

АНОТАЦІЯ

Копитько Ю.С. Акустичні резонатори складної форми. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2020.

В дисертації вперше отримано такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод розрахунку додаткових резонансів, базуючись на окремому розрахунку значень резонансних частот горлової частини та порожнини резонатора Гельмгольца, з подальшим узгодженням цих значень.

2. Вперше запропонована модель знаходження резонансних частот резонаторів складної геометричної форми як систем з розподіленими параметрами.

3. Вперше дана оцінка величин пружних зв'язків між масами повітря в колбі, горлі та приєднаною масою над горлом.

4. Вперше досліджено модель резонатора складної форми, як систему з розподіленими параметрами та досліджено звукові поля всередині такої системи.

5. Вперше розраховано резонансні частоти та амплітуди коливань горлової частини резонатора Гельмгольца, а результати використано для розрахунку резонансних частот резонатора за рівняннями, отриманими для механічної моделі.

6. Досліджено точність розрахункових формул частоти власного резонансу резонатору Гельмгольца з урахуванням та без урахування приєднаної довжини горловини.

7. Досліджено вплив акустичного оформлення на резонансні частоти резонатора Гельмгольца.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесів коливання у резонаторах Гельмгольца на частотах близьких до резонансу, розробці методів дослідження та розрахунку додаткових резонансних частот, впливу акустичного оформлення на резонансні частоти резонаторів Гельмгольца, впливу параметрів резонатора на значення приєднаної довжини його горлової частини.

Зміст дисертаційного дослідження викладений у чотирьох розділах, у яких представлені та обґрунтовані основні результати роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та перераховано задачі дослідження, описано методи дослідження, надана інформація про наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячено огляду останніх публікацій з дослідженнями резонаторів складної форми. Зокрема розглянуто роботи, присвячені дослідженню власного резонансу та додаткових резонансних частот резонаторів та впливу параметрів резонаторів на їх акустичні характеристики. Обговорено необхідність більш детальних досліджень резонаторів складної форми та можливості, що стануть доступними у результаті таких досліджень.

У другому розділі проведено дослідження додаткових резонансних частот резонаторів складної форми, шляхом представлення моделі резонатора у вигляді системи із зосередженими параметрами. Отримано частотні рівняння для зазначених систем. Визначено орієнтовні порядки співвідношень коефіцієнтів пружності елементів такої системи та значення відношення приєднаної маси до маси середовища всередині горловини. За даними частотними рівняннями розраховано власні частоти резонансу резонаторів Гельмгольца та оцінено розбіжність значень, отриманих у результаті розрахунку та в результаті експерименту.

У третьому розділі проведено дослідження резонатора, шляхом представлення його моделі у вигляді механічної системи з розподіленими

параметрами, базуючись на теорії хвильоводів. Проведено розрахунки для ситуації кубічного резонатора, що працює у повітрі та заповнений повітрям. Досліджено звукові поля всередині горлової частини та порожнини резонатора.

Четвертий розділ присвячено розрахунку та аналізу резонансних частот та амплітуд коливань горлової частини резонаторів Гельмгольца, досліджених у експерименті, що проводився раніше на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем. Надано висновки щодо отриманих результатів.

У п'ятому розділі проведено аналіз публікацій, в яких досліджується вплив акустичного оформлення на значення власної резонансної частоти резонатору Гельмгольца. Обґрунтовано той факт, що вплив акустичного оформлення на частоту власного резонансу резонатору Гельмгольца досліджено недостатньо і показано, що даний параметр має значний вплив на частоту власного резонансу резонатора. Проаналізовані розрахункові формули частоти власного резонансу з урахуванням та без урахування приєднаної довжини горловини. У цьому розділі надані результати чисельного розрахунку власних частот за наведеними формулами для резонаторів з однаковими розмірами та проведено аналіз отриманих результатів. За допомогою комп'ютерного моделювання проведено оцінку впливу акустичного оформлення на частоту власного резонансу для цих резонаторів. Надано висновки щодо точності формул та впливу акустичного оформлення на значення частоти власного резонансу резонатора Гельмгольца.

Практичне значення одержаних в дисертаційній роботі результатів полягає в тому, що результати досліджень можуть бути використані для вирішення акустичних задач, що потребують точності розрахунку частоти власного резонансу резонатору Гельмгольца з похибкою не більше 1%, у тих випадках, де стандартні формули дають похибку близько 3% (простіші

формули з урахуванням приєднаної довжини) і до 75% для розрахунків за формулою Гельмгольца.

Володіння інформацією щодо наявності та значень додаткових резонансів може бути використано для удосконалення широкосмугових акустичних систем. Врахування впливу наявності акустичного оформлення на власну резонансну частоту резонатора Гельмгольца дозволить покращити результати розробки метаматеріалів для отримання значення робочої частоти метаматеріалу, більш близького до запланованого.

Результати роботи впроваджені в освітній процес кафедри Акустичних та мультимедійних електронних систем Національного Технічного Університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» при читанні лекцій та проведенні лабораторних робіт з дисциплін: "Фізична акустика", "Сучасні тенденції в електроакустичних технологіях", "Шуми та вібрації".

Ключові слова: резонатори складної форми, резонатор Гельмгольца, частота резонансу резонатора, частотні рівняння, резонансні частоти резонатора Гельмгольца, акустичний резонатор, додаткові резонанси, власний резонанс, додаткові резонансні частоти резонатора, акустичне оформлення резонатора, приєднана довжина горловини резонатора, кубічний резонатор.

SUMMARY

Kopytko Y.S. Acoustic resonators of complex shape. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Philosophy Doctor, in specialty 171 “Electronics”.
- National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2020.

The following scientific results were obtained in the dissertation for the first time:

1. For the first time, the method for calculating of the additional resonances based on the separate calculations of the values of the resonant frequencies of the throat part and of the Helmholtz resonator cavity and the subsequent harmonization of these values is proposed.

2. For the first time, a model of a complex-shaped resonator as a system with lumped parameters is investigated for finding resonant frequencies.

3. For the first time, the values of elastic bonds between the masses of air in the flask, throat and the attached mass above the throat are estimated.

4. For the first time, a model of a resonator of a complex shape, as a system with distributed parameters, was investigated, and the sound fields inside such a system were investigated.

5. For the first time, the resonant frequencies and amplitudes of oscillations of the throat part of the Helmholtz resonator were calculated and the results were used to calculate the resonant frequencies of the resonator according to the equations obtained for the mechanical model.

6. The accuracy of the calculated formulas of the self-resonant frequency formulas of the Helmholtz resonator is investigated, taking into account and without taking into account the added neck length.

7. The effect of acoustic performance on the resonant frequencies of the Helmholtz resonator is investigated.

The dissertation is devoted to research of the oscillation processes in the Helmholtz resonators at frequencies close to resonance; to develop the methods of

the research and calculation of the additional resonances; to research influence of the acoustic design on the resonant frequencies of the Helmholtz resonator and influence of the resonator parameters on the value of the attached length of its throat part.

The content of the dissertation is outlined in four sections, which present and substantiate the main results of the work.

The urgency of the dissertation is substantiated in the introduction. The purpose and lists the research tasks are formulated; the methods of research are described; the information about the scientific novelty and practical significance of the obtained results is provided in this part of dissertation.

The first chapter is devoted to a review of recent publications on researches of the complex-shaped resonators. In particular, the works devoted to investigations of the self-resonant frequency and additional resonant frequencies, and the influence of resonator parameters on their acoustic characteristics. The need for more detailed studies of Helmholtz resonators and the possibilities that will become available as a result of such studies are discussed.

The second chapter investigates the additional resonant frequencies of the complex-shaped resonators by presenting the resonator model as a system with lumped parameters. The approximate values of ratios of the coefficients of elasticity of the elements of such a system and the values of the ratio of the attached mass to the mass of the medium inside the neck are determined. The natural resonance frequencies of the described resonators were calculated and the difference of the values obtained as a result of the calculation and as a result of the experiment was estimated.

In the third section, the resonator is studied by presenting its model in the form of a mechanical system with distributed parameters, based on the theory of waveguides. Calculations were made for the situation of a cubic resonator operating in air and filled with air. Sound fields inside the throat and the cavity of the resonator were studied.

The fourth chapter is devoted to the calculation and analysis of resonant frequencies and amplitudes of oscillations of the neck of the Helmholtz resonators, investigated in the experiment, previously conducted at the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems. Conclusions on the obtained results are given.

The fifth chapter analyzes the publications investigating the effect of acoustic performance on the self-resonant frequency of the Helmholtz resonator. It's substantiated that the effect of an acoustic performance on the self-resonance frequency of the Helmholtz resonator hasn't been sufficiently studied and the presence of an acoustic performance has a significant influence on this frequency. The calculated formulas of the self-resonant frequency of the Helmholtz resonator with taking into account and without taking into account the added neck length were analyzed. The results of the numerical calculation of the self-resonant frequencies according to the formulas given for the resonators with the same dimensions are given and the obtained results are analyzed in this chapter. The impact of an acoustic performance on the resonance frequencies of these resonators was evaluated using computer modeling. The conclusions are given regarding the accuracy of the formulas and the effect of acoustic performance on the value of the self-resonant frequency of the Helmholtz resonator.

The practical significance of the results obtained in the dissertation is that the research results can be used to solve acoustic problems requiring the accuracy of calculating the natural resonance frequency of the Helmholtz resonator with an error of no more than 1% in cases where standard formulas give an error of about 3% (simpler formulas that take into account the attached length) and up to 75% for calculations using the Helmholtz formula.

Possession of information about the presence and values of additional resonances can be used to refine broadband acoustic systems. Taking into account the influence of the presence of an acoustic performance on the natural resonant frequency of the Helmholtz resonator will improve the results of the development

of metamaterials to obtain a value of the working frequency of the metamaterial that is closer to the planned one.

The results of the work are introduced into the educational process of the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" when giving lectures and conducting laboratory works in the following disciplines: "Physical acoustics", "Modern trends in electroacoustic technologies", "Noises and vibrations".

Keywords: resonators of complex shape, Helmholtz resonator, the resonance frequency of the resonator, frequency equations, resonant frequencies of Helmholtz resonator, acoustic resonator, additional resonances, natural resonance, additional resonant frequencies of the resonator, acoustic performance of the resonator, the attached length of the resonator neck, cubic resonator.

Список публікацій здобувача

1. Копитько Ю. С. Розрахунок резонансних частот горлової частини резонатора Гельмгольца. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*. 2018. Т. 23, №5. С. 70-75, DOI: 10.20535/2523-4455.2018.23.5.147782. ISSN: 2523-4455.
2. Копитько Ю. С., Найда С.А. Розрахунок амплітуд зміщень горлової частини резонатора Гельмгольца на резонансних частотах. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*. 2019. Т. 24, №1. С. 79-84, DOI: 10.20535/2523-4455.2019.24.1.164315. ISSN: 2523-4455.
3. Kopytko Y., Zaets V., Naida S. et al. Research of resonance properties of Helmholtz resonators. *ScienceRise*. 2020. №. 4 (69), С.10-16. DOI: 10.21303/2313-8416.2020.001389. ISSN: 2313-8416.
4. Копитько Ю. С. Огляд можливих застосувань акустичних метаматеріалів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30(69), №2, Ч. 2, С. 221-227. ISSN: 2663-5941.
5. Копитько Ю. С. Многослойный пьезокерамический преобразователь для ультразвукового уровнемера. *Modern problems and ways of their solution in science, transport and education '2014. Сборник научных трудов SWORLD*. (м. Одеса, 17-28 червня 2014 р.). Одеса. 2014. Т. 3, №2, С. 72-75.
6. Копитько Ю. С. Преобразователи на изгибных колебаниях для ультразвуковых уровнемеров. *VII міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2015». Збірник статей*. (м. Київ, 15-17 квітня 2015р.). Київ. 2015. С. 83-85.
7. Копитько Ю. С. Выбор концентратора для ультразвукового уровнемера. *Мир науки и инноваций. SWORLD*. Одеса. 2016. Т. 4, №1(3), С. 71-75.