

Експериментальні дослідження ультразвукового методу вимірювання густини нафтопродуктів

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано ультразвуковий метод вимірювання густини нафтопродуктів, розроблено його математичну модель, наведено результати розрахунків максимальної частоти ультразвукових хвиль у ближній зоні та результати експериментальних досліджень для різних видів нафтопродуктів.

Ключові слова: ближня зона, ультразвуковий вимірювач густини.

Abstract

Offered an ultrasonic method of measuring the density of petroleum products, developed its mathematical model, presented the results of calculations of the maximum frequency ultrasonic waves in the near field and experimental results for different types of petroleum products.

Keywords: near zone, ultrasonic meter of density.

За різними оцінками від 30 до 70 % паливно-мастильних матеріалів на ринку продажу України є неякісними, в результаті використання яких передчасно виходять з ладу вузли тертя, двигуни та агрегати, що, в свою чергу, призводить до значних ремонтних та експлуатаційних витрат. Дану проблему можна вирішити на основі створення нових методів і приладів для визначення якості нафтопродуктів. Нафтопродукти — продукти, одержані внаслідок переробки нафти на нафтопереробних заводах, одним із основних показників яких є густина. За густиною можна судити про вид та склад нафтопродуктів. Правильне визначення їх густини дає можливість обліку загальної і погодинної витрати, а також можливість вірного налагоджування паливної апаратури [1].

Існує велика кількість різних методів та засобів визначення густини нафтопродуктів. В нафтохімічній галузі для товарного обліку при транспортуванні і зберіганні нафти і нафтопродуктів отримали широке застосування ультразвукові методи вимірювання густини [2]. Але більшість з них мають певні недоліки, основними з яких є низька точність за рахунок неоднорідності об'єкту контролю та неточності у реєстрації положення початку імпульсного сигналу, залежність чутливості від розмірів об'єкту тощо.

Тому, є актуальним питання вдосконалення ультразвукового методу вимірювання густини нафтопродуктів та розробки засобу на його основі.

Ультразвуковий (акустичний) метод визначення густини нафтопродуктів базується на тому, що звукові коливання високої частоти (20 кГц і вище), які створюються електроакустичним перетворювачем (випромінювачем), проходять через середовище й реєструються приймачем, який розташований від випромінювача на певній відстані [2].

Границя між ближньою і дальньою зонами визначається [1, 2]:

$$N = \frac{S}{(\pi/2) \cdot \lambda} = \frac{2a^2}{\lambda}, \quad (1)$$

де N — відстань уздовж осі x (збігається з акустичною віссю перетворювача), S — площа п'єзоелемента; a — радіус п'єзоелемента; λ — довжина ультразвукової хвилі.

Швидкість потоку імпульсів визначається за відомою формулою [3]:

$$v = \lambda f = \frac{Z}{\rho}, \quad (2)$$

де f — частота ультразвукової хвилі, Z — акустичний опір середовища, ρ — густина середовища.

Визначивши з формули (1) вираз для знаходження довжини хвилі і підставивши у формулу (2), отримано наступне співвідношення для розрахунку густини (при температурі 20 °C) [3]:

$$\lambda = \frac{2a^2}{N}, \frac{2a^2}{N} \cdot f = \frac{Z}{\rho} \Rightarrow \rho_{20} = \frac{Z \cdot N}{2a^2 \cdot f}. \quad (3)$$

Густина нафтопродуктів ρ_t залежить від температури t :

$$\rho_t = \rho_{20} - \Delta t \cdot (t - 20) = \frac{Z \cdot N}{2a^2 \cdot f} - \Delta t \cdot (t - 20), \quad (4)$$

де Δt — температурна поправка до густини на 1 °С.

Співвідношення (3) та (4) є математичною моделлю ультразвукового методу вимірювання густини нафтопродуктів. Знаючи акустичний опір середовища та розміри ультразвукових перетворювачів, можна вимірюючи частоту, яка відповідає останньому максимуму ближньої зони, розрахувати густину об'єкту контролю.

Для реалізації ультразвукового методу створено експериментальну установку [3]. Ультразвукові коливання створюються випромінювачем і приймаються приймачем, що розташовані з можливістю контактувати із досліджуваним середовищем (нафтопродуктом). За допомогою генератора змінної частоти забезпечується частота збудження випромінювача. Отримані коливання аналізуються за амплітудою частотоміром й ресструються максимальні значення амплітуди за допомогою вольтметра.

Використовуючи експериментальну установку [3], отримано амплітудно-частотні характеристики пари п'єзоперетворювачів при наявності між ними вказаних нафтопродуктів (рис. 1).

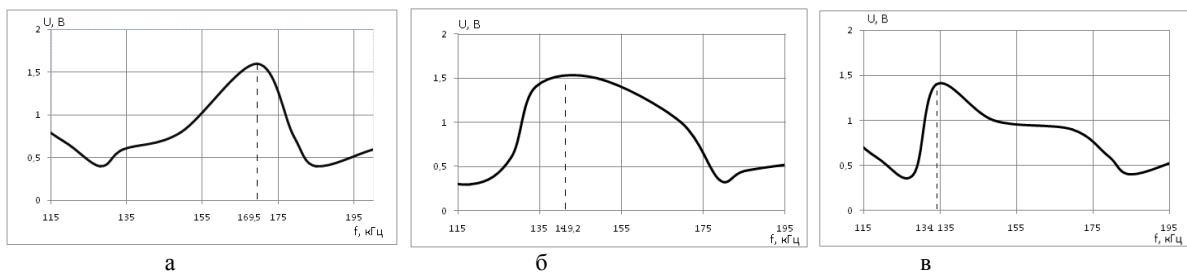


Рис. 1. Амплітудно-частотні характеристики пари п'єзоперетворювачів при наявності між ними нафтопродукту: а) моторне масло; б) дизельне паливо; в) бензин

Їх аналіз дозволяє стверджувати, що при зміні густини об'єкту контролю, спостерігається чітка зміна виміряної резонансної частоти. З рис. 1 помітно, що максимальне значення вихідної напруги для моторного масла досягається при частоті 169,5 кГц (аналітично отримане значення становить 168 кГц), для дизельного палива – 149,2 кГц (аналітично отримане – 149 кГц) та для бензину – 134 кГц (аналітично отримане – 133 кГц). Такі дані свідчать про збіжність теоретичних розрахунків та експериментально отриманих даних. Експериментальні значення цієї частоти занесено до табл. 1. З іншого боку, проведено аналітичні розрахунки резонансної частоти для кожного з досліджуваних нафтопродуктів. Для розрахунків використано формулу (3), оскільки експерименти проводились при сталій температурі, та визначено значення частот ультразвукових хвиль, на яких спостерігається максимум амплітуди хвилі:

$$\rho = \frac{Z \cdot N}{2a^2 \cdot f} \Rightarrow f = \frac{Z \cdot N}{2a^2 \cdot \rho}.$$

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень з розрахованими похибками

Досліджуване середовище	Макс-на частота, кГц		Відносна похибка, %	
	виміряна	розрахована	частоти	густини
Бензин	134	133	0,746	0,533
Дизельне паливо	149,2	149	0,134	0,118
Моторне масло	169,5	168	0,885	1,1

Отже, збіжність теоретичних розрахунків та результатів експериментальних досліджень підтверджують адекватність розробленого методу вимірювання густини нафтопродуктів. Похибка вимірювання не перевищує 1,1 %.

Висновки

Запропоновано ультразвуковий метод вимірювання густини нафтопродуктів, розроблено його математичну модель, наведено результати розрахунків максимальної частоти ультразвукових хвиль у ближній зоні та результати експериментальних досліджень для різних видів нафтопродуктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білинський Й. Й. Аналіз методів і засобів вимірювання густини нафтопродуктів / Й. Й. Білинський, К. В. Огородник, Н. А. Яремішена. — Вінниця, Наукові праці ВНТУ, 2016. — 13 с.
2. Крюков И. О размере ближней зоны плоских ультразвуковых преобразователей, находящихся на одной оси //И.И. Крюков / Акустический журнал. – М.: 1995. – Т.41. – №1. – С. 101-105.
3. Пат. 107963 Україна, МПК G01F 1/66. Пристрій вимірювання густини нафтопродуктів / Й. Й. Білинський, К. В. Огородник, Н. А. Яремішена. — №U 2016 00012; Заявл. 04.01.2016; Опубл. 24.06.2016, Бюл. №12, 2016 р.

Стоян Наталія Андріївна - аспірантка, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, nyaremishena@mail.ru.

Огородник Костянтин Володимирович – к. т. н., доцент кафедри електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Огородник Костянтин Володимирович** – к. т. н., доцент кафедри електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Natalya Stoyan - graduate student, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, nyaremishena@mail.ru.

Konstantin Ogorodnyk - Ph.D., associate professor of electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.

Supervisor: **Konstantin Ogorodnyk** - Ph.D., associate professor of electronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.