних систем, а саме поліметричні системи (ПС), які реалізують метод імпульсної рефлектометрії. Теоретичні і технічні засади цього методу розроблені в [6]. Цей метод дозволяє здійснювати оперативне вимірювання маси продукту та відповідних поточних значень параметрів, пов'язаних з визначенням маси продукту.

Зазначимо, що в ПС є тільки один первинний вимірювальний перетворювач, який одночасно вимірює рівень, густину, температуру, а їх на підставі, шляхом відповідних алгоритмів – масу продукту. Поліметричні вимірювання дозволяють на підставі поліметричного сигналу і його аналізу одночасно оцінити значення результату вимірювання маси продукту та його інтегральних характеристик. Поєднання операцій вимірювання як маси, так і її параметрів дозволяє отримати значний економічний ефект за рахунок зменшення кількості ВК. Поліметричні вимірювання в загальній теорії вимірювань характеризуються тим, що результатом вимірювального експерименту є не одне число, а їх упорядкована послідовність – вектор чисел.

Як приклад, розглянемо резервуар, наповнений СНГ, який заходиться під тиском у замкнутому просторі резервуара. Маса продукту, яка знаходиться у ньому, складається з трьох компонентів: рідкої фази (суміші пропану – бутану, зрідженої під тиском), парової фази і

шару так званої «підтоварної води». Для оперативного контролю маси зрідженого газу, а також його зберігання необхідно постійно вимірювати наступні параметри:

- тиск в резервуарі;
- рівень рідкої фази;
- рівень підтоварної води;
- температуру трьох середовищ і густину кожної складової.

В цьому випадку треба було би мати більше дев'яти первинних вимірювальних перетворювачів. В нашому випадку використовується лише один ВК.

В той же час при нормуванні значень маси та відповідних похибок СНГ, які визначаються за допомогою ВК ПС виникають суттєві труднощі, обумовлені тим, що процесор ПС реалізує вимірювання усіх аргументів функціональної залежності (1) і видає на засіб інформацію про розраховане значення маси СНГ. При цьому споживач інформації не може знати, при яких співвідношеннях аргументів $(H, \bar{T}, \rho, \psi)$ – (далі аргументи позначені через x_i) в даній ділянці діапазону вимірювання отриманий цей результат. Проблема полягає в тому, що одне і те ж саме значення результату непрямого вимірювання маси може бути отримане при різних співвідношеннях безпосередньо вимірюваних x_i .

Як буде показано нижче, при застосуванні ПС для вимірювання маси та відповідних ВК дуже важливим є правильне визначення алгоритму опрацювання результатів вимірювання та гарантійної оцінки поточного результату вимірювання. Для цих вимірювань пропонується використати математичну модель непрямого вимірювання, виходячи з рівняння (1), яку для простоти подамо в такому вигляді:

$$y = F[x_1 \dots x_j \dots x_m] = F[\mu_1 + \delta_{x1} \dots \mu_j + \delta_{xj} \dots \mu_m + \delta_{xm1}], \quad (6)$$

де x_j – результати прямих вимірювань відповідних аргументів, $j=1,2,\dots,m$; μ – дійсне значення результатів прямих вимірювань кожного аргументу; F – відома функція, яка використовується для отримання результату вимірювання, δ_{xj} – похибка результатів прямих вимірювань величин μ_j .

Вираз (6) можна подати у векторній формі таким чином:

$$y = F[\bar{x}] = F[\bar{\mu} + \bar{\delta}_x]. \quad (7)$$

Математичну модель похибки результатів непрямих вимірювань δy , виходячи з (7), запишемо у такому вигляді:

$$\delta y = F_l[\delta x_1, \dots, \delta x_j, \dots, \delta x_m] = y - \eta, \quad (8)$$

де η – дійсне значення результату непрямого вимірювання, рівне

$$\eta = F_l[\mu_1, \dots, \mu_j, \dots, \mu_m], \quad (9)$$

F_l – функція, яка використовується для одержання результату непрямого вимірювання.

Отже з виразу (8) випливає, що для ПС повинні нормуватись лише похибки ВК, які виконують прямі вимірювання x_j , а необхідні для розрахунку значення відповідних аргументів розраховуються за відомими формулами для моменту часу x_j та метрологічними характеристикам, які повинні зберігатися в пам'яті ПС. Тобто, для того, щоб кожний результат вимірювання маси СНГ був достовірний при заданій похибці в процесорі ПС, повинні бути введені дві програми для одночасного обрахування як самого результату вимірювання маси, так і її похибок.

З метою підвищення точності вимірювання маси СНГ, особливо в режимі виконання торговельних операцій, пропонується при розробленні відповідних програм опрацювання результатів прямих вимірювань та похибок аргументів функціональної залежності (6) прийняти до уваги, на якій ділянці діапазону вимірювання в реальних умовах одержують інформацію про результати прямих вимірювань відповідних аргументів, на підставі яких визначається маса СНГ та її похибки. Зокрема, ця ділянка, як правило, повинна складати не менше двох третин діапазону вимірювання конкретного аргументу даної функціональної залежності. В цьому випадку для кожного аргументу треба визначити відповідні поліноми функціональної залежності похибки, наприклад, першої степені у вигляді двочленної формули, від вимірювального параметру. Ці поліноми є вихідними формулами для розрахунку конкретних значень похибок в поточний момент часу при відповідній одночасній дії ВВ.

Поліноми визначають у такому порядку:

- визначають робочі ділянки ДВ для кожного аргументу функціональної залежності (6);

- виписують із відповідних нормативних документів або свідоцтв про державну метрологічну атестацію або перевірку відповідних значень зведених похибок;

- розраховують відповідні поліноми для

оцінки поточних значень відносних похибок, використовуючи відоме рівняння прямої, що проходить через дві точки на підставі відомих значень координат в нижній та верхній точка визначеної ділянки ДВ.

Викладене розглянемо на прикладі вимірювання маси СНГ за допомогою ПС, процесор якої реалізує математичну модель (6) об'ємно-масового статичного методу в режимі виконання торговельних операцій.

Відомі методики оцінок похибок, регламентовані в [4, 5] із-за специфіки формування та експлуатації ВК ПС не дозволяють коректно оцінити МХ ВК при одночасній зміні аргументів функції розрахунку маси СНГ та ВВ.

Аналіз [2, 3, 6, 7] показав, що найбільш доцільним методом встановлення МХ для ВК в робочих умовах є застосування теорії оптимального планування багатфакторного експерименту [8, 9], який дозволяє оцінити систематичні складові похибки і скоригувати поточні результати вимірювання і тим самим підвищити точність вимірювання.

При розробці плану оптимального експерименту треба застосувати інтерполяційний поліном, наприклад, такого виду:

$$\Delta c = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_i + \sum_{i=1}^N a_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} X_j + \dots, \quad \text{при } i \neq j, \quad (10)$$

де члени з добутком ВВ $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} X_j$

визначають ефекти взаємодії; a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} – коефіцієнти поліному, які визначаються в процесі досліджень за результатами визначення Δc при різних комбінаціях значень ВВ ($X_1, X_2, \dots, X_N$). Для реалізації оптимального експерименту треба скласти відповідну програму, яка повинна задовольняти критерію мінімуму дисперсії отриманої за виразом (9).

ВИСНОВКИ

При непрямих методах вимірювання маси СНГ однозначної функціональної залежності між одержаним результатом та його похибкою немає, тому подібне нормування при прямих вимірюваннях є неможливим. Для ПС, які реалізують вимірювання маси СНГ, треба нормувати лише похибки ВК, які виконують прямі вимірювання. Для коректної оцінки

результату вимірювання треба використовувати дві програми для одночасного визначення як самого результату непрямого методу вимірювання, так і його похибки.

Підвищення точності результату вимірювання маси СНГ досягається шляхом розробки відповідних програм з визначення поліномів функціональної залежності відносних похибок від конкретного аргументу на визначеній ділянці діапазону вимірювання для оцінки поточних значень характеристик похибок.

З метою оцінки одночасної зміни аргументів функції вимірювання маси треба застосувати план оптимального експерименту, використовуючи інтерполяційний поліном.

1. ГОСТ 26976–86 Нефть и нефтепродукты. Методы измерения массы.
2. Гордеев Б.Н. Оперативный контроль количественных и качественных характеристик углеводородных топлив. Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, – г. Николаев. Наукові праці. Випуск 64, том 77. 3. Жуков Ю., Гордеев Б., Колпак Б., Наталюк М. Метрологічні проблеми поліметричних систем в управлінні енерговикористанням// Тр. 2-й Міжнарод. конф. по управленню использованием энергии. – Львов: ДУ "Львівська політехніка". – 1997. – С. 466–469. 4. РД 50–453–84 ГСИ. Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях

эксплуатации. Методы расчета. 5. МИ 2083–90 Рекомендация. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценка их погрешностей. 6. Колпак Б., Жуков Ю., Гордеев Б., та інші. Способи підвищення точності обліку та витрат охолоджених вуглеводневих рідин та скраплених нафтових газів – Збірник матеріалів 3-ї Міжнародної науково –практичної конференції "Проблеми економії енергії" – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 2001. – С.212–214. 7. Б.Д.Колпак., М.Ф.Наталюк, С.О.Андрусак, Б.М.Гордеев, І.Б.Демків. Проблеми єдності вимірювань при комерційному обліку маси енергоносіїв та способи її забезпечення. Наукові праці 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія–2004)". Видавництво Національний науковий центр „Інститут метрології”, 2004. Том 2. С.161–169. 8. Налимов В.В. Теория экспериментов, Наука, 1971, 223 с. 9. Эльясберг П.С. „Измерительная информация: сколько ее нужно! Как ее обработать М. Наука, 1983.

Поступила в редакцію 20.04.2012 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Середюк О.Є.