

Розрахунок амплітуд зміщень в горловій частині резонатора Гельмгольца на резонансних частотах

Копитько^f Ю. С., аспірант, ORCID [0000-0003-2771-5180](https://orcid.org/0000-0003-2771-5180)

e-mail yus.kopytko@aae.kpi.ua

Найда^s С. А., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-5060-2929](https://orcid.org/0000-0002-5060-2929)

e-mail s.naida@kpi.ua

Кафедра акустики та акустоелектроніки acoustic.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Анотація—Метою роботи є аналіз амплітуд коливань горловини резонатора Гельмгольца на резонансних частотах. Надано розрахунок амплітуд зміщень горловини резонатора Гельмгольца при коливаннях на резонансних частотах з метою подальшої оцінки взаємозв'язку резонансних частот, отриманих експериментально, з резонансними частотами одного з основних елементів резонатора для створення широкосмугових акустичних систем або метаматеріалів. Отримані чисельні значення амплітуд коливань для перших шістьдесяти семи резонансних частот. Представлено аналіз отриманих результатів. Параметри горловини обрані рівними параметрам горловини одного з резонаторів досліджених експериментально.

Бібл. 13, рис.3, табл.4.

Ключові слова — резонатор Гельмгольца; амплітуда коливань горловини резонатора Гельмгольца, резонанси горловини резонатора Гельмгольца; акустичний метаматеріал, амплітуда зміщень оболонки

I. ВСТУП

З розвитком нового напрямку досліджень у акустиці, а саме дослідження акустичних метаматеріалів, зростає інтерес і до досліджень, що можуть допомогти вдосконалити існуючі розробки або надати можливість створювати матеріали з новими властивостями. Варто зазначити, що акустичні метаматеріали – це штучно створені матеріали, призначені для контролю, направлення та маніпулювання звуковими хвилями, які можуть виникати в газах, рідинах і твердих тілах [1].

Таким чином, зростає і актуальність досліджень пов'язаних з резонаторами Гельмгольца, адже вони широко застосовуються у якості базових елементів для створення акустичних метаматеріалів, а зокрема фокусуючих метаматеріалів. У роботі [2] надано огляд низки робіт, значна частина яких представляє результати досліджень, ідеї розробки та надає уявлення щодо можливих застосувань акустичних метаматеріалів, що створені або можуть бути створені на основі резонаторів Гельмгольца.

Виникає необхідність додаткових досліджень резонаторів Гельмгольца, оптимізації існуючих методик розрахунку або впровадження нових методик розрахунку, що дозволять більш точно оцінити поведінку резонатора при зміні тих чи інших параметрів роботи.

Зазвичай для розв'язання акустичних задач, розраховують лише одну резонансну частоту резонатора Гельмгольца. При експериментальних дослідженнях було виявлено ряд додаткових резонансів. Як було зазначено у [3], насправді, варіанти розрахунку додаткових резонансних частот існують [4], але є досить громіздкими, оперують великим числом змінних [5].

У даній роботі, котра являє собою продовження розрахунку наданого у [3], запропоновано застосувати нову методику знаходження додаткових резонансних частот резонатора Гельмгольца і розглянути резонатор, як систему, що складається з двох більш простих елементів, піти шляхом вирішення двох простіших задач і звести результати воедино, узгодити їх.

Метою роботи є дослідження амплітуд коливань в горловій частині резонатора Гельмгольца на резонансних частотах. Параметри горловини обрані рівними параметрам горловини одного з резонаторів досліджених в [6]. Таким чином, стає можливим оцінити і проаналізувати результати розрахунку резонансних частот горлової частини резонатора, враховуючи значення резонансних частот для повної конструкції резонатора, отримані в експерименті.

У роботі [3] були отримані значення резонансних частот в горловій частині резонатора Гельмгольца. В поточній роботі були виправлені неточності розрахунку резонансних частот та розраховані амплітуди



коливань на цих частотах для подальшого порівняння з результатами, отриманими у експерименті [6].

Багаторезонансність резонатора Гельмгольца і наявність методики розрахунку його резонансних частот дозволить використовувати його для створення ширококутових акустичних систем [7], які можуть бути використані в якості глушників [8], [9], або для фокусування акустичних хвиль [10] (зокрема, у складі метаматеріалів [11]).

II. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Для вирішення поставлених задач, будемо розглядати горлову частину резонатора як циліндричну оболонку. Виходячи з того, що товщина стінки горлової частини є значно меншою її довжини та діаметра.

Розрахунки проводилися для горлової частини резонатора, що виготовлений зі скла і складається з горловини довжиною h , діаметром d , товщиною b і колби діаметром D . Загальний вигляд резонатора наведено на рис.1. Значення необхідних для розрахунку параметрів горлової частини резонатора діаметр, довжина та товщина стінки наведені у табл. 1.

Для подальших розрахунків визначимо положення довільної точки M на серединній поверхні оболонки координатами $\alpha = x/R$ (де x – координата по осі, що співпадає з віссю циліндра, $R = d/2$ – радіус циліндра) і кутовою координатою β .

Формула для розрахунку резонансних частот циліндричної оболонки (для симетричних коливань) має такий вигляд:

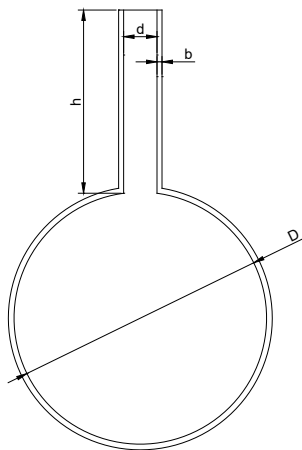


Рис. 1. Загальний вигляд резонатора

ТАБЛИЦЯ 1. РОЗМІРИ І ТОВЩИНА ГОРЛОВИНИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РЕЗОНАТОРА

d , мм	h , мм	b , мм
30,5	180	3,0

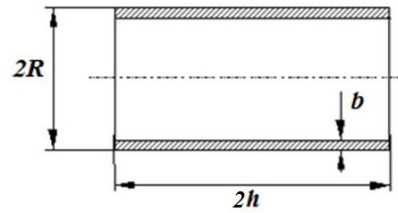


Рис. 2. Загальний вигляд циліндричної оболонки

$$\omega_K^2 = \frac{1}{12(1-\mu^2)} \frac{E}{\rho R^4} \frac{C}{C_1} \frac{K^2(K^2-1)^2}{K^2+1}, \quad (1)$$

де $E = 63740 \cdot 10^6$ Па – модуль пружності Юнга для скла; $C = \int_{\alpha} h^3 d\alpha$; $C_1 = \int_{\alpha} h d\alpha$; $\mu = 0,23$ – коефіцієнт Пуассона для скла; $\rho = 2650$ кг/м³ – густина скла; $K = 1, 2, 3 \dots$

Для оболонки постійної товщини b і довжини $2h$ (рис.2) значення коефіцієнтів рівні:

$$C = 2b^3 \int_0^{\frac{h}{R}} d\alpha = 2b^3 \frac{h}{R}; \quad C_1 = 2b \int_0^{\frac{h}{R}} d\alpha = 2b \frac{h}{R}.$$

Таким чином, формула (1) спрощується і її можна записати в наступному вигляді:

$$\omega_K^2 = \frac{Eb^2}{12(1-\mu^2)\rho R^4} \frac{K^2(K^2-1)^2}{K^2+1}. \quad (2)$$

для використання у подальших розрахунках.

Скористаємось наступними виразами компонентів переміщення точки в поздовжньому, окружному і нормальному до поверхні напрямках відповідно (u, V, W) [12]:

$$\begin{aligned} u &= A \cos \frac{m\pi R\alpha}{h} \sin n\beta \cos \omega t; \\ V &= B \sin \frac{m\pi R\alpha}{h} \cos n\beta \cos \omega t; \\ W &= C \sin \frac{m\pi R\alpha}{h} \sin n\beta \cos \omega t \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} A &= \int_{\alpha} h^3 \alpha^2 d\alpha; \\ A &= 2b^3 \int_0^{\frac{h}{R}} \alpha^2 d\alpha = \frac{2}{3} b^3 \left(\frac{h}{R}\right)^3; \\ B &= \int_{\alpha} h^3 \alpha d\alpha; \end{aligned}$$

$$m = 1, 2, 3 \dots; \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

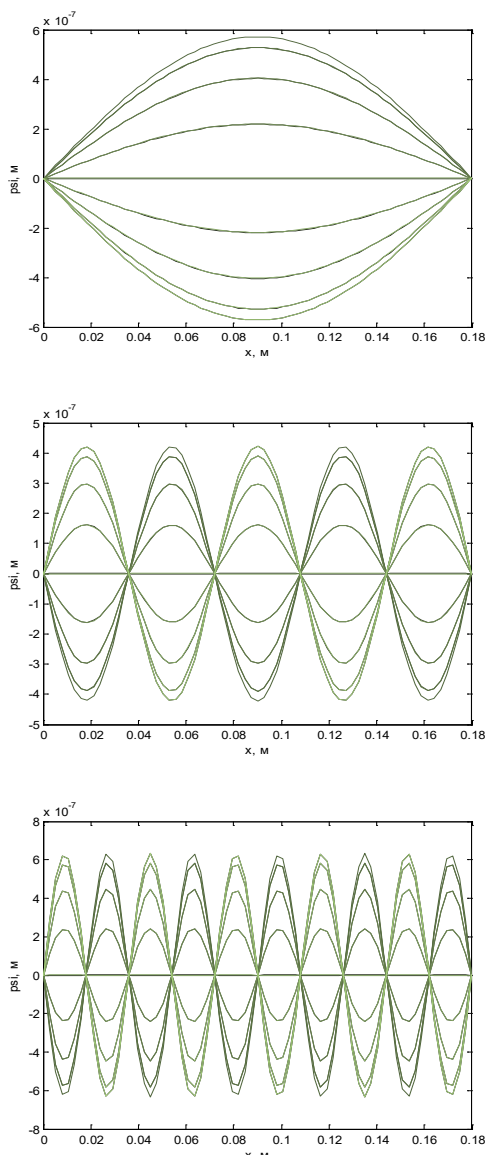


Рис. 3. Графіки форм коливань горлової частини. Згори вниз: на першій моді; на п'ятій моді; на десятій моді

Якщо оболонка симетрична щодо поперечного перерізу $\alpha = 0$ (рис.2), то $B = 0$.

Амплітуду зміщення можна визначити як модуль вектору $\vec{\xi}(u;V;W)$.

Таким чином,

$$|\vec{\xi}| = \sqrt{u^2 + V^2 + W^2}$$

Враховуючи той факт, що необхідно отримати чисельні значення амплітуд зміщення по нормалі, отримуємо спрощений варіант формули для розрахунку:

$$|\vec{\xi}| = \sqrt{W^2} = \sqrt{\left(C \sin \frac{m\pi R\alpha}{h} \sin n\beta \cos \omega t \right)^2} \quad (4)$$

де $R = 0,01525$ м – радіус циліндра; $h = 0,18$ м – довжина горлової частини; $b = 0,003$ м – товщина стінки горловини; $\beta = \frac{1-\mu^2}{E} R^2 \rho \omega^2$ – кутова координата в окружному напрямку [13].

III. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розрахунок був проведений у програмному середовищі Matlab® для випадку $R = 0,01525$; $b = 0,003$ м; $h = 0,18$ м; $\mu = 0,23$; $\rho = 2650$ кг/м³; $K = 1,2,3..$; $E = 63740 \cdot 10^6$ Па.

Для проведення аналізу отриманих результатів спочатку слід навести результати [6], отримані при проведенні експерименту (див. табл.2). В роботі було отримано 9 резонансних частот в діапазоні від 99 до 4060 Гц. Слід також врахувати, що на частоті 3978 Гц спостерігався резонанс усередині колби, в області горлової частини резонанс був відсутнім.

На частотах 3037 Гц, 3568 Гц і 4060 Гц резонанс в горловині був слабо виражений.

За допомогою програмного середовища Matlab® проведемо необхідні розрахунки за формулами (2) та (4), а результати розрахунку резонансних частот та амплітуд коливань на відповідних частотах зведемо до таблиці 3.

На рис.3 наведено деякі з графіків, що демонструють коливання твірної горлової частини резонатора з кроком $T/16$ по часу, де $T = \frac{1}{f_i}$ – період коливань; f_i - частота, що відповідає i -ій моді коливань. На графіках показано форми коливань для частот 2,56 Гц, 32,93 Гц та 113,98 Гц, що являють собою першу, п'яту та десятю моди коливань відповідно.

Позначимо помаранчевим кольором найбільш виразні резонанси у табл. 3. Відповідності між резонансними частотами отриманими у результаті розрахунку та експериментально встановлюємо з урахуванням позначок. Таким чином, наприклад, у якості частоти, що відповідає експериментальному резонансу 99 Гц обрана частота 113,98 Гц, а не 93,95 Гц.

ТАБЛИЦЯ 2 РЕЗОНАНСНІ ЧАСТОТИ РЕЗОНАТОРА, ОТРИМАНІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКСПЕРИМЕНТУ

№	1	2	3	4	5
Частота резонансу, Гц	99	893	1681	1947	2625
№	6	7	8	9	
Частота резонансу, Гц	3037	3568	3978	4060	



ТАБЛИЦЯ 3 РЕЗОНАНСНІ ЧАСТОТИ ГОРЛОВИНИ РЕЗОНАТОРА

№	1	2	3	4	5	6	7
$f, \text{Гц}$	2,56	7,24	13,88	22,45	32,93	45,32	59,62
$ \xi_{\max} , \text{М}$	5,72e-07	5,06e-07	1,24e-07	6,13e-07	4,21e-07	2,43e-07	6,36e-07
№	8	9	10	11	12	13	14
$f, \text{Гц}$	75,83	93,95	113,98	135,92	159,76	185,51	213,17
$ \xi_{\max} , \text{М}$	3,19e-07	3,52e-07	6,32e-07	2,07e-07	4,47e-07	6,05e-07	8,65e-08
№	15	16	17	18	19	20	21
$f, \text{Гц}$	242,73	274,21	307,59	342,88	380,07	419,18	460,19
$ \xi_{\max} , \text{М}$	5,28e-07	5,52e-07	3,76e-08	5,87e-07	4,82e-07	1,60e-07	6,24e-07
№	22	23	24	25	26	27	28
$f, \text{Гц}$	503,11	547,93	594,67	643,31	693,86	746,31	800,68
$ \xi_{\max} , \text{М}$	3,92e-07	2,77e-07	6,35e-07	2,87e-07	3,83e-07	6,26e-07	1,71e-07
№	29	30	31	32	33	34	35
$f, \text{Гц}$	856,95	915,13	975,21	1037,21	1101,12	1166,92	1234,63
$ \xi_{\max} , \text{М}$	4,75e-07	5,92e-07	4,91e-08	5,46e-07	5,34e-07	7,51e-08	6,01e-07
№	36	37	38	39	40	41	42
$f, \text{Гц}$	1304,26	1375,79	1449,23	1524,58	1601,83	1680,99	1762,06
$ \xi_{\max} , \text{М}$	4,55e-07	1,96e-07	6,31e-07	3,62e-07	3,09e-07	6,37e-07	2,53e-07
№	43	44	45	46	47	48	49
$f, \text{Гц}$	1845,04	1929,92	2016,71	2105,41	2196,02	2288,53	2382,95
$ \xi_{\max} , \text{М}$	4,12e-07	6,16e-07	1,35e-07	4,99e-07	5,77e-07	1,15e-08	5,66e-07
№	50	51	52	53	54	55	56
$f, \text{Гц}$	2479,28	2577,52	2677,66	2779,71	2883,67	2989,54	3097,31
$ \xi_{\max} , \text{М}$	5,13e-07	1,12e-07	6,10e-07	4,30e-07	2,32e-07	6,35e-07	3,29e-07
№	57	58	59	60	61	62	63
$f, \text{Гц}$	3207,00	3318,58	3432,08	3547,49	3664,80	3784,02	3905,14
$ \xi_{\max} , \text{М}$	3,43e-07	6,34e-07	2,18e-07	4,39e-07	6,08e-07	9,80e-08	5,21e-07
№	64	65	66	67			
$f, \text{Гц}$	4028,18	4153,12	4279,97	4408,72			
$ \xi_{\max} , \text{М}$	5,57e-07	2,60e-08	5,83e-07	4,897e-07			

ТАБЛИЦЯ 4 ПОРІВНЯННЯ РЕЗОНАНСНИХ ЧАСТОТ ОТРИМАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ТА В РЕЗУЛЬТАТІ РОЗРАХУНКУ

ф _{ек} , Гц	99	893	1681	1947	2625
ф _р , Гц	113,98	915,13	1680,99	1929,92	2677,66
Розбіжність, %	15,13	2,48	0,00	0,88	2,01

Як і очікувалось у [3], на частотах, що перевищують 3000 Гц та є найбільш близькими до резонансних частот, отриманих експериментально (позначені зеленим кольором у табл.3), резонанс у горловій частині буде виражений дещо слабше, у порівнянні з попередніми значеннями частот, тому при подальшому аналізі буде проводитись порівняльна оцінка перших п'яти частот, отриманих експериментально та розрахункових частот.

Для зручності оцінки частот отриманих експериментально ($f_{ек}$) та в результаті розрахунку (f_r), зведемо значення відповідних частот до однієї таблиці (див. табл.4).

Зазначимо розбіжність між розрахованими значеннями та значеннями, отриманими експериментально, відносно останніх, у відсотках з точністю до сотих.

Отримано значне відхилення між значеннями для першого резонансу (99 Гц, отримані експериментально), проте, враховуючи, що на практиці цей резонанс являє собою яскраво виражений резонанс колби, можна зробити припущення, що значний внесок матиме саме колба і точна оцінка можлива лише з урахуванням резонансної частоти колби.

Досить близькі значення до експериментальних були отримані для частот 893 Гц, 1681 Гц, 1947 Гц, 2625 Гц. Розраховані значення, близькі до зазначених, відповідають 30, 41, 44 та 52 модам коливань горлової частини. Для частоти 1681 Гц спостерігається точний збіг між експериментальним та розрахованим значенням.

Для частот 893 Гц та 2625 Гц спостерігається відхилення у 2-2,5%, що може бути недостатньо точним значенням у випадку одних задач, та допустимим для інших.

ВИСНОВОК

В результаті розрахунку були отримані значення амплітуд коливань горлової частини резонатора Гельмгольца на резонансних частотах.

Виходячи з отриманих результатів та їх аналізу, можна зазначити, що третій резонанс резонатору Гельмгольца точно співпав з частотою 41-ої моди коливань горлової частини; четвертий резонанс виявився близьким до частоти 44 моди коливань горлової частини.

Можна припустити, що деякі з додаткових резонансних частот резонатора Гельмгольца для наближеного розрахунку можуть бути отримані як частоти зазначених мод коливань горлової частини, до того ж при використанні наближень для частот 893 Гц та 2625 Гц слід також враховувати вимоги щодо точності результатів для вирішення конкретної задачі.

Для підтвердження або спростування такого припущення необхідно проаналізувати експериментальні та розрахункові значення для більшої кількості резонаторів.



Для отримання більш точних результатів, результатів для оцінки шостого, сьомого, восьмого та дев'ятого додаткових резонансів резонатора Гельмгольца та для урахування впливу наявності колби з точки зору значень резонансних частот необхідно проаналізувати резонансні частоти колби обраного резонатора. Тому метою подальших досліджень буде розрахунок та оцінка резонансних частот колби резонатора Гельмгольца.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] R. Craster та S. Guenneau, *Acoustic Metamaterials. Negative Refraction, Imaging, Lensing and Cloaking*, NY: Springer, 2012, p. 324.
- [2] J. Копытко, "Oglyad mozhylyvyh zastosovan akustychnyh metamaterialiv [The review of possible applications of acoustic metamaterials]," *Vcheni zapysky Tavriyskogo natsionalnogo universitetu imeni Vernadskogo*, vol. 30 (69), no. 2, 2019. pre-Publishing.
- [3] J. Копытко, «Rozrahunok rezonansnyh chastot gorlovoyi chastyny rezonatora Gelmoltsa [Calculation of the resonant frequencies of the throat part of the Helmholtz resonator],» *Mikrosystemy, elektronika ta akustyka*, т. 23, № 5, pp. 70-75, 2018, DOI: [10.20535/2523-4455.2018.23.5.147782](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.5.147782).
- [4] A. Rona, "The acoustic resonance of rectangular and cylindrical," *Journal of Algorithms and Computational Technology*, pp. 329-356, 1 October 2007, DOI: [10.1260/174830107782424110](https://doi.org/10.1260/174830107782424110).
- [5] L. Kela, "Resonant frequency of an adjustable Helmholtz resonator in a hydraulic system," *Archive of Applied Mechanics*, pp. 1115-1125, 16 December 2008.
- [6] V. Didkovskiy, S. Naida and V. Zaets, "Experimental study into the Helmholtz resonators' resonance properties over a broad frequency band," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 5 (97), pp. 34-39, 2019, DOI: [10.15587/1729-4061.2019.155417](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155417).
- [7] S. A. Najda and V. S. Didkovskiy, "Novye shirokopolosnye elektroakusticheskie pribory dlya medicyny [New broadband electroacoustic devices for medicine]," *Elektronika i svyaz*, pp. 211-216, 2010.
- [8] K.-L. Koai, T. Yang and J. Chen, "The Muffling Effect of Helmholtz Resonator Attachments to a Gas Flow Path," in *The Muffling Effect of Helmholtz Resonator Attachments to a Gas Flow Path*, West Lafayette, 1996.
- [9] C. Wu, L. Chen, J. Ni and J. Xu, "Modeling and experimental verification of a new muffler based on the theory of quarter-wavelength tube and the Helmholtz muffler," *SpringerPlus*, 19 August 2016, DOI: [10.1186/s40064-016-3060-1](https://doi.org/10.1186/s40064-016-3060-1).
- [10] D. Sun, L. Qiu, B. Wang and Y. Xiao, "Novel Helmholtz resonator used to focus acoustic energy of thermoacoustic engine," *Applied Thermal Engineering*, pp. 945-949, April 2009.
- [11] S. Zhang, L. Yin and N. Fang, "Focusing Ultrasound with an Acoustic Metamaterial Network," *Phys. Rev. Lett.*, 15 May 2009, DOI: [10.1103/PhysRevLett.102.194301](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.194301).
- [12] "Razdel 9. Kolebaniya plastin i obolochek [Section 9. Plate and shell vibrations]," [Online]. Available: <http://www.detalmach.ru/lectdinamika9.htm>. [Accessed 10 October 2018].
- [13] A. Chigarev та A. Poklnitskiy, «Analiz sobstvennykh chastot i form kolebaniy svobodno opertoy uprugoy tsilindricheskoy obolochki [Analysis of natural frequencies and mode shapes of the elastic simply supported cylindrical shell],» *Teoreticheskaya i prikladnaya mehanika : mezhdunarodnyiy nauchno-tehnicheskiiy sbornik*, № 32, pp. 141-146, 2017.

Надійшла до редакції 15 січня 2019 р.

УДК 534-16

Расчет амплитуд смещений в горловой части резонатора Гельмгольца на резонансных частотах

Копытько^f Ю. С., аспирант, ORCID [0000-0003-2771-5180](https://orcid.org/0000-0003-2771-5180)

e-mail yus.kopytko@aae.kpi.ua

Найда^s С. А., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-5060-2929](https://orcid.org/0000-0002-5060-2929)

e-mail s.naida@kpi.ua

Кафедра акустики и акустоэлектроники acoustic.kpi.ua

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Аннотация—Целью работы является анализ амплитуд колебаний в горловой части резонатора Гельмгольца на резонансных частотах. Предоставлен расчет амплитуд смещений горловины резонатора Гельмгольца при колебаниях на резонансных частотах с целью дальнейшей оценки взаимосвязи резонансных частот, полученных экспериментально, с резонансными частотами одного из основных элементов резонатора для создания широкополосных акустических систем или метаматериалов. Полученные численные значения амплитуд колебаний для первых



шестидесяти семи резонансных частот. Представлен анализ полученных результатов. Параметры горловины выбраны равными параметрам горловины одного из резонаторов исследованных экспериментально.

Библ. 13, рис. 3, табл. 4.

Ключевые слова — резонатор Гельмгольца; амплитуда колебаний горловины резонатора Гельмгольца, резонансы горловины резонатора Гельмгольца; акустический метаматериал, амплитуда смещений оболочки

UDC 534-16

Calculation of the Offset Amplitudes in the Helmholtz Resonators' Throat Part at the Resonance Frequencies

Yu. S. Kopytko^f, ORCID [0000-0003-2771-5180](https://orcid.org/0000-0003-2771-5180)

e-mail yus.kopytko@aae.kpi.ua

S. A. Naida^s, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-5060-2929](https://orcid.org/0000-0002-5060-2929)

e-mail s.naida@kpi.ua

Department of acoustics and Acoustoelectronics acoustic.kpi.ua

National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute named after Igor Sikorsky" kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—The purpose of the work is to analyze the amplitudes of the oscillations in the Helmholtz resonators' throat at the resonance frequencies.

This type of resonators is actively used to solve various problems in acoustics: is widely used as the basic element in the acoustic metamaterial structure (in particular, focusing metamaterials), as the basic element of muffler etc. So the relevance of the research related to Helmholtz resonators is increasing.

It is assumed as a simplification, that the Helmholtz resonator has only one resonant frequency, but the great number of additional resonances was detected in practice.

The new approach to the question of finding additional resonant frequencies is shown in this paper. Here is the proposition to consider the cavity as a system consisting of two more simple elements, to go by solving two more simple tasks and to bring the results together, to reconcile them.

The calculation of the resonant frequencies and the offset amplitudes of the Helmholtz resonators' throat are given for a frequency range from 0 to 4409 Hz. These results were used for further evaluating the relationship between the resonant frequencies, obtained experimentally (for Helmholtz resonator) with the calculated resonant frequencies of one of the main elements of the resonator. The existence of the additional resonances can help to improve old designs or to create new designs of the broadband acoustic systems or acoustic metamaterials based on Helmholtz resonators.

Using the Matlab[®] software environment, the necessary calculations to obtain the values of resonant frequencies and the values of the offset amplitudes in the range from 0 to 4200 Hz were made. The throat parameters were chosen equal to the throat parameters of one of the resonators investigated in the experiment.

As a result of the calculation, numerical values of the first sixty seven resonance frequencies and the values of the oscillation amplitudes on these frequencies are obtained. Some of these resonances will not have a significant effect on the resonances of the system, due to the smallness of their amplitudes of oscillations. This may explain the difference of the number of resonances obtained as a result of the calculation and experimentally (the smaller the amplitude of the oscillations, the more difficult to fix the resonance experimentally).

The calculated results were compared with the results obtained experimentally (9 resonant frequencies in the range from 99 to 4060 Hz were obtained experimentally). The analysis of the results is presented in the article. According to the results of the calculation and of the experiment, the significant resonances won't be observed in the throat part of the resonator at some resonant frequencies of the system (Helmholtz resonator). According to the results of the experiment the resonance of the bulb was detected on such frequencies.

To take into account the influence of the bulb on the value of the resonance frequencies of the Helmholtz resonator, it is necessary to analyze the resonance frequencies of the bulb of the selected resonator. Therefore, the purpose of further research will be to calculate and estimate the resonant frequencies of the Helmholtz resonator bulb.

Ref. 13, fig.3, tabl. 4.

Keywords — Helmholtz resonator; amplitude of oscillations of the Helmholtz resonators' throat, resonances of the Helmholtz resonators' throat; acoustic metamaterial, offset amplitude of the shell

