Фізика

УДК 534.7

**Шишкова Катерина Андріївна**
*магістрант кафедри акустики та акустоелектроніки*
*Національного технічного університету України*
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**Шишкова Екатерина Андреевна**
*магистрант кафедры акустики и акустоэлектроники*
*Национального технического университета Украины*
*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*
**Shishkova Katerina**
*Master of the Department of Acoustics and Acoustoelectronics of the*
*National Technical University of Ukraine*
*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ В РЕЖИМІ ПРИЙОМУ

***Анотація.*** *Розглянуто один із варіантів визначення чутливості ультразвукового датчику в режимі прийому.*

***Ключові слова:*** *ультразвуковий датчик, чутливість в режимі прийому.*

**Вступ.** Ультразвукові дослідження в наш час стали звичайним явищем в області медицини і не тільки. Широкому впровадженню ультразвукового сканування органів і систем людини сприяли доступність, відносна простота дослідження [1].

Якість зображення та діагностична інформативність ультразвукового пристрою залежать від його апаратних можливостей і визначається низкою технічних характеристик [2], основними з яких є наступні: роздільна здатність, чутливість та динамічний діапазон.

У роботі [3] розглянуто один із можливих варіантів визначення поздовжньої роздільної здатності експериментальним шляхом. Було доведено, що описана в роботі методика є ефективною. Тим, не менш поряд з роздільною здатністю чутливість є важливою характеристикою діагностичної ефективності ультразвукових сканерів.

Чутливістю називають здатність визначення та спостереження малих розмірів структури на фоні завад та власних шумів системи. На будь яку систему, яка випромінює та приймає сигнали, впливають зовнішні та внутрішні (так звані «наведення») завади. Приймання сигналів відображених від біологічних структур на глибині проходить на фоні дії цих завад та шумів. Саме тому, чутливість визначає максимальну глибину, на якій забезпечується рівень корисних сигналів, достатніх для спостереження.

**Загальні положення**. Об'єкт вимірювань представляє собою макет ультразвукового приймально-передавального багатоелементного скануючого перетворювача, який містить 72 канали. Кожен канал складається з трьох смужкових п'єзоелементів, які не пов'язані між собою акустично та з'єднані паралельно електрично. Резонансна частота 3,5 МГц з відхиленням від номінального значення не більш ніж на ±5 %.

Чутливість перетворювача в режимі прийому визначається за формулою

$$M = \sqrt{\frac{U_1}{U_2} RH} \ ,$$

де $H = \frac{2S}{\rho c}$. Коефіцієнт $H$ називається коефіцієнтом взаємності ($S$ - активна площа перетворювача, $\rho, c$ -густина середовища та швидкість звуку в середовищі); $R$ -опір навантаження.

Для перетворювача, який складається з трьох смужкових елементів розміром 14х0,35 мм коефіцієнт взаємності має наступне значення:

$$H = \frac{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 0,35 \cdot 10^{-6}}{1,54 \cdot 10^{6}} = 19 \cdot 10^{-2} \frac{м^2 \cdot с}{кг}$$

Тоді чутливість в режимі прийому при $R_\delta = 13 Ом$ буде рівною:

$$M = \sqrt{\frac{U_1}{U_2} \cdot 13 \cdot 19 \cdot 10^{-2}} = 15,7 \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} \frac{мкв}{Н / м^2} \qquad (1)$$

**Вимоги до проведення експерименту.** В першу чергу, відстань між перетворювачами має бути такою, щоб можна було розділити випромінюваний і прийнятий сигнали. Ця умова формулюється нерівністю

$$r > \Delta t \cdot c$$

$r$ - подвоєна відстань між перетворювачем і відбивачем (саме цю відстань проходить ультразвуковий сигнал в середовищі);

$\Delta t$ - тривалість імпульсу;

$c$ - швидкість ультразвуку в середовищі, де поширюються коливання.

Тривалість імпульсі, в свою чергу, визначається нерівністю:

$$\Delta t \geq \frac{6 \div 10}{f}$$

де $f$ -робоча частота, на якій проводяться виміри.

При числі періодів, меншим 5-6, високочастотний імпульс втрачає свої виборчі властивості, спектр його стає занадто широким.

Якщо градуювання проводиться в умовах поширення сферичної хвилі, то екран повинен знаходитися в дальній зоні перетворювача, тобто відстань до відбиваючого екрана повинна задовольняти наступній умові:

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

де $\lambda$ - максимальний розмір перетворювача.

Крім того, екран повинен створювати дзеркальне відображення, при якому можна користуватися правилами геометричної акустики. Поверхня екрану повинна бути гладкою, матеріал екрану повинен повністю відображати падаючий звук.

Умови дзеркального відображення по В.Н. Тюміну наступні:

$$r \square \frac{R_e^2}{\lambda}$$

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{R_e}{r}\right)^2}} \to 0 \text{ або } r \square R$$

Де $\alpha$-кут, утворений нормаллю -до центру площини екрану і напрямком від перетворювача на край екрану.

Наведені співвідношення означають, що на поверхні екрану має розміститися велика кількість напівхвильових зон Френеля, а краї екрану повинні "бути видимими" з джерела під кутом, близьким до $\frac{\pi}{2}$.

Таким чином, при виборі відстані від перетворювача до відбиваючого екрана і розмірів останнього для визначення чутливості в умовах сферичної хвилі необхідно враховувати наступне:

$$(6 \div 10)\lambda \le r \le R_e$$

$$\frac{2D^2}{\lambda} \le r \le \frac{R_e^2}{\lambda}$$

Отже, вимірювання чутливості в плоскій хвилі можливі за таких умов:

$$(6 \div 10)\lambda \square r \square \frac{S}{\lambda}$$

$$r \square \frac{R_e^2}{\lambda}$$

$$S_e > S$$

де $S_e$-площа відбиваючого екрану.

Вимірювання проводяться на лабораторному стенді при нормальних умовах: температура навколишнього середовища (20±5)С◦; атмосферний тиск 760±76 мм рт.ст.; вологість (80±15)%.

**Лабораторний стенд**

До складу лабораторного стенду (рис.1) входять:

1-ванна з дистильованою водою;

2-відбиваючий жорсткий екран;

3-ультразвуковий датчик.

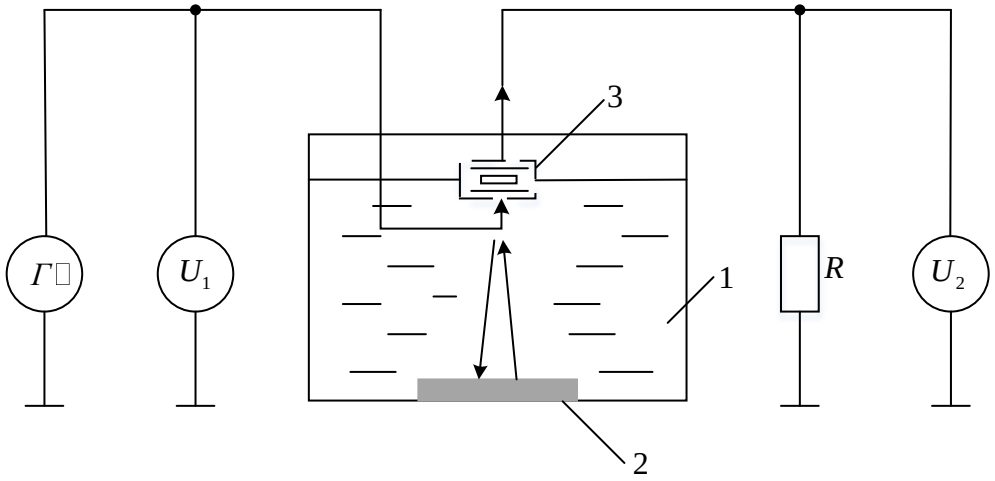


**Рис. 1. Схема визначення чутливості ультразвукового датчику**

**Методика проведення експерименту**

1. Вимірювання чутливості проводять на лабораторному стенді (рис.1.), при цьому послідовно з досліджуваним перетворювачем підключають резистор опору $R_\delta = 13 Ом$.

2. Налаштовуються на резонансну частоту перетворювача по максимальній амплітуді відбитого від плоского відбивача сигналу.

3. Амплітуда збуджуючого радіо-імпульсу (розмах) встановлюють по екрану осцилографа $v_г = 2B$, при цьому фіксують падіння напруги на баластному опорі $v_\delta$ та амплітуду (розмах) відбитого сигналу $v_n$.

4. За наведеною вище формулою (1) знаходять значення чутливості в режиму прийому.

**Результати вимірювань.** Результати вимірювань проведених за допомогою лабораторного стенду (рис.1) наведені в Таблиця1.

*Таблиця 1*

**Результати визначення чутливості ультразвукового датчику**

| № експерименту | Чутливість в режимі прийому, мкВ/Па | № експерименту | Чутливість в режимі прийому, мкВ/Па | № експерименту | Чутливість в режимі прийому, мкВ/Па |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4,35 | 29 | 5,25 | 57 | 4,9 |
| 2 | 4,95 | 30 | 5,45 | 58 | 5,4 |
| 3 | 5 | 31 | 5,4 | 59 | 5,35 |
| 4 | 5,35 | 32 | 5,45 | 60 | 5,45 |
| 5 | 5,4 | 33 | 5,35 | 62 | 5,4 |
| 6 | 5,45 | 34 | 5,2 | 62 | 5,25 |
| 7 | - | 35 | - | 63 | - |
| 8 | 5,3 | 36 | 5,4 | 64 | 5,35 |
| 9 | 5,35 | 37 | 5,4 | 65 | 5,45 |
| 10 | 5,4 | 38 | 5,45 | 66 | 5,4 |
| 11 | 5,35 | 39 | 5,45 | 67 | 5,4 |
| 12 | 4,8 | 40 | 4,9 | 68 | 4,9 |
| 13 | 5,4 | 41 | 5,3 | 69 | 5,1 |
| 14 | - | 42 | - | 70 | - |
| 15 | 5,25 | 43 | 4,9 | 71 | 5,45 |
| 16 | 5,3 | 44 | 5,25 | 72 | 5,45 |
| 17 | 5,3 | 45 | 5,2 | 73 | 5,35 |
| 18 | 5,35 | 46 | 5,35 | 74 | 5,3 |
| 19 | 5,4 | 47 | 5,25 | 75 | 5,4 |
| 20 | 5 | 48 | 5,3 | 76 | 5,1 |
| 21 | - | 49 | - | 77 | - |
| 22 | 5,25 | 50 | 5,4 | 78 | 5,35 |
| 23 | 5,35 | 51 | 5,35 | 79 | 5,35 |
| 24 | 5,3 | 52 | 5,4 | 80 | 5,15 |
| 25 | 5,35 | 53 | 5,4 | 81 | 5,25 |
| 26 | 5,3 | 54 | 5,35 | 82 | 5,3 |
| 27 | 5,4 | 55 | 4,8 | 83 | 5,25 |
| 28 | - | 56 | - | 84 | - |

**Висновок.** З наведених результатів (Таблиця1) видно, що чутливість в режимі прийому складає 5,25 ± 0,2 мкВ/Па, що повністю задовольняє вимоги пред'явлені до ультразвукових медичних діагностичних приладів.

## Література

1. Применение ультразвука в медицине: Физические основы: Пер. с англ./ Под ред. Хилла К. М.: Мир, 1989. – 568 с.

2. Олти Дж., Хоуи Э., Вульстенхульм С. и др. Ультразвуковое исследование / пер. с англ. под ред. В.А. Сандрикова. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. — 256 с.
3. https://nauka-online.com/ua/publications/fizika/2018/5/pro-odin-iz-variantiv-metodiki-eksperimentalnih-doslidzhen-ultrazvukovih-datchikiv/