

## УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ НАФТОПРОДУКТІВ

Білинський Й. Й., д-р техн. наук, проф.; Огородник К. В., к.т.н, доцент;  
Стоян Н. А., аспірант

Вінницький національний технічний університет, Україна

Нафтопродукти — продукти, одержані внаслідок переробки нафти на нафтопереробних заводах. Їх широко застосовуються в якості авіаційного й автомобільного пального, в техніці як мастильний, електроізоляційний, консерваційний матеріал тощо [1].

На сьогодні актуальним постає питання контролю якості нафтопродуктів, одним із основних показників якої є густина. За густиною можна судити про вид та склад нафтопродуктів. Правильне визначення густини нафтопродукту дає можливість обліку загальної і погодинної витрати, а також можливість вірного налагоджування паливної апаратури.

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 [1]. 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.

Отже, залишається актуальним 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;  $\lambda$  — довжина ультразвукової хвилі.

Швидкість потоку імпульсів визначається за відомою формулою [2]:

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

де:  $f$  — частота ультразвукової хвилі,  $Z$  — акустичний опір середовища,  $\rho$  —

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 °С) [2]:

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

Густина нафтопродуктів  $\rho_t$  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:  $\Delta t$  — 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 [2]. Ультразвукові коливання створюються випромінювачем і приймаються приймачем, що розташовані з можливістю контактувати із досліджуванним середовищем (нафтопродуктом). За допомогою генератора змінної частоти забезпечується частота збудження випромінювача. Отримані коливання аналізуються за амплітудою частотоміром й реєструються максимальні значення амплітуди за допомогою вольтметра.

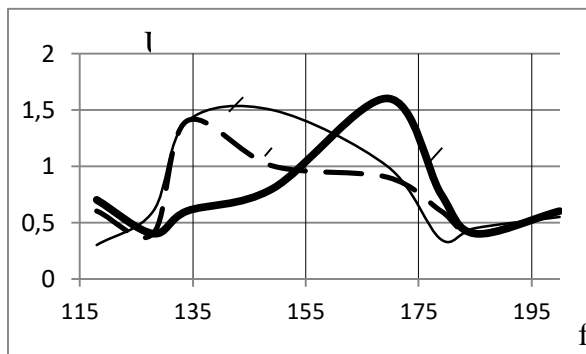


Рисунок 1. Експериментальні АЧХ пари п'зоперетворювачів при наявності різних видів нафтопродуктів:

1 — масло, 2 — паливо, 3 — бензин

Отримано амплітудно-частотні експериментальні характеристики для різних видів нафтопродуктів (рис. 1). Їх аналіз дозволяє стверджувати, що при зміні густини об'єкту контролю, спостерігається чітка зміна вимірюваної резонансної частоти. Отримані експериментально 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:

формулу (3), оскільки експерименти проводились при сталій температурі, та визначено значення частот ультразвукових хвиль, на яких спостерігається максимум амплітуди хвилі:

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

Отримані результати з розрахованими похибками представлені в табл. 1.

Таблиця 1

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%.

### Перелік посилань

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.

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.

### 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.

### Аннотация

Предложено ультразвуковой метод измерения плотности нефтепродуктов, разработана его математическая модель, приведены результаты расчетов максимальной частоты ультразвуковых волн в ближней зоне и результаты экспериментальных исследований для различных видов нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** ближняя зона, ультразвуковой измеритель плотности.

### 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.