

УДК 534.6.08:534.631

А.М. Гетало, О.В. Хорольський, С.А. Стеценко

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка, Україна

## РЕЗОНАНСНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФТОРЗАМІЩЕНИХ СПИРТІВ

A.M. Getalo, O.V. Khorolskyi, S.A. Stetsenko

### RESONANCE METHOD OF ACOUSTIC PROPERTIES INVESTIGATION OF FLUORINATED ALCOHOLS

Переважна більшість акустичних методів або мають малу точність на низьких частотах, або потребують значний об'єм рідини для дослідження. Розроблений Еггерсом [1], резонансний метод продемонстрував високі потенціальні можливості, зокрема при роботі в низькочастотному режимі, коли інші методи неефективні. Резонансний метод ґрунтується на використанні стоячих хвиль, які утворюються в рідині між двома кварцовими перетворювачами на резонансній частоті.

Якщо акустичне поле комірки плоске і однорідне, а коефіцієнт відбиття від меж рідина-кварц дорівнює одиниці, то залежність амплітуди резонансного піка від частоти можна виразити так:

$$u = u_{\max} \left( 1 + \frac{\sin^2(\pi(f - f_r)/f_0)}{sh(\alpha l)} \right) \approx u_{\max} \left( 1 + \frac{\pi^2 \Delta f^2}{c^2 \alpha^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де  $f_0 = c/2$  – основна частота об'єму рідини, а наближення маємо з умови  $\alpha l \ll 1$ .

Аналіз (1) показує, що при умові  $\frac{\pi \Delta f}{c \alpha} = 1$  або  $\frac{\pi \Delta f}{f_n \alpha \lambda} = 1$  маємо  $\frac{\Delta f}{f_n} = \frac{\alpha \lambda}{\pi}$ , тоді значення

$u \approx 0,707 u_{\max}$ . Отже, вимірюючи ширину  $\Delta f$  резонансного піку на висоті 0,707 від максимальної, можна розрахувати величини  $\alpha$ .

Частотна ширина полоси  $\Delta f$  залежить від загального стану системи. У реальних системах розширення резонансної полоси викликане не тільки втратами в рідині, але й втратами в п'єзокристалах, розсіянням, тертям біля стінок комірки тощо. Для виключення впливу цих ефектів вимірюють ширину резонансної лінії в рідині, власним поглинанням якої можна знехтувати  $\Delta f_{\text{нор}}$ . Потім вимірюють ширину резонансної лінії комірки, заповненої досліджуваною рідиною  $\Delta f_{\text{досл}}$ . Величину добутку поглинання звуку і довжини хвилі в досліджуваній рідині знаходять за співвідношенням:

$$\alpha \lambda = \pi (f_{\text{досл}} - f_{\text{нор}}). \quad (2)$$

На рис. 1 показана схема резонансної установки. Основний вузол – резонансна порожнина з досліджуваною рідиною (комірка), обмежена двома ретельно встановленими п'єзокристалами. Якщо довжина звукової хвилі кратна відстані між п'єзокристалами, то в порожнині генерується стояча хвиля.

Величина резонансного сигналу пропорційна швидкості звуку, а ширина його полоси – поглинанню. Неважко показати, що в різних рідинах зміщення резонансного піка пропорційне різниці величин їх швидкостей і виконується наближена рівність:

$$\frac{\delta c}{c} = \frac{\delta f}{f}, \quad (3)$$

де  $\delta c$  і  $\delta f$  – різниці між швидкостями і частотами відповідно досліджуваної та стандартної рідин. Поглинання визначається за шириною  $\Delta f$  резонансної полоси на

половині її висоти. Паразитні втрати можна оцінити за допомогою стандартної рідини, оскільки величини, обернені до добротності  $Q = f / \Delta f = \pi / (\alpha \lambda)$ , адитивні:

$$Q_{\text{вим}}^{-1} = Q_{\text{нс}}^{-1} + Q_{\text{втрати}}^{-1} \quad (4)$$

Діапазон застосування цього методу в достатній мірі залежить як від розміру комірки, так і від загальної величини поглинання. При зменшенні об'єму вимірювальної комірки величина  $\Delta f_{\text{пор}}$  збільшується, а отже, збільшуються і паразитні втрати в системі. Вимірювання у комірці об'ємом 40 мл, що містить рідину з поглинанням  $\alpha f^{-2} \approx 100 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-1} \text{ с}^2$ , можна проводити на частотах від 0,5 до 10 МГц, а в комірці об'ємом 10 мл – від 2 до 100 МГц.

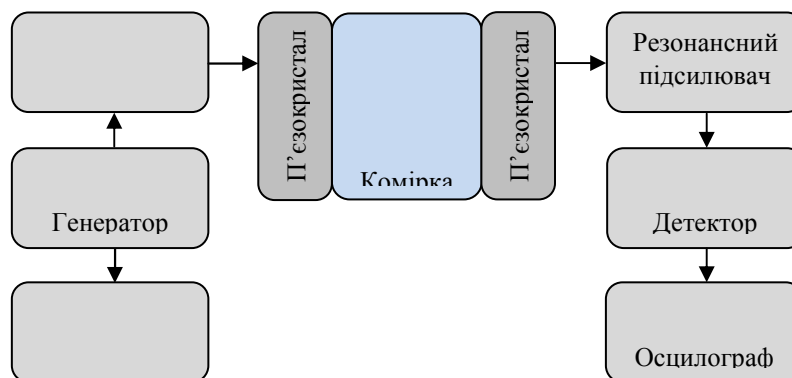


Рис. 1. Схема резонансної установки.

Експериментальні дослідження у гептанолі-1 ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_2\text{OH}$ ), 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7-додекафторгептанолі-1 ( $\text{CHF}_2(\text{CF}_2)_5\text{CH}_2\text{OH}$ ) та 1Н,1Н-тридекафторгептанолі-1 ( $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_5\text{CH}_2\text{OH}$ ) проводилися в інтервалі температур (293 ÷ 353) К [2]. Густина ( $\rho$ ) вимірювалась пікнометричним методом з похибкою 0,05 %. Швидкість поширення звуку ( $c$ ) і коефіцієнт поглинання звуку ( $\alpha f^{-2}$ ) вимірювалися резонансним методом, похибки становили відповідно 0,1 % та 3-5 %.

Аналіз експериментальних даних показує, що з ростом температури швидкість поширення звуку лінійно спадає у досліджуваних рідинах. Розраховані коефіцієнти класичного поглинання та об'ємної в'язкості, час акустичної релаксації. Температурна залежність часу акустичної релаксації  $\tau_s = f(T)$  у досліджених об'єктах носить складний нелінійний спадний характер. Оскільки у розглядуваному температурному інтервалі величина  $\alpha_{\text{екс}} f^{-2}$  зменшується з ростом температури, а відношення  $\eta_v / \eta_s$  зростає, то можемо стверджувати, що механізм поглинання звуку у фторзаміщених спиртах обумовлений структурною релаксацією [3].

Таким чином, висвітлений резонансний метод дослідження акустичних властивостей рідин, який застосований для вимірювання швидкості поширення та коефіцієнт поглинання звуку у фторзаміщених спиртах. Встановлено, що в даному температурному інтервалі для фторзаміщених спиртів характерна структурна релаксація.

#### Література

1. Eggers F. Ultrasonic velocity and attenuation measurements in liquids with resonators, extending the MHz frequency range / F. Eggers // *Acustica*. – 1992. – V. 76. – P. 231240.
2. Kirsch P. *Modern Fluoroorganic Chemistry: Synthesis, Reactivity, Applications* / P. Kirsch. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. – 320 p.
3. Михайлов И.Г. Основы молекулярной акустики / И.Г. Михайлов, В.А. Соловьев, Ю.П. Сырников. – М.: Наука, 1964. – 516 с.