

АНАЛІЗ МЕТОДИКИ КОРЕКЦІЇ ПОКАЗІВ ХВИЛЬОВІДНИХ РІВНЕМІРІВ ДЛЯ СКРАПЛЕНОГО ВУГЛЕВОДНЕВОГО ГАЗУ

Зівенко Олексій Васильович, канд. техн. наук, доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

Україна, Миколаїв

ORCID 0000-0002-1539-8360

Анотація. Проведено аналіз алгоритму корекції показів хвильовідних радарних рівнемірів при вимірюванні кількості скраплених вуглеводневих газів. Отримана залежність абсолютного значення похибки оцінки відстані до межі розділу фаз (пар-рідина) від похибки оцінки густини парової фази пропан-бутанової суміші. Отримані теоретичні результати можуть бути впроваджені в практику вимірювання та повинні бути перевірені на історичних даних вимірювань за довгостроковий період спостережень.

Ключові слова: поліметричні системи; хвильовідні рівнеміри; скраплений вуглеводневий газ; корекція показів рівнемірів.

Вступна частина. Під час роботи із хвильовідними рівнемірами може виникати додаткова похибка внаслідок зміни діелектричної проникності парової фази контрольованого продукту. У роботах [1-4] досліджені причини виникнення додаткових похибок, розглянуто основні методи їх зменшення. Широке розповсюдження поліметричних систем та зокрема хвильовідних рівнемірів, як одного із джерел поліметричних сигналів, їх використання при роботі із складними для вимірювання сумішами (наприклад, скрапленими під тиском газами), зумовлюють високу **актуальність** задачі підвищення точності вимірювань параметрів, що характеризують кількість та якість підконтрольних продуктів. Основною **метою роботи**, результати якої наведено нижче, є аналіз стійкості алгоритму корекції, що наведено у роботі [4], а саме – аналіз методу корекції щодо впливу похибок вхідних даних на результати корекції та дослідження коректності застосування такого алгоритму у існуючих системах обліку скраплених вуглеводневих газів.

Основна частина. Для впровадження та практичної реалізації корекції результатів вимірювання хвильовідних рівнемірів (або корекції функції перетворення) необхідно дослідити стійкість алгоритму корекції до похибок у вхідних даних, дослідити наскільки чутливим є алгоритм до таких похибок. Дослідження дозволить оцінити достовірність даних корекції та зможе дати інформацію для формування критеріїв прийнятності (доцільності застосування результатів роботи алгоритму на практиці).

Як вказано у [4], корекція показів може бути проведена двома шляхами: 1) з безпосереднім використанням даних про густину парової фази СВГ (у випадку прямого вимірювання чи розрахунку); 2) з використанням розрахункового методу визначення густини парової фази СВГ на основі даних про склад рідкої фази. У другому випадку розрахунок виконується на основі наступних даних: показів рівнеміра; даних про густину рідкої фази, рівень і температуру СВГ та тиску у резервуарі. Обробка даних, отриманих у результаті експериментальних вимірювань під час експлуатації рівнемірів, узагальнення довідкових даних дозволили отримати вираз (1), що зв'язує діелектричну проникність парової фази пропан-бутанової суміші ϵ_n та її густину ρ_n :

$$\epsilon_n = 1 + 0.00109747 \cdot \rho_n. \quad (1)$$

При наявності похибки вимірювання/розрахунку густини парової фази $\Delta\rho_n$, похибка непрямого визначення діелектричної проникності парової фази СВГ $\Delta\epsilon_n$ буде мати характер та значення, наведені на рис. 1.

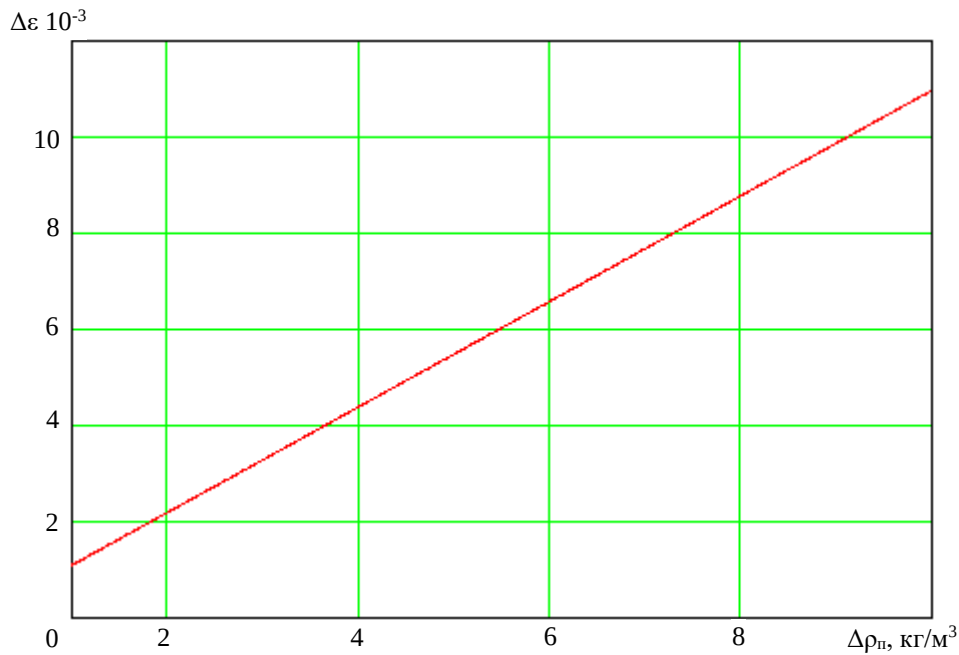


Рис. 1 – Залежність похибки визначення діелектричної проникності парової фази СВГ від похибки вимірювання її густини

Похибка визначення густини парової фази залежить від засобів вимірювання що використовуються. Так, якщо похибка визначення густини парової фази СВГ складає $\Delta \rho_n = \pm 10 \text{ кг/м}^3$, це може привести до появи додаткової похибки у діелектричній проникності, яка становитиме $\Delta \varepsilon_n = \pm 0,011$.

Отримані вирази та чисельні оцінки дозволяють провести моделювання похибки визначення рівня та дослідити стійкість алгоритму корекції до похибок вхідних даних. Так, у відповідності до моделі вимірювання відстані до межі поділу середовищ:

$$L = \frac{c \cdot t_3}{2\sqrt{\varepsilon}}, \quad (2)$$

де L – відстань від генератора-приймача імпульсів до межі поділу середовищ, t_3 – часова затримка між моментами випромінення зондуючого імпульсу та прийняттям імпульсу, що відбився від межі поділу середовищ та досягнув приймача, ε – діелектрична проникність середовища розповсюдження, c – швидкість світла.

Оскільки калібрування рівнеміра виконується у нормальних умовах, діелектрична проникність повітря при цьому становить $\varepsilon_{\text{air}} = 1,00058986$. При використанні рівнеміра у паровій фазі продукту діелектрична проникність може суттєво відрізнятися від вказаного значення, зокрема значення діелектричної проникності парової фази СВГ відрізняється від діелектричної проникності повітря при калібруванні $\varepsilon_{\text{air}} \neq \varepsilon_{\text{lpgv}}$. Це зумовлює різницю у часі розповсюдження імпульсу вздовж хвильоводу при сталій величині відстані L , яку долає електромагнітна хвиля:

$$t_{\text{lpgv}} = \frac{2L}{c} \sqrt{\varepsilon_{\text{lpgv}}}. \quad (3)$$

Використовуючи вирази (2), (3) та приймаючи, що початкове градуювання рівнеміра виконується у нормальних умовах, тобто $\varepsilon = \varepsilon_{\text{air}}$, отримуємо вираз для показів рівнеміра при наявності парової фази СВГ:

$$L_{\text{lpgv}} = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_{\text{air}}}} \frac{2L}{c} \sqrt{\varepsilon_{\text{lpgv}}} = L \frac{\sqrt{\varepsilon_{\text{lpgv}}}}{\sqrt{\varepsilon_{\text{air}}}}. \quad (4)$$

Вираз (4) ілюструє мультиплікативний характер додаткової похибки, що виникає внаслідок наявності різниці між значеннями діелектричної проникності середовища під час

градування та під час вимірювання в умовах наявності парової фази та змін її властивостей від факторів впливу.

Різниця показів, що отримана у результаті порівняння результатів роботи пристрою в паровій фазі СВГ і в повітрі при нормальних умовах $\Delta L_{air-lpgv}$ може бути представлена у вигляді:

$$\Delta L_{air-lpgv} = L(1 - \frac{\sqrt{\epsilon_{lpgv}}}{\sqrt{\epsilon_{air}}}). \quad (5)$$

Застосовуючи (4) та (5), можна отримати вираз для значення додаткової похибки через виміряне значення рівня L_{lpgv} :

$$\Delta L_{air-lpgv} = L_{lpgv} (\frac{\sqrt{\epsilon_{air}}}{\sqrt{\epsilon_{lpgv}}} - 1). \quad (6)$$

Вираз для скоригованого результату вимірювання відстані (рівня) має вигляд:

$$L_k = L_{lpgv} + \underbrace{L_{lpgv} (\frac{\sqrt{\epsilon_{air}}}{\sqrt{\epsilon_{lpgv}}} - 1)}_{\text{корекція}}. \quad (7)$$

Для ілюстрації величини похибки, зумовленої відхиленням діелектричної проникності СВГ від діелектричної проникності повітря, використано наступні припущення. У горизонтальному сталевому резервуарі зберігання знаходиться чистий пропан, чистий бутан, пропан-бутанова суміш 50/50 (мас.). Базова висота резервуару складає 3316 мм, максимальна місткість – 196.1 м³. Рівні заповнення за об'ємом – 10, 50 і 85%, що відповідає рівням заповнення резервуару від дна – 522.25 мм, 1674.86 мм і 2652.07 мм відповідно; середня температура СВГ в діапазоні -30 .. + 30 ° С. Результати розрахунку зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку значення поправок до вимірювання рівня та похибок їх обчислення, зумовлених похибкою визначення густини парової фази

Поправка до результату вимірювання рівня та межа похибки її обчислення	Рівень заповнення резервуару, %		
	10	50	85
Пропан, $T_n = -30$ °С, $P = 0.165$ МПа, $\rho_n = 4.235 \pm 1$ кг/м ³			
$\Delta L_{air-lpgv}$, мм	-6.47± 1.522	-3.8± 0.894	-1.537±0.362
Пропан, $T_n = 0$ °С, $P = 0.466$ МПа, $\rho_n = 10.679 \pm 1$ кг/м ³			
$\Delta L_{air-lpgv}$, мм	-16.229±1.506	-9.533± 0.885	-3.857±0.358
Пропан, $T_n = 30$ °С, $P = 1.085$ МПа, $\rho_n = 22.371 \pm 1$ кг/м ³			
$\Delta L_{air-lpgv}$, мм	-33.676±1.478	-19.783±0.868	-8.003±0.351

Числові оцінки корекції і невизначеності її оцінки можуть бути отримані з виразу (6) спільно з припущеннями про стан середовища розповсюдження електромагнітних хвиль. Так, на рис. 2 показано графік, що демонструє залежність значення корекції в залежності від значення густини парової фази СВГ.

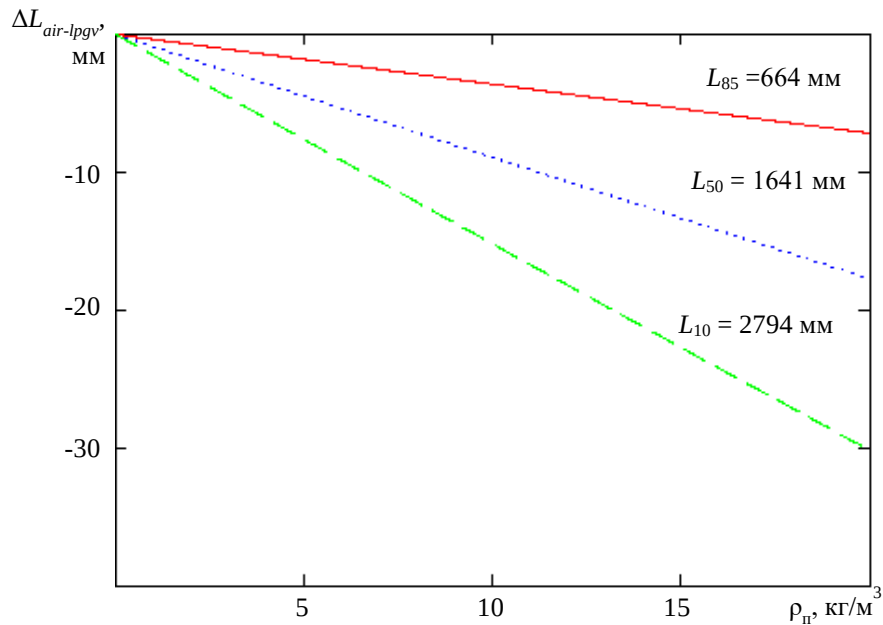


Рис. 2 – Залежність величини внесеної корекції від густини парової фази для вказаних рівнів заповнення (чистий пропан, $T_{парі} = -30$ °C)

Приклад залежності похибки визначення корекції $DL_{air-lpgv}$ внаслідок похибки задання густини парової фази $\Delta\rho_{п}$ наведено на рис. 3.

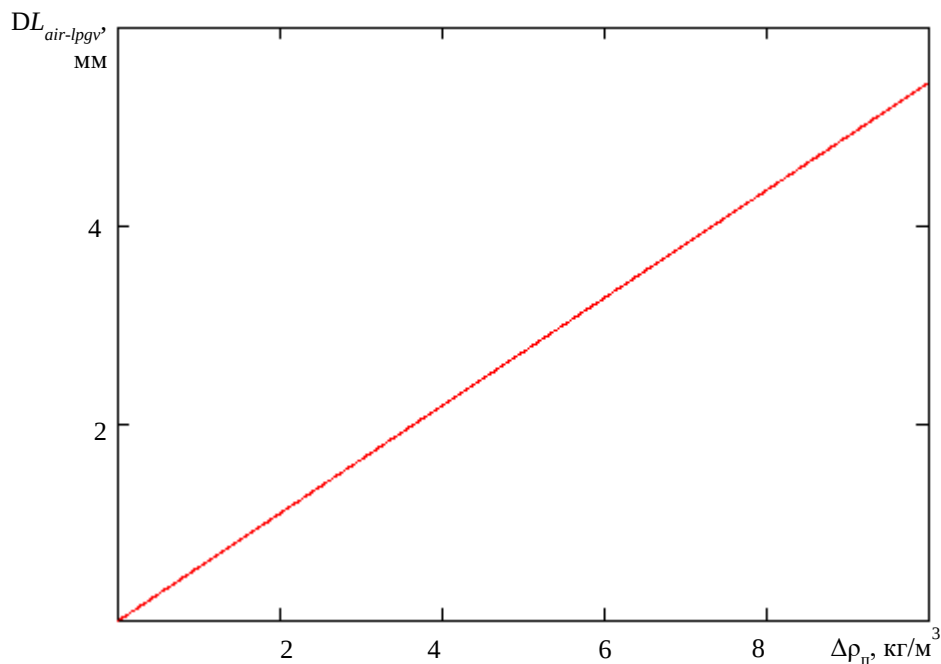


Рис. 3 – Залежність величини похибки обчислення корекції від похибки задання густини парової фази для відстані 1000 мм до межі поділу середовищ (чистий пропан, $T_{парі} = -30$ °C)

Дані рис. 2 та 3 можуть використовуватися для побудови критеріїв прийнятності введення корекції. Наприклад, шляхом встановлення граничного порогу співвідношення похибки задання густини парової фази до значення, що задається.

Висновки . Проаналізовано методику корекції показів рівнемірів з позиції стійкості до похибок вхідних даних. Отримано чисельні значення невизначеності, які обчислюються при корекції показів рівнеміра – визначені залежності поправок від вхідних даних. За отриманими розрахунковими даними видно, що результат обчислення корекції істотно залежить від

похибки значення густини парової фази ЗВГ. Отримані чисельні оцінки дозволяють судити про доцільність застосування корекції.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

- [1] Чегринец, В. Н. (2013). Коррекция функции преобразования при измерении уровня с помощью полиметрической информационной системы. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2, 33–38.
- [2] Жуков, Ю.Д. и др. (2012). *Полиметрические системы: теория и практика : монография*. Николаев, Украина: Атолл.
- [3] Emerson Rosemount (2019). Technical Note: Using Guided Wave Radar for Level in High Pressure Steam Applications. Retrieved from <https://www.emerson.com/documents/automation/technical-note-using-guided-wave-radar-for-level-in-high-pressure-steam-applications-rosemount-en-76264.pdf>.
- [4] Жуков Ю.Д., Зивенко А.В., Гудыма Е.А., Раева А.Н. (2019). Методика коррекции показаний волноводных уровнемеров для сжиженного углеводородного газа. «Судостроение и морская инфраструктура», №2(12), 27-34.
[https://doi.org/10.15589/smi2019.2\(12\).3](https://doi.org/10.15589/smi2019.2(12).3)

Zivenko Oleksii

Analysis of the correction technique for guided wave radar LPG level sensors

Annotation: The results of the analysis of the correction technique for guided wave radar level sensors used for LPG control are presented. The equation which connects measurement error of distance to the surface of a level and LPG vapor phase density error as input is obtained. Obtained theoretical results can be implemented and should be verified on a long period of time historical measurements data.

Keywords: polymeric systems; guided wave level sensors; liquefied petroleum gas; level sensors correction.