

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ АВТОКОЛИВАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано математичну модель ультразвукового резонансного методу вимірювання параметрів середовищ, показано результати моделювання на її основі та експериментальні дані.

Ключові слова: резонансний метод, ультразвук, вимірювання, модель.

Abstract

The developed mathematical model of ultrasonic resonance method of measuring parameters of environments is presented, results of simulation on its basis and experimental data are shown.

Keywords: resonance method, ultrasound, measurement, model.

Ультразвукові вимірювачі базуються на залежності характеристик ультразвукових коливань від властивостей і складу середовища, в якому поширюється ультразвук. Основною перевагою ультразвукових вимірювань є неруйнівний контроль, швидкодія, вартість, безпечність [1].

Резонансний метод базується на дослідженні параметрів та характеристик стоячих акустичних хвиль, що виникають в середовищі внаслідок інтерференції. В системі виникає резонанс за умови [2]:

$$L = n\lambda/2,$$

де L – відстань між приймачем та випромінювачем, n – ціле число, λ – довжина акустичної хвилі в середовищі, що досліджується. Так як довжина хвилі залежить від частоти f та швидкості v звуку в даному середовищі ($\lambda = v/f$), а швидкість v залежить від таких параметрів середовища, як пружність та густина, що, в свою чергу, залежать від складу середовища, температури, тиску, тощо, то, подаючи сигнали різних частот та реєструючи частоту резонансу можна визначити параметри середовища.

Амплітуда сигналу в площині приймача визначається виразом:

$$A(L, t) = A_{\text{п}}(L, t) + A_{\text{в1}}(L, t) + A_{\text{в2}}(L, t) + A_{\text{в3}}(L, t) + \dots + A_{\text{вk}}(L, t),$$

де $A_{\text{п}}(L, t)$ – амплітуда падаючої акустичної хвилі, $A_{\text{в1}}(L, t)$, $A_{\text{в2}}(L, t)$, $A_{\text{вk}}(L, t)$ – амплітуди, відповідно, першої, другої та k -тої відбитої хвилі. Амплітуда падаючої хвилі визначається виразом $A_{\text{п}}(L, t) = A_0 \sin(2\pi ft)$. Амплітуда відбитої хвилі буде визначатися виразом $A_{\text{вk}}(L, t) = R^{2k} A_0 e^{-\delta 2kL} \sin[2\pi f \left(\left(\frac{-2kL}{v} \right) + t \right)]$, де R – коефіцієнт відбиття, δ – коефіцієнт згасання хвилі в середовищі.

Проведено моделювання розробленої математичної моделі та експериментальну перевірку її адекватності. Визначено частоти резонансів для фіксованої відстані випромінювач-приймач та відстані, при яких спостерігається резонанс при фіксованій частоті. В якості досліджуваного середовища обрано повітря, температура 20°C, швидкість звуку 343 м/с, атмосферний тиск 1 атм. Так як ультразвук сильно згасає в повітрі (коефіцієнт згасання близько 12 дБ/м на частоті 200 кГц) та внаслідок неповного відбиття (взято коефіцієнт відбиття 0,9) при моделюванні для спрощення обмежимося лише десятою відбитою хвилею. При цьому вираз математичної моделі для моделювання має вигляд:

$$A(L, t) = \sum_{k=0}^{10} R^{2k} A_0 e^{-\delta 2kL} \sin[2\pi f \left(\left(\frac{-2kL}{v} \right) + t \right)].$$

На рис. 1 зображена часова діаграма сигналу, що приймається приймачем на відстані 34,3мм, коли виконується умова резонансу, та на відстані 34,73мм, коли виконується умова антирезонансу. З графіків видно, що амплітуди сигналів відрізняються приблизно в 5 разів.

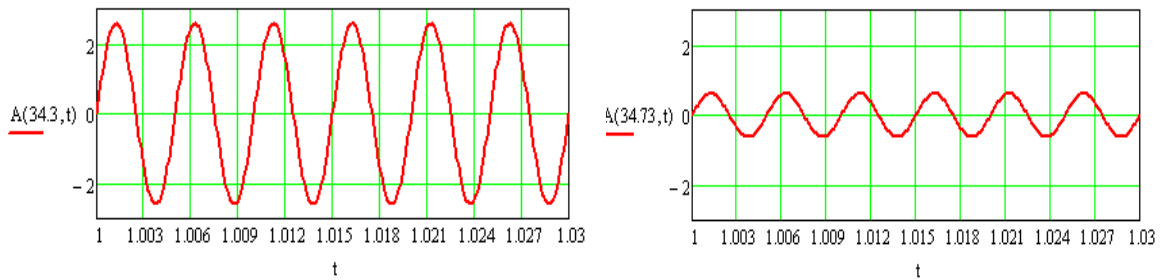


Рисунок 1 – Часові діаграми сигналу на приймачі для умови резонансу та антирезонансу

На рис. 2 наведена залежність амплітуди сигналу на приймачі для відстані між передавачем-приймачем 25-35мм для частоти 200кГц. Квадратами показані результати експериментальних досліджень (вимірювання виконувалися лише для точок максимумів та мінімум амплітуди сигналу).

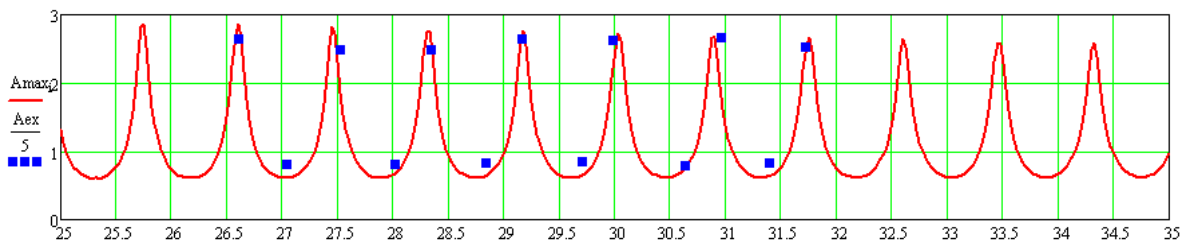


Рисунок 2 – Залежність амплітуди сигналу на приймачі для відстані між передавачем-приймачем 25-35мм

Наведений графік має високу збіжність з одержаними експериментальними даними. При врахуванні меншої кількості відбитих хвиль графік має спотворений вигляд, що не узгоджується з експериментальними даними. Наприклад, графік при врахуванні лише трьох відбитих хвиль показано на рис. 3.

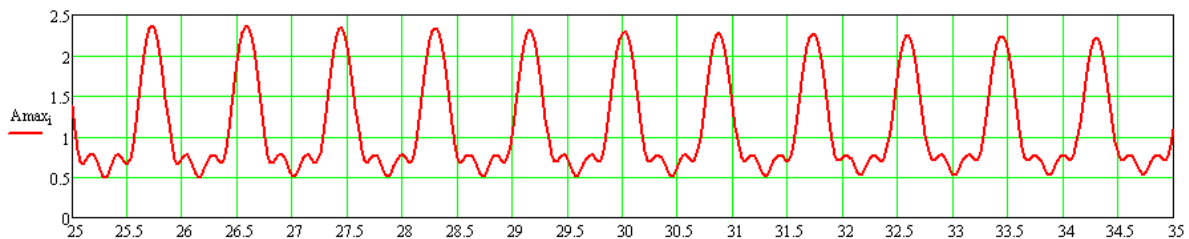


Рисунок 3 – Залежність амплітуди сигналу на приймачі від відстані між передавачем-приймачем при врахуванні лише трьох відбитих хвиль

На рис. 4 наведена залежність амплітуди сигналу на приймачі для частот сигналу 170-250кГц при відстані передавач-приймач 35,85мм та швидкості звуку 340,8м/с. Квадратами показані результати експериментальних досліджень (вимірювання виконувалися лише для точок максимумів та мінімум амплітуди сигналу).

Результати моделювання мають високу збіжність з результатами експериментальних досліджень, що підтверджує адекватність математичної моделі. Для більшої збіжності в математичній моделі необхідно врахувати АЧХ ультразвукових передавача і приймача.

З ростом температури швидкість звуку в повітрі збільшується приблизно на 0,59м/с на 1°C. Частота резонансу при фіксованій відстані буде визначатися виразом $f_p = nv(T)/2L$ і з ростом температури практично лінійно збільшується приблизно на 330Гц на 1°C (рис. 5).

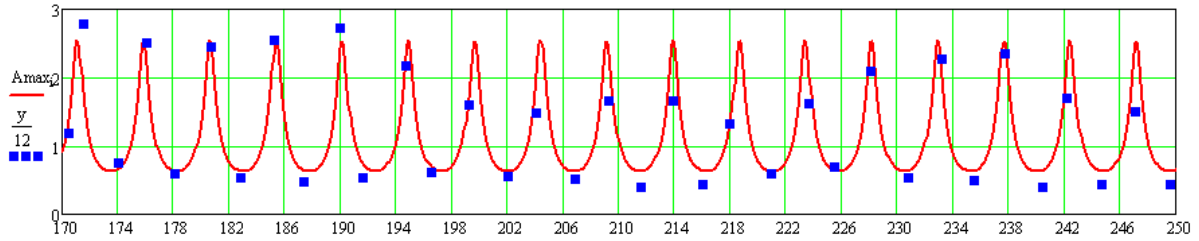


Рисунок 4 – Залежність амплітуди сигналу на приймачі для частот сигналу 170-250кГц

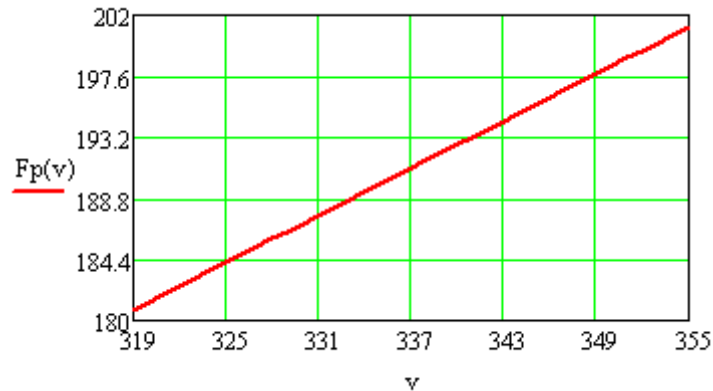


Рисунок 5 – Залежність частоти резонансу від температури в діапазоні $-20...+40^{\circ}\text{C}$ (швидкість звуку 319...355м/с) для відстані передавач-приймач 30мм

З одержаного графіку видно, що частота резонансу збільшується на 356 Гц/ $^{\circ}\text{C}$ при -20°C та на 321 Гц/ $^{\circ}\text{C}$ при $+40^{\circ}\text{C}$.

Одержані результати комп'ютерного моделювання розробленої математичної моделі мають високу збіжність з результатами експериментальних досліджень, що підтверджує адекватність математичної моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Неразрушающий контроль: Справочник в 7-ми томах. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3. Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
2. Акимов В.В. Применение ультразвукового резонансного метода для определения упругих и пластических характеристик сплавов TiC-TiNi // В.В. Акимов, Н.А. Иванов / Прикладная механика и техническая физика. – Новосибирск, 2002. – № 2(252). – С. 203-207.
3. Bilinsky Y.Y. Development and research of the mathematical model of the resonance ultrasonic measurement control method / J.Y. Bilinsky, K.V. Ogorodnik, O. A. Lazarev, A.V. Syrovatsky // The 4th International Scientific Conference "Measurement, Control and diagnostics in technical systems "(VKDTS-2017), October 31 - November 2, 2017. - Vinnitsa, 2017. - P. 159 - 160.

Йосип Йосипович Білінський – доктор техн. наук, проф. кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Огородник Костянтин Володимирович – кандидат техн. наук, доцент, докторант кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kostokord@gmail.com

Bilynsky Yosyp – Doctor of Technical Sciences, Prof. Department of Physics, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Ogorodnik Kostiantyn – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, doctoral student of the Department of Physics, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: kostokord@gmail.com