

Аналіз впливу частоти звукового сигналу на ефективність термоакустичних процесів

Ю.П. Кондратенко¹, О.В. Коробко²

Abstract – The authors had investigated the influence of the acoustic signal frequency on thermoacoustic devices (TAD) performance. The arrangement of experimental thermoacoustic device and its main components are presented. As a result of the experiment an optimal acoustic frequencies band for the experimental thermoacoustic plant is revealed.

Ключові слова – термоакустика, мікропроцесорна система моніторингу, звукові хвилі.

I. ВСТУП

Звукові хвилі пов'язані із змінами тиску, температури та густини газу, через який вони розповсюджуються. Крім того, частки газу постійно коливаються навколо положення рівноваги [1]. Розповсюдження звукової хвилі в об'ємі резонатору є адиабатним процесом, що не супроводжується теплопередачею, проте в прикордонних шарах резонатору даний процес є ізоентропічним [2], що зумовлює виникнення теплообміну між стінкою резонатору та прилеглим обсягом газу. Поєднання даних процесів і є основою термоакустичних явищ.

Головною особливістю термоакустичних систем є те, що на відміну від інших теплових машин, носієм механічної енергії, яку виробляють термоакустичні апарати (ТАА), і водночас «виконавчим механізмом» термодинамічного циклу, є потужні акустичні пульсації [3] робочого тіла (газу). До основних переваг даних систем слід віднести високу надійність, відсутність шкідливих для довкілля речовин в робочому процесі, малу собівартість. Проте, для ТАА характерна висока залежність ефективності роботи від низки фізичних параметрів, серед яких одним із головних є частота звукової хвилі. Дана робота спрямована на дослідження впливу частоти звукової хвилі синусоїдальної форми на ефективність термоакустичних процесів.

II. СТРУКТУРА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

Для дослідження термоакустичних явищ авторами розроблено експериментальний стенд [4], який оснащено мікропроцесорною системою віддаленого моніторингу, що здійснює збір, обробку та відображення інформації щодо стану термоакустичного апарату в режимі реального часу.

Система включає в себе програмований логічний контролер (ПЛК) ICP DAS uPAC7186 EX-SM, зовнішній модуль розширення I7018P для збору сигналів з термопар, мікроконтролер Atmel Xmega A3 для

вимірювання швидкоосцилюючих сигналів з датчиків акустичного тиску, персональний комп'ютер (ПК), підсилювач звукового сигналу та термоакустичний рефрижератор (ТАР).

ПЛК виконує збір даних щодо поточного стану ТАР та їх надсилання до ПК по мережі Ethernet. Розроблене для ПК на платформі WPF програмне забезпечення дозволяє зберігати отриману з контролера інформацію в архівну базу даних, а також формувати звуковий сигнал, що передається на вхід акустичного підсилювача.

В якості дослідної експериментальної установки (рис. 1) обрано модель резонатору термоакустичного рефрижератора [5], в порожнині якого присутня потужна стояча звукова хвиля. Основними складовими частинами дослідної установки є генератор звукових коливань (гучномовець, потужністю 100 Вт), резонатор (на чверть довжини звукової хвилі), а також стек, який являє собою компактний теплообмінник і служить для збільшення контактної поверхні теплообміну.

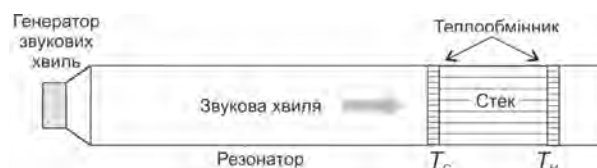


Рис. 1. Загальна структурна схема термоакустичного рефрижератору

III. ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТАР ВІД ЧАСТОТИ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ

Акустичні пульсації, джерелом яких є гучномовець, зумовлюють виникнення різниці температур (1) вздовж стеку експериментальної установки, при цьому нижча температура (T_C) встановлюється з кінця, що є ближчим до гучномовця, а вища з віддаленого кінця (T_H).

$$\Delta T = T_H - T_C \quad (1)$$

Різниця температур, що встановлюється вздовж стеку, є основоположним фактором для функціонування термоакустичної установки [6], саме тому її величина обрана за показник ефективності (оптимальності) роботи експериментального ТАР при здійсненні досліджень щодо впливу частоти акустичного сигналу на загальну ефективність термоакустичного апарату.

Для виявлення характеру залежності різниці температур ΔT від частоти звукового сигналу $f_{\text{сигн}}$

¹ Чорноморський державний університет імені Петра Могили, вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, 54003, УКРАЇНА, E-mail: y_kondratenko@rambler.ru

² Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, пр. Героїв Сталінграда 9, Миколаїв, 54025, УКРАЇНА, E-mail: korobko@live.ru

авторами проведено ряд експериментів, при яких на вхід ТАР на протязі 120 с подавалися акустичні сигнали синусоїдальної форми однакової інтенсивності з наступними частотами (2):

$$f_{\text{сигн}} \in \left\{ \begin{array}{l} 100, 125, 150, 175, 190, 200, 210, \\ 215, 220, 225, 230, 250, 275, 430 \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 2 та рис. 3, зокрема, на рис. 2 показано характер динамічної зміни різниці температур ΔT на кінцях стеку в залежності від часу t для різних частот $f_{\text{сигн}}$ акустичного сигналу, що є прямим результатом вимірювань. Представлені графіки наявно ілюструють суттєву залежність ефективності роботи ТАР від частоти звукового сигналу.

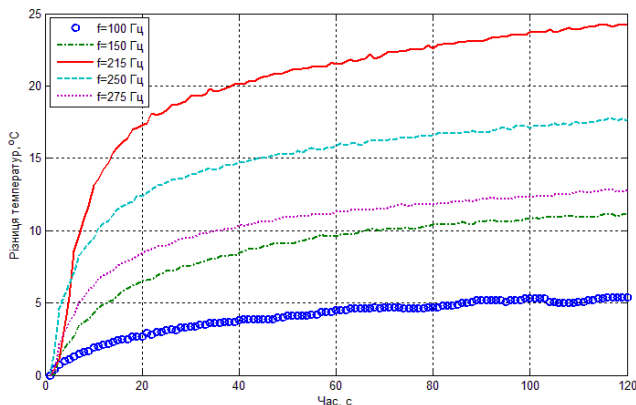


Рис. 2. Динаміка росту різниці температур при різних частотах акустичного сигналу

Для аналізу результатів експерименту побудована крива розподілу величини різниці температур відносно частоти акустичного сигналу (рис. 3). Отриманий графік показує що функція має явно виражений екстремум, який відповідає максимуму ефективності роботи ТАР. Значення частоти [7] в цій точці $f_{\text{екстр}} = 215$ Гц є відмінним від розрахункового (3):

$$f = \frac{a}{\lambda} = \frac{\sqrt{\gamma k T}}{4L} = \frac{340}{1.2} = 283 \text{ Гц}, \quad (3)$$

де f – частота звукової хвилі, a – швидкість звуку, λ – довжина звукової хвилі, γ – показник адиабати, k – стала Больцмана, T – абсолютна температура, m – молекулярна маса газу, L – довжина резонатора.

Однією з головних причин даного явища є вплив власного обсягу гучномовця, який при використанні пари гучномовець-резонатор виступає в ролі об'єму Гемгольца, величина якого є індивідуальною для кожної установки і залежить від конструктивних особливостей складових елементів ТАА.

Виходячи із отриманої залежності різниці температур на кінцях стеку від частоти звукового сигналу (рис. 3), можна зробити висновок, що оптимальними для даної термоакустичної установки є частоти близькі до 215 Гц (точне значення оптимальної частоти залежить від низки

змінних зовнішніх параметрів, таких як атмосферний тиск, температура навколишнього повітря тощо).

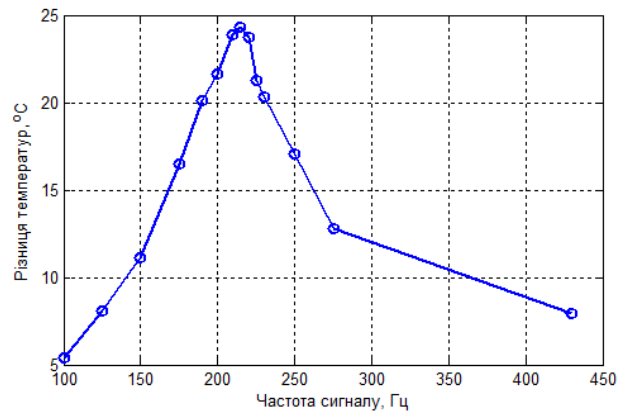


Рис. 3. Залежність різниці температур на кінцях стеку від частоти акустичного сигналу

IV. ВИСНОВОК

Авторами проведено експериментальні дослідження впливу частоти звукового сигналу на ефективність роботи термоакустичних апаратів. В якості критерію ефективності обрано максимальне значення різниці температур на краях стеку ТАР. В результаті досліджень визначено діапазон частот (214-217 Гц) акустичного сигналу для експериментального ТАР (резонатор на чверть довжини хвилі та гучномовець в якості генератору звукових хвиль), при якому величина термоакустичних ефектів є максимальною. Всі подальші дослідження доцільно проводити в зазначеній смузі частот.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] N. Mohd. Ghazali, "Thermoacoustic heat engine", *Jurnal Teknologi*, 40, Jun. 2004, pp. 67–78.
- [2] Y. UEDA "Calculation Method for the Prediction of the Performance of a Traveling-Wave Thermoacoustic Cooler", *Journal of Power and Energy Systems*, Vol.2, No.5, 2008, pp. 1276-1282.
- [3] M. P. Telesz, "Design and testing of a thermoacoustic power converter", *Georgia Institute of Technology*, 2006, 157 p.
- [4] Ю.П. Кондратенко, В.В. Коробко, О.В. Коробко, "Експериментальні дослідження впливу фронту звукової хвилі на ефективність термоакустичних процесів", *Технічні вісти*, 2010/1 (31), 2(32), сс. 37-41.
- [5] S.L. Garret, T.J. Hofler, D.K. Perkins, "Thermoacoustic Refrigeration", *Refrigeration and Air Conditioning Technology*, June 23-25, 1993, pp.1-8.
- [6] G.W. Swift, "Thermoacoustic: A unifying perspective for some engines and refrigerators", *American Institute of Physics*, 2002, 300 p.
- [7] A.B. Coppens, J.V. Sanders, "Finite-amplitude standing waves in rigid-walled tubes", *Journal of Acoustical Society of America*, 1968, pp. 516–529.