

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

Кафедра акустики та акустоелектроніки

«На правах рукопису»

УДК 534.832

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ___ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) _____ 171 Електроніка

на тему: Вплив звукопоглинальних властивостей екранів на їх ефективність

Виконала: студентка 6 курсу, групи ДГ-81мп

_____ Теленга Анна Олексіївна _____
(підпис)

Науковий керівник доц. каф. А та АЕ, к.т.н., доц. Заєць В.П. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____ _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. каф. ЗТРІ, к.т.н., доц. Попович П. В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ акустики та акустoeлектроніки _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
(освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) _____ 171 Електроніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

_____ Теленга Анні Олексіївни _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації _____ Вплив звукопоглинальних властивостей екранів на їх ефективність _____

науковий керівник дисертації _____ Заєць В.П., к.т.н., доцент кафедри А та АЕ, _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» 11. 2019 р. № 3859-с

2. Строк подання студентом дисертації «10» 2019 року _____

3. Об'єкт дослідження _____ Звукопоглинання шумозахисних екранів резонансного та резонаторного типів _____

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) _____

Розрахунок та моделювання шумозахисного екрану із вбудованими резонаторами та звукопоглинального шару. _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

_____ 1) Аналітичний огляд літературних джерел _____

- 2) Розробка плану проведення експериментального дослідження
- 3) Підготовка до проведення моделювання
- 4) Проведення моделювання та аналіз отриманих даних
- 5) Оформлення результатів дослідження у вигляді патенту та магістерської дисертації

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

Патент України на корисну модель UA 130089 U, E01F 8/00. Шумо-захисний екран / В.П. Заєць, С.Г. Котенко, А.О. Теленга. – № u201805525; заявл. 18.05.2018; опубл. 26.11.2018. – Бюл. № 22/2018.

A. Prodeus, I. Kotvytskyi, A. Garasiuk, A. Semenchuk, A. Telenga, S. Klymenko, V. Lozinskyi, O. Andriichenko, O. Denysenko. Subjective Assessment of the Influence of Room Characteristics on Intelligibility of Noised Speech. 2019 IEEE 39th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO), 2019, pp. 449 – 453.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 12 лютого 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	12.02.2018-25.05.2018	
2	Розробка моделі для експериментального дослідження	26.05.2018-11.10.2018	
3	Проведення моделювання та обробка результатів	12.10.2018-15.05.2019	
4	Оформлення ПЗ та презентації	16.05.2019-06.12.2019	

Студент

_____ (підпис)

Теленга А.О.

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Заєць В.П.

_____ (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Вплив звукопоглинальних властивостей екранів на їх ефективність// Дисертація на здобуття ступеня вищої освіти «магістра» Теленга А. О. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустики та акустоелектроніки, група ДГ-81мп. – К.:НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2019. с. – 81, рис. – 54, табл. – 24.

Шумозахисні екрани стали в наш час майже найрозповсюженішим засобом захисту від шуму. Відомо вже десятки фірм, що виготовляють шумозахисні екрани, такі як: «Acoustic group», «NPT», «Allbiz», «Scity», «DoorHan», «Bongard & Lind», CIR «Ambiente».

В Україні використання шумозахисних екранів почалось не так давно, а отже і побачити їх можна лише у деяких великих містах та міжміських трасах.

За роки використання шумозахисних конструкцій, окрім їх позитивних властивостей, виявили і недоліки. Екранам притаманна мала довговічність, через використання застарілих технологій (наприклад, екрани з тонколистової оцинкованої сталі, давно не застосовуються за кордоном). Нерідко екрани не забезпечують необхідних звукоізоляційних та звукопоглинальних властивостей, мають низьку ефективність через недоліки в проектуванні і помилки при монтажі.

Для підвищення ефективності шумозахисного екрану було вирішено розробити нове конструктивне рішення, щодо його побудови.

Метою даної роботи є визначення ефективності шумозахисного екрану при використанні резонаторів Гельмгольца такими, що вбудовані в екран. Також розрахунок резонаторів та поглиначів для конкретних задач.

Результати роботи були оприлюднені у вигляді патенту України на корисну модель UA 130089 U, E01F 8/00. Шумо-захисний екран / В.П. Заєць, С.Г. Котенко, А.О. Теленга. – № u201805525; заявл. 18.05.2018; опубл. 26.11.2018. – Бюл. № 22/2018.

Ключові слова: шумозахисний екран, ефективність, рівні звукового тиску, рівні звуку, резонатор Гельмгольца, звукопоглинальні матеріали.

ABSTRACT

Effect of sound absorbing properties of screens on its effectiveness // Thesis for a master's degree by Teleng A.O. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Faculty of Electronics, Department of acoustics and acoustoelectronics , group DG-81mp. - K.: NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2019. p. – 81, fig. – 54, tab. – 24.

Nowadays, noise-protection screens have become almost the most widely used means of protection against noise. There are already dozens of manufacturers of noise protection screens, such as Acoustic group, NPT, Allbiz, Scity, DoorHan, Bongard & Lind, CIR Ambiente.

Using the noise protection screens have began not so long ago In Ukraine, therefore it can only be seen in some large cities and long-distance routes.

Over the years of using noise-protective structures, in addition to their positive properties, was revealed its shortcomings. The screens have a low durability, due the using of outdated technologies (for example, screens of thin sheet zinc steel, haven't been used abroad already for long time). Often screens don't provide the necessary soundproofing and sound absorbing properties, its have low efficiency due to design flaws and installation errors.

To improve the effectiveness of the noise protection screen was decided to develop a new constructive solution for its construction.

The purpose of this work is determination the effectiveness of the noise protection screen using Helmholtz resonators as embedded in the screen. Also was applied the calculation of resonators or absorbers for specific tasks.

The results of the work were announced as a patent of Ukraine on the utility model UA 130089 U, E01F 8/00. Noise-protection screen / V.P. Zayets, S.G. Kotenko, A.O. Telenga - № u201805525; stated. 05/21/2018; published 11/26/2018 - BüL No. 22/2018.

Key words: noise protection screen, efficiency, sound pressure level, sound levels, Helmholtz resonator, sound absorbing materials.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРЧЕНЬ	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	13
1.1. Класифікація поглиначів звуку	14
1.2. Застосування звукопоглинальних матеріалів до шумозахисних екранів	20
1.3. Резонатори Гельмгольца	22
1.4. Особливості зниження шуму в каналі резонатором Гельмгольца.....	30
1.5. Добротність резонатора Гельмгольца.....	34
1.6. Висновки	36
РОЗДІЛ 2. ПОГЛИНАЧІ РЕЗИСТИВНОГО ТИПУ	37
2.1. Аналіз шумового спектру транспортних потоків	37
2.2. Абсолютно відбиваючий екран	39
2.3. Поглинаючий шумозахисний екран.....	41
2.4. Висновки	44
РОЗДІЛ 3. ПОГЛИНАЧІ ЗВУКУ РЕЗОНАНСНОГО ТИПУ	45
3.1. Підготовка проведення експерименту	45
3.1.1. Модель екрану, що має повздовжні порожнини	45
3.1.2. Модель екрану, що має гофровану форму	46
3.1.3. Модель екрану із резонаторами Гельмгольца.....	46
3.2. Результати моделювання.....	47
3.2.1. Модель.....	47
3.2.2. Модель екрану, що має гофровану форму	49
3.2.3. Модель екрану із резонаторами Гельмгольца.....	51
3.3. Висновки	57

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	58
4.1. Опис ідеї проекту	58
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	61
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску старпат-проекту.....	61
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	67
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	70
4.6. Висновок до 4 розділу	72
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	76
ДОДАТКИ.....	78
Додаток А.....	78
Додаток Б	79
Додаток В.....	80
Додаток Г	81

ПЕРЕЛІК СКОРЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

SPL – рівень звукового тиску

АЕ – акустичний екран

PML – perfectly matched layer

ВСТУП

З сучасним розвитком цивілізації і всіх областей людської діяльності відбуваються і значні зміни навколишнього світу. Зокрема, збільшуються рівні шуму. В першу чергу це стосується автомобільних доріг з великою пропускну здатністю, залізничного транспорту, промислових об'єктів. У той же час висуваються все жорсткіші умови щодо комфортного проживання населення. І серед перших - тиша. Тут постає гостре питання - як поєднувати стрімку урбанізацію із забезпеченням комфорту для кожного громадянина. Простим рішенням в такому непростому питанні є шумозахисні екрани.

Відомо, що рівні шуму в житловій забудові від автомобільного транспорту збільшуються в середньому на 1 децибел в рік, незважаючи на те, що самі автомобілі з кожним роком стають менш гучними. Це відбувається через збільшення транспортних потоків. Основний напрямок зниження шуму в житловій забудові полягає в застосуванні локальних засобів захисту від шуму, до яких відносяться шумозахисні споруди типу акустичних екранів. Правда, у цього методу є недолік - встановлювати екрани можна далеко не скрізь.

Найбільш часто використовують шумозахисні екрани на автомобільних дорогах. Адже саме автомобільні дороги є основним джерелом шуму в усіх населених пунктах країни. Особливо це відноситься до великих автострад - постійний потік машин (в тому числі і важкої техніки) створює безперервний і дуже сильний рівень шум, який доставляє величезний дискомфорт оточуючим, якщо біля автостради розташовані житлові будинки. Шумозахисні панелі, виготовлені за спеціальною технологією, запобігають розповсюдженню шуму від його джерела.

Діапазон застосування шумозахисних екранів досить широкий. Безумовно, їх основне призначення - захист від автомобільного шуму. Вони встановлюються по обидва боки дороги і не дозволяють автомобільному шуму поширитися за її межі. Це дуже зручно, коли житлові будинки розташовані поблизу дороги.

Області застосування шумозахисних екранів:

- Залізничні колії - сфера використання шумозахисних панелей. Гул поїзда і стукіт коліс об рейки - моторошні звуки, особливо, якщо вони лунають поблизу від населеного пункту і серед ночі. Встановлення шумозахисних екранів в даних випадках є порятунком.
- Кафе і ресторани, розташовані поблизу від автомобільних доріг часто ізолюються від шуму за допомогою шумоізоляційних панелей. Так, сидячи в кафе за столиком, відвідувач може спостерігати проїжджаючі поблизу автомобілі, але абсолютно не чути їх шуму і насолоджуватися тишею і спокоєм.
- Приватні котеджі теж досить часто огорожуються шумоізоляційними екранами. Це допомагає врятувати від того ж шуму доріг, а також від будь-яких інших шумових явищ, наприклад, криків сусідів.
- Мости, також стали обладнуватися звукоізоляційними панелями для запобігання поширенню шуму на великі відстані за межі самого моста.

Отже, для забезпечення вищого рівня життя людей було вирішено підвищити звукоізоляційні властивості шумозахисних екранів за рахунок їх конструктивних змін.

Актуальність даної роботи полягає у дослідженні впливу вбудованих в шумозахисний екран резонаторів Гельмгольца, а також вплив звукопоглинального матеріалу, що розміщено в об'ємі резонатора на його ефективність.

Резонатор Гельмгольца – замкнутий повітряний об'єм, що приєднаний до навколишнього середовища через малий отвір або трубку (горло). Характерна особливість такого резонатора (акустичного) в тому, що довжина хвилі його власних НЧ-коливань значно більше розмірів акустичного резонатора.

Для акустичного резонатора з горлом (рис.1) власна частота дорівнює [1]:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}}, \quad (1)$$

де c - швидкість звуку в повітрі, S - площа поперечного перерізу горла, l - довжина трубки, V - об'єм резонатора.

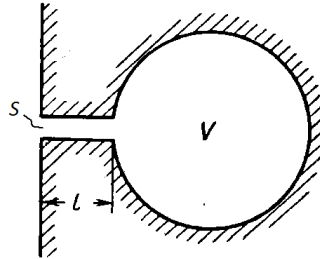


Рис.1. Резонатор Гельмгольца

Якщо акустичний резонатор розмістити в гармонійне звукове поле з частотою f_0 , в ньому виникають коливання з амплітудою, що у багато разів перевищує амплітуду поля (резонанс). У негармонічному звуковому полі акустичний резонатор реагує тільки на коливання з частотою f_0 . При наявності тертя в горлі акустичного резонатора в ньому виникає сильне поглинання звуку на частоті f_0 , що використовується для створення резонансних звукопоглиначів в архітектурній акустиці. Акустичні резонатори, розміщені на стінках звукопроводу, служать як елементи резонансних поглиначів для зменшення передачі НЧ-шуму по звукопроводу. «Бульбашки» в рідині і повітряні порожнини в деяких інших середовищах (наприклад, гумі) також є акустичними резонаторами, тому наявність великої кількості «бульбашок» у воді викликає сильне поглинання звуку, що перешкоджає поширенню звукових хвиль [16].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основні принципи захисту житлової забудови від шуму - складна проблема, яку треба вирішити за допомогою архітектурних засобів шляхом проведення комплексу містобудівних та будівельно-акустичних заходів. При розробці техніко-економічного обґрунтування, генерального плану міста, детальної планування його районів, а також проектів будівництва житлових мікрорайонів необхідно перш за все передбачити містобудівні заходи зменшення шуму в будівництві. Це дозволить в деяких випадках обійтися без спеціальних будівельно-акустичних заходів щодо захисту від шуму або зменшення витрат на їх проведення [13].

Існують декілька методів зниження транспортного шуму:

- 1) Розміщення транспортної магістралі подалі від зони, що захищається від шуму.
- 2) Зменшення інтенсивності руху транспортних засобів.
- 3) Розташування між дорогою та територією, що захищається від шуму, зони зелених насаджень.
- 4) Створення штучних або використання природних ландшафтних утворень (виїмки, ґрунтові насипи тощо).
- 5) Розміщення забудови нижче транспортної магістралі.
- 6) Розташування між транспортною магістраллю та територією, що потребує захисту, шумозахисних екранів, галерей тощо [2].

Якщо немає змоги заздалегідь правильно спроектувати житлову забудову але потрібно позбавитись від шумового впливу на прилеглі заселені людьми території, то потрібно застосовувати шумозахисні екрани.

При необхідності істотно знизити енергію відбитих звукових хвиль застосовуються матеріали або конструкції, що володіють більш високими коефіцієнтами звукопоглинання і отримали назву звукопоглинальних.

1.1. Класифікація поглиначів звуку

Поглиначі звуку класифікують як суцільні та пористі. Всі суцільні звукопоглинальні матеріали мають акустичний опір майже завжди більше, ніж у повітря, а пористі - в більшості випадків менше. Пористі матеріали завжди комбінують із суцільними, розташовуючи суцільні позаду пористих. При цьому найменше поглинання у пористого матеріали виходить при його розташуванні впритул до стіни з добре відбиваючого суцільного матеріалу, а найбільше - при розташуванні його на відстані чверті довжини звукової хвилі (в повітрі) від поверхні добре відбиваючого матеріалу. Дещо менша різниця в поглинанні виходить при відстані $\frac{3}{4}\lambda$ та $\frac{5}{4}\lambda$. При більшій відстані від відбиваючої стіни коефіцієнт поглинання залишається постійним.

Існує також інша класифікація [1]:

1) Волокнисто-пористі поглиначі.

Потрапляючи на звукопоглинальний матеріал звукові хвилі викликають коливання повітря у вузьких порах – каналах волокнисто-пористого матеріалу, виникає тертя і, як результат, - термодинамічні втрати. Пори таких матеріалів мають вигляд вузьких каналів, що допускають наскрізне продування потоком повітря.

Найрозповсюдженіша конструкція таких поглиначів – облицювальна. Такі поглиначі, зазвичай, виготовляють із плоских плит або об'ємних пірамід, що розташовуються впритул або на деякій відстані від стіни (піраміди спрямовані гострими кутами до приміщення).

Поглинання у таких конструкцій більше, ніж у плоских плит. Величина коефіцієнта поглинання залежить від товщини звукопоглинального матеріалу,

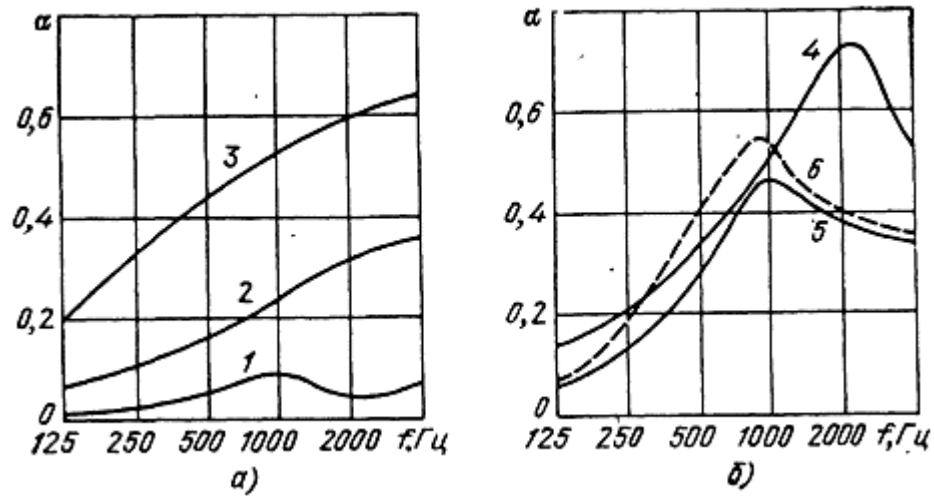


Рис.2. Частотні характеристики коефіцієнта поглинання волокнисто-пористих матеріалів.

де, 1 – вапняна штукатурка по дерев'яній обрешітці; 2 – ворсовий килим; 3 – плита арбориту товщиною 20 мм; 4 – плита фіброакуститу в товщиною 3,5 см; 5 – драпування на стіні; 6 – драпування на відстані 10 см від стіни.

З рис 1. Видно, що такі матеріали дають виграш у поглинанні високочастотної області спектру звукової хвилі та є неефективними в низькочастотній області.

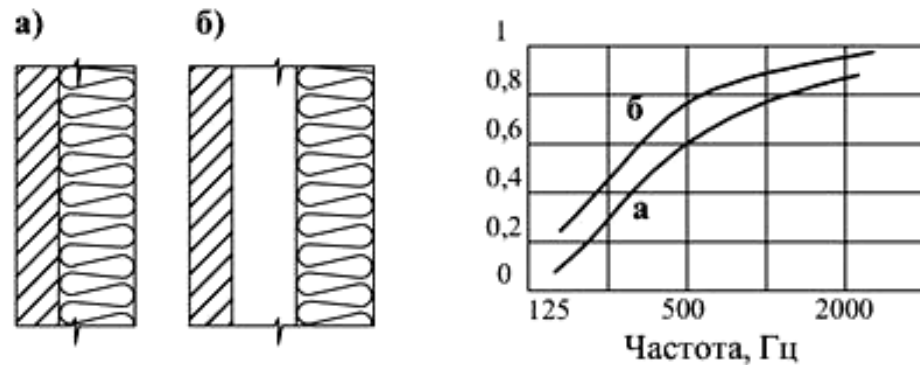


Рис. 3. Пористі поглиначі звуку: без повітряного зазору (а), з повітряним зазором (б)

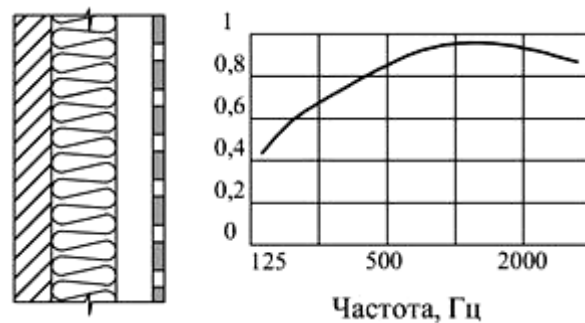


Рис.4. Пористий поглинач звуку із перфорованою пенеллю

2) Мембранні поглиначі.

Являють собою раму, на якій закріплені тонкі листи фанери, металу, клейонки та інших матеріалів. Під впливом падаючої звукової хвилі гнучкі елементи конструкції починають коливатись., за рахунок внутрішнього тертя в них відбувається перетворення кінетичної енергії в теплову.

Мембранні поглиначі представляють собою натягнутий холст або тонкий лист фанери, під яким розташовано демпфуючий матеріал (із великою в'язкістю).

Щит із натягнутим холстом називають щитом Бекеші (рис.3).

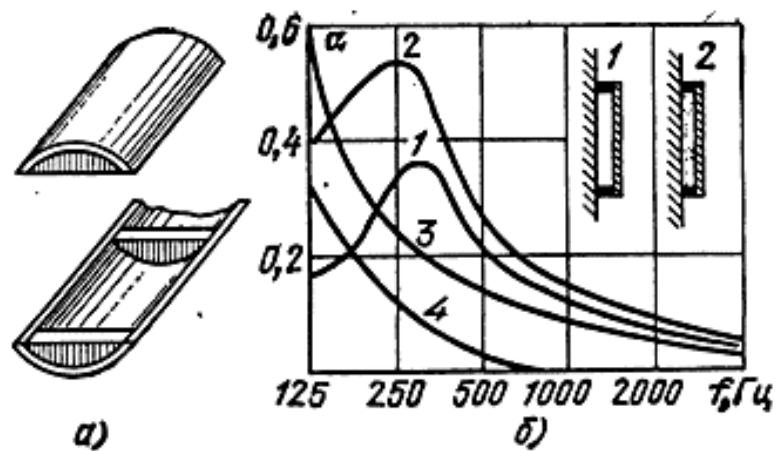


Рис.5. Зовнішній вигляд (а) та коефіцієнти поглинання (б)

Найбільше поглинання відбувається на резонансних частотах. Для холста, що натягнуто із силою F резонансні частоти визначаються:

$$f_p = \frac{k}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho t b}}, \quad (2)$$

де ρ - густина матеріалу холста; l, b, t - довжина, ширина та товщина холста; k - порядок резонансної частоти.

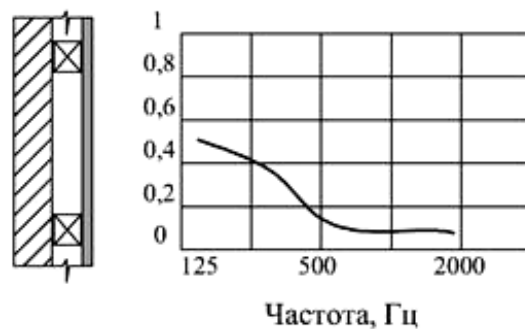


Рис.6. Конструкція (а) та коефіцієнти поглинання (б)

3) Резонансні поглиначі.

Роль акустичного резонатора може грати будь-який об'єм повітря, обмежений стінками і такий, що володіє власними частотами коливань, наприклад труба кінцевої довжини. Однак, така труба має безліч нормальних коливань і тому буде резонувати на безліч гармонійних коливань. Зручніше, звичайно, застосовувати такі резонатори, які «реагують» на одну певну частоту зовнішнього гармонійного впливу.

Для розрахунку параметрів резонатора враховують ефективну «масу отвору»:

$$m = \frac{1}{2} \pi^2 \rho a^3, \quad (3)$$

де $S = \pi a^2$, a – радіус отвору горла резонатора.

Проте, ефективна «маса отвору» залежить не лише від його площі, але і від форми. Так, наприклад, коли форма отвору мало відрізняється від кругової, то остання формула дає достовірні результати. Ефективна маса еліптичного отвору із співвідношенням сторін 2:1 дає результат на 3 % менший ніж для круглого.

Перфоровані резонансні поглиначі – представляють собою матрицю повітряних резонаторів, що заповнені звукопоглинальним матеріалом.

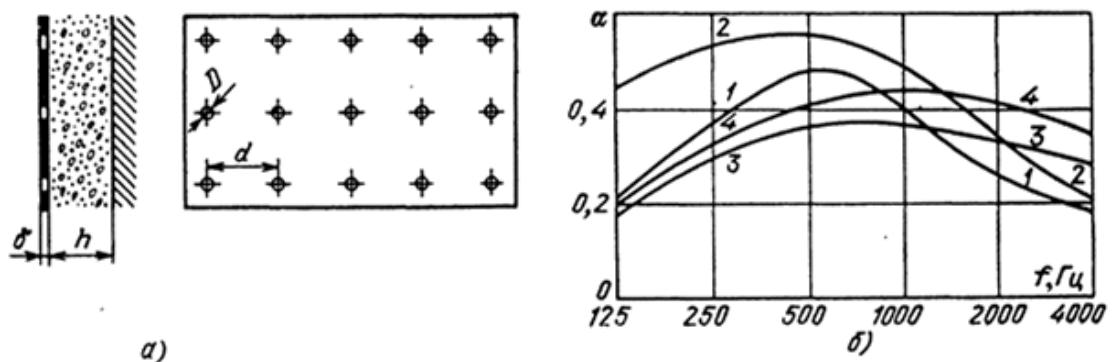


Рис.7. Розріз (а) та коефіцієнти поглинання перфорованих конструкцій (б)

Найбільш відома конструкція резонаторних поглиначів – перфорована панель, що розташована на відносі від стіни. Така конструкція розглядаєть як масив резонаторів. Якщо перфорація розподілена по панелі рівномірно, то такий поглинач буде мати типову резонансну криву поглинання. Якщо

перфорація розподілена по панелі нерівномірно, то можна розрахувати резонансну криву.

Для рівномірного розподілу резонаторів по панелі резонансна частота визначається:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l_n d^2 h}}, \quad (4)$$

де S – площа поперечного перерізу отвору; $l_n = \delta + 0,5\sqrt{\pi S}$ - ефективна товщина панелі; δ - товщина панелі; h - відстані від стіни; d - відстань між отворами резонаторів.

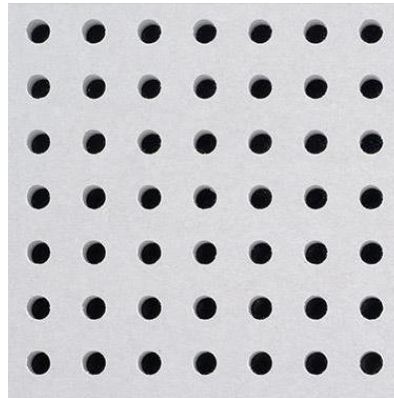


Рис.8. Приклад перфорованої резонаторної панелі

Відома конструкція резонаторних поглиначів – панель із вбудованими щілинами, що розташована на відносі від стіни. Резонансна частота в даному випадку:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{l_n d h}}, \quad (5)$$

де b - ширина щілини; d - відстань між щілинами; $l_n = \delta + 0,5\sqrt{\pi S}$ - ефективна товщина панелі; δ - товщина панелі; h - відстані від стіни.

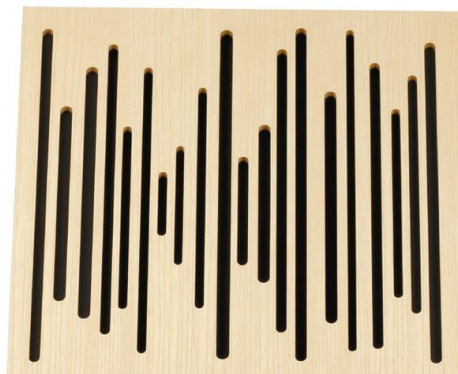


Рис.9. Приклад резонаторної панелі із вбудованими щілинами

Конструкція із вбудованими резонаторами Гельмгольца – найпростіший випадок: посуд сферичної форми із відкритою горловиною. Повітря в горловині являє собою коливальну масу, а об'єм повітря в сферичному посуді – гнучкий елемент. Основна частина кінетичної енергії коливань зосереджується в горлі резонатора, де коливальна швидкість часток повітря має найбільшу величину [14].

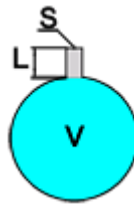


Рис.10. Резонатор Гельмгольца

В самому резонаторі можна збурити ті хвилі, довжина яких є значно меншою за фізичні розміри резонатора:

$$\lambda \leq \sqrt[3]{V} \quad (6)$$

Акустичні резонатори можна використовувати як системи, що підсилюють звукові тиски чи послаблюють їх на певних діапазонах звукових хвиль. Підсилювачем звуку можна представити той самий резонатор Гельмгольца, але його збудження відбувається із середини.

Якщо резонатор Гельмгольца збуджувати ззовні, то він перетворюється на ежекторний фільтр, тобто таким, що поглинає звукову енергію (рис. 11).

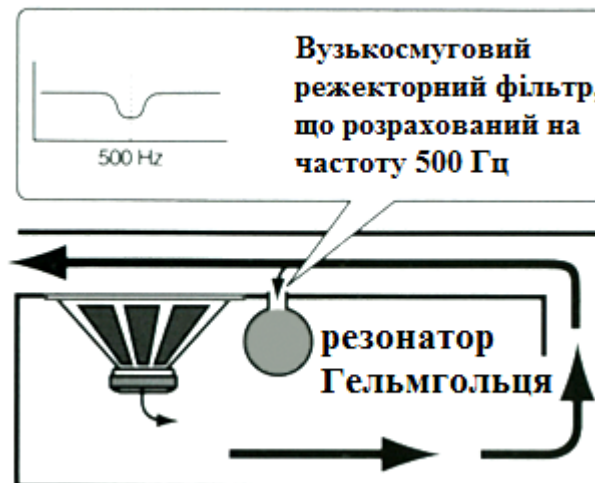


Рис.11. Приклад використання резонаторів Гельмгольца

Отже, якщо форма резонатора та спосіб його закріплення впливає на його ефективність, або резонансну частоту, то потрібно проводити подальші дослідження цього явища, щоб при розрахунку резонаторів для шумо-захисного екрану надати найбільш достовірні результати.

1.2. Застосування звукопоглинальних матеріалів до шумозахисних екранів

Шумозахисний екран працює за принципом відбиття звукової хвилі, але на вільних ребрах звук дифрагує і проникає за екран. При конструюванні екрану характерні наступні процеси:

- Вібиття звуку від екрану;
- Дифракція звуку на ребрі екрану;
- Часткове проникнення звукової хвилі через екран в наслідок його недостатньої звукоізоляції.

Чим менша дифракція на ребрах екрану, тим вища його ефективність. Також, чим більша висота шумозахисного екрану, тим вища його ефективність, що, звичайно, залежить від довжини хвилі.

Ефективність екрану залежить від його звукопоглинальних та звукоізолюючих властивостей, що обумовлюють матеріалами із яких виготовлена шумозахисна конструкція.

Роглянемо вплив матеріалів на ефективність екрану.

Відбиваючо-поглинаючі панелі більш ефективні, ніж відбиваючі. Величина додаткового зниження шуму може бути наближено визначена за формулою:

$$\Delta L_{\text{погл}} = 10 \lg(1 - \alpha_{\text{екр}}), \text{ дБ} \quad (7)$$

де $\alpha_{\text{екр}}$ - частотнозалежний коефіцієнт звукопоглинання екрану ($\alpha_{\text{екр}} \leq 0,8$).

Для комбінованих екранів, в яких відбувається процес поглинання і відбиття, наприклад, звукопрозорості панелі, значення коефіцієнта звукопоглинання екрану визначається за формулою:

$$\alpha_{\text{екр}}^{\text{комб}} = \frac{\alpha_{\text{погл}} S_{\text{погл}} + \alpha_{\text{відб}} S_{\text{відб}}}{S_{\text{погл}} + S_{\text{відб}}}, \text{ дБ} \quad (8)$$

де $\alpha_{\text{погл}}$ - коефіцієнт звукопоглинання поглинальної частини екрану площею $S_{\text{погл}}, \text{м}^2$; $\alpha_{\text{відб}}$ - коефіцієнт звукопоглинання відбивальної частини екрану площею $S_{\text{відб}}, \text{м}^2$ ($\alpha_{\text{відб}} = 0,01$ для всіх частот).

Автором статті [15] було проведено вимірювання ефективності шумозахисних екранів відбивального типу та відбивально-поглинального.

На спеціальному полігоні були виконані порівняльні випробування шумозахисних екранів, виготовлених з алюмінію і імпрегнованої деревини. Для визначення ролі звукопоглинання виконувалися по дві серії експериментів. Експерименти виконувалися при зміні висоти екрану від 1 до 6 м.

На рисунку 12 показані порівняльні характеристики відбиваючого і відбиваючо-поглинального екранів.

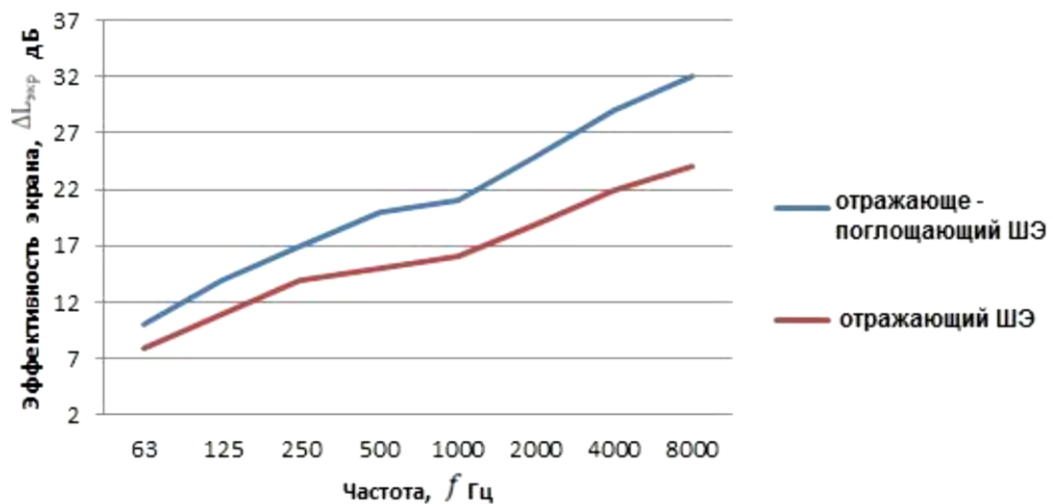


Рис.12 Порівняльна характеристика відбиваючого і відбиваючо-поглинального екранів висотою 6 м

З рисунка 12 видно, що із застосуванням звукопоглинального матеріалу ефективність екрану збільшується на 2-5 дБ в низько та середньочастотному діапазонах (63- 500 Гц) і на 5-8 дБ в високочастотному діапазоні (1000-8000 Гц).

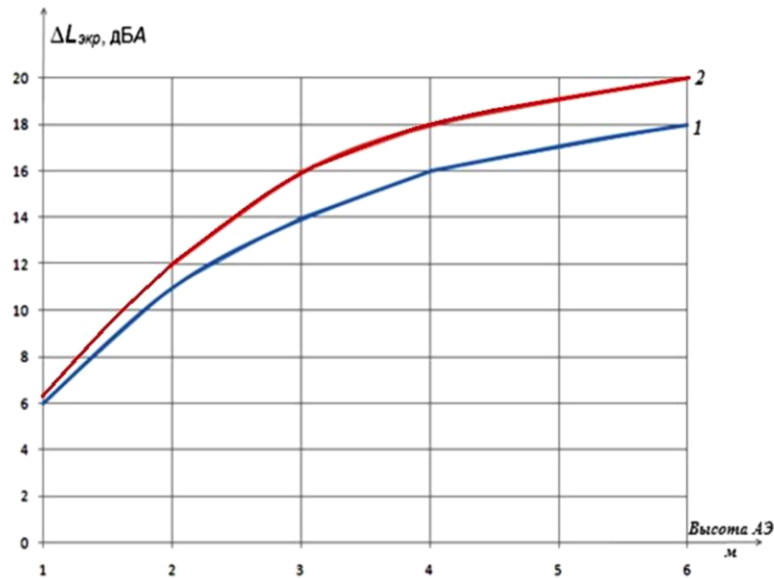


Рис.13 Порівняльна характеристика відбиваючого і відбиваючо-поглинального екранів за різної висоти.

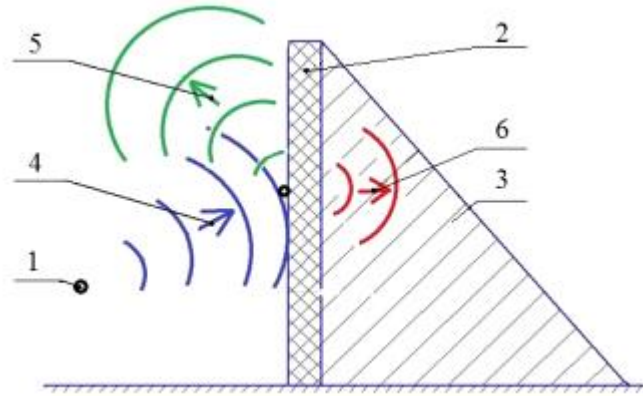
Відзначимо, що ефективність звукопоглинаючого екрану в середньому на 2 дБА вище, ніж відбиваючого. При цьому різниця тим помітніше, чим більше еквівалентна площа звукопоглинання .

1.3. Резонатори Гельмгольца

Найбільш відомим методом захисту від шуму транспортних потоків є шумозахисні екрани (панелі).

Шумозахисний екран - конструкція, що зводиться вздовж великих проспектів, автомагістралей, залізничних шляхів для зменшення рівнів шуму.

Улаштування шумозахисних екранів потребує значно менших територій. Їх ефективність може досягати 20-25 дБ, вони мають досить просту конструкцію та швидко монтуються [5].



1 – джерело звуку; 2 – шумозахисний екран; 3 – зона тіні; 4 – падаюча хвиля; 5 – відбита хвиля; 6 – хвиля, що пройшла скрізь екран.

Рис.14. Принцип роботи шумозахисного екрану [5]

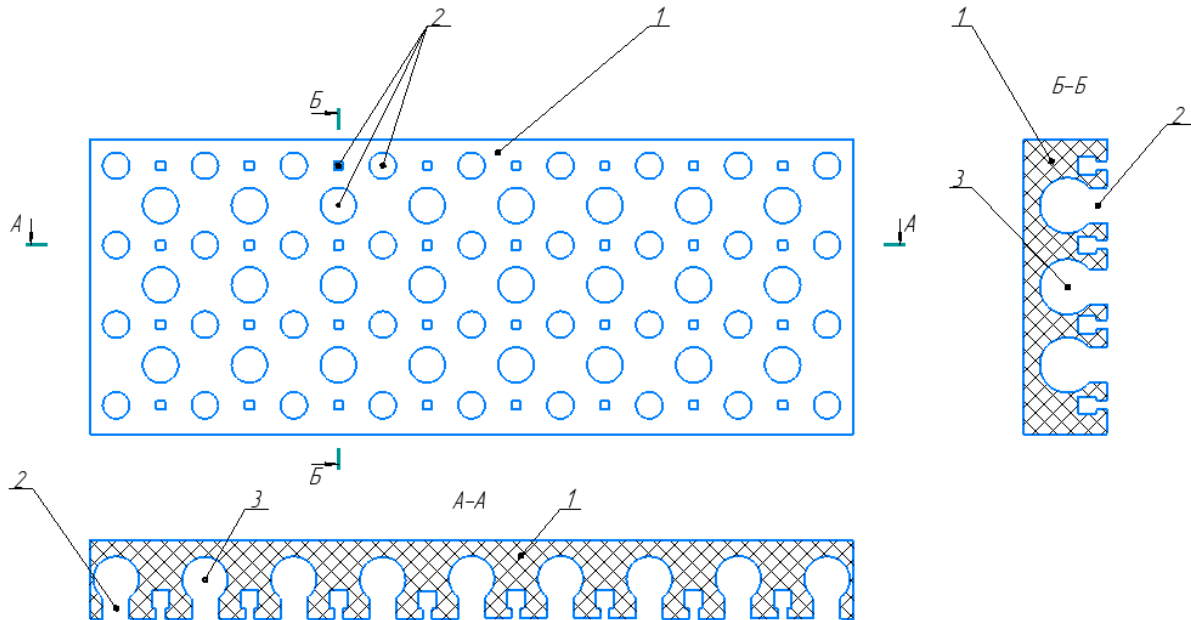
Ефективність екрану залежить від його геометричних розмірів, матеріалу та конструктивних особливостей виконання.

У АЕ можна виділити деякі недоліки:

- створюють відчуття обмеженості простору для водіїв;
- зменшують освітленість і призводять до обмеження огляду, спотворення кольорів і зображення;
- обмежують крокову доступність огороженої ділянки траси (у разі потреби негайної допомоги або якщо потрібно оперативно покинути ділянку траси);
- дорожнеча матеріалів
- при установці звуковідбивальних панелей сила звуку практично не зменшується, а лише змінює свій напрямок, що створює спрямований потік звукового тиску під певним кутом, який глушить жителів верхніх поверхів, птахів що пролітають, створюється підвищена вібрація повітря над дорогою.

Отже, потрібно вносити зміни в конструкцію шумозахисних екранів. В даній роботі в шумозахисну панель будуть вбудовуватись резонатори Гельмгольца, що розраховані на певну частоту.

Для транспортного потоку характерна наявність декількох спектральних складових шумового сигналу, тому модель екрану повинна мати декілька видів вбудованих резонаторів Гельмгольца. Приведемо схематичне зображення такого екрану:



1 – шумозахисний екран; 2 – горло резонатора; 3 – об'єм резонатора.

Рис.15. Модель шумозахисного екрану

Використовуючи явище резонансу, можна отримати поглинання на низьких і середніх частотах, де поглинання важко досягти за допомогою пористих поглиначів, тому що товщина і розмір матеріалу будуть занадто великими. Здатність резонатора Гельмгольца поглинати енергію на довжинах хвиль менших за його фізичні розміри дозволяє вбудовувати його в звукопоглинальні панелі.

Відомо, що деякі невеликі перепони у середовищі (пухирці газу в рідині) розсіюють падаючі на них звукові хвилі. Решітка із таких малих перепон (розсіювачів) є ефективним поглиначем звуку.

Розсіювання звуку відбувається тільки при взаємній компенсації реактивних компонент імпедансу перепони та випромінювача звуку. Тертя в резонаторах зменшує ефективність масиву резонаторів як відбивача звуку. Резонатори із тертям частково поглинають звукову енергію. При оптимальному

терті (імпеданс тертя рівний імпедансу випромінення) масив поглинає половину енергії звукової хвилі.

Поглинаючі характеристики резонансних конструкцій є максимальними характеристиками поглинання, як показано пунктирною лінією на рисунку 16. Важко досягти широкосмугового поглинання в одному конструктивному виконанні, тому однією з проблем при проектуванні резонансних конструкцій є розширення смуги пропускання [7].

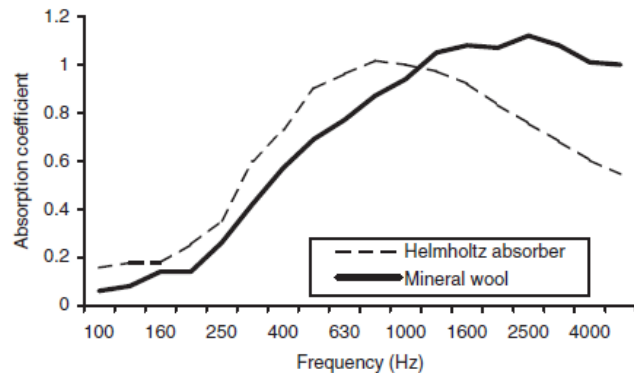


Рис. 16. Випадковий коефіцієнт поглинання пористого поглинача та пористого поглинача, покритого перфорованим листом, що утворює резонатор Гельмгольца.

Резонансні поглиначі зазвичай використовуються для акустичної корекції приміщення з низькочастотною складовою спектру сигналу і як глушники у вентиляційних системах.

Два поширених типи резонансних поглиначів проілюстровано на рисунку 17. У випадку резонатора Гельмгольца маса є повітрям в отворі в перфорованому листі (горло резонатора). Резонанс виникає за тим самим механізмом, який створює ноту, якщо вдарити по пляшці з водою (або без). Щоб перетворити це на поглинач звуку, треба забезпечити втрати за рахунок демпфуючого механізму для акустичної енергії, наприклад, шару мінеральної вати. Для мембранного поглинача маса являє собою такий матеріал, як наприклад, гума або фанера, який створює коливання (вібрації). Пружність в обох випадках забезпечується повітрям у порожнині. Змінюючи вібраційну масу та жорсткість повітряної пружини, резонансна частота пристрою може

бути налаштована, і саме на резонансній частоті поглинання становить максимум [7].

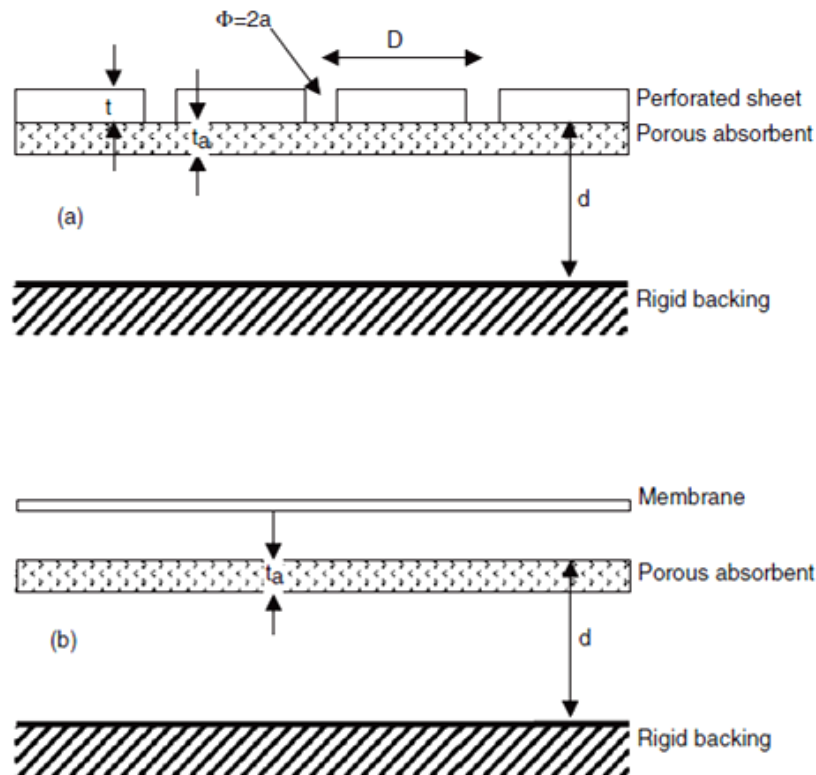


Рис.17 Стандартні конструкції конструкцій із резонаторами Гельмгольца (а) та мембранні поглиначі (б)

Спочатку, Гельмгольц оцінював вдасну резонансну частоту f_0 формулою:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{d_0}{V}}, \quad (9)$$

де c – швидкість звуку в робочому середовищі; d_0 - діаметр горла резонатора; V - об'єм резонатора.

При розгляді резонатора як системи із масою і невагомою пружинкою вважається, що вся маса зосереджена в горлі, тобто, коливання тиску зосереджено лише в об'ємі резонатора. Це припущення вірне для довгого горла, коли довжина горла набагато більша за його діаметр. Але власна резонансна частота резонатора Гельмгольца також визначається інерцією рухомого в горлі повітря (коливальна маса повітря поблизу горла з обох кінців). Це характерно для випадку, коли довжина горла менше діаметра горла резонатора.

Для врахування даного явища Релеєм було введено поняття приєднаної довжини горла, тоді формула (7) набуває вигляд:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_0}{l_c V}}, \quad (10)$$

де S_0 - площа поперечного перетину горла резонатора; l_c - ефективна довжина горла резонатора, що визначається дійсною довжиною горла l та приєднаними довжинами горла з обох боків резонатора (зовнішня l_i , внутрішня l_e).

$$l_c = l + l_i + l_e \quad (11)$$

Релей показав, що для отвору в нескінченій перегородці приєднана маса отвору l_a з одного боку пропорційна радіусу отвору a , при чому

виконується рівність:

$$\frac{\pi}{4} a < l_a < \frac{8}{3\pi} a.$$

Відповідно для горла резонатора вводиться поправка $\alpha = 2l_a$ (в обидві сторони). Хоча, було показано, що $l_i \neq l_e$, і якщо не враховувати цей факт, то похибка розрахунків може сягати до 30%.

Також існує ще один вираз для оцінки ефективної довжини горла резонатора:

$$l_c = l + 1,7 \frac{a}{2}, \quad (12)$$

де a - діаметр горла.

Вираз для приєднаної довжини l_i циліндричного резонатора:

$$l_i = \alpha(1 - \beta g) \cdot a, \quad (13)$$

де α, β - коефіцієнти, що залежать від l (таблиця 1); $g = \sqrt{S / S_0}$, S - площа перетину об'єму резонатора.

Табл.1[9]

Коефіцієнти	Довжина горла l , мм			
	0,5	1	2	5
α	0,804	0,808	0,815	0,820
β	1,37	1,34	1,34	1,34

Для приєднаної довжини l_e було отримано вираз:

$$l_e = \alpha \left(1 - \beta_1 \left(\frac{d_0}{b} \right) + \beta_2 \left(\frac{d_0}{b} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{d_0}{b} \right)^3 \right) \cdot \frac{d_0}{2}, \quad (14)$$

де $\alpha = 0,815$; d_0 - діаметр горла; b - ширина прямокутного каналу, в якому встановлено резонатор; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - коефіцієнти, що залежать від співвідношення розмірів прямокутного каналу (таблиця 2).

Табл.2 [9]

a / b	β_1	β_2	β_3
0,5	1,48	0,53	0,16
1	0,97	0,32	0,07
2	0,60	0,52	0,24

Для даного випадку формула резонансної частоти циліндричного резонатора:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \cdot \frac{g}{\sqrt{L(l + l_i + l_e + L \frac{g^2}{3})}}, \quad (15)$$

де L - висота об'єму резонатора; l_i, l_e - згідно до формул (11) та (12).

Автори статі [3] досліджували потік акустичної хвилі в горлі резонатора, який утворюється хвилями великої потужності. Було встановлено, що опис звуко-вих хвиль в лінійній постановці задачі (хвильове рівняння і лінеаризовані

рівняння Ейлера) коректно для малих амплітуд, точніше до 120 дБ. При рівні звукового тиску вище 120 дБ виникають нелінійні ефекти, які призводять до більших значень середньої швидкості в горлі резонатора [4].

В роботі [3] проводились вимірювання та теоретичні розрахунки залежності середньої швидкості в центрі горла від амплітуди збудження. Ефект виникнення акустичного вітру - вихрових сталих течій при впливі звукового поля поблизу перешкод носить «пороговий» характер: при рівнях збудження нижче 120 дБ (лінійна акустика) акустичного вітру не спостерігається - усереднена швидкість на осі резонатора дорівнює нулю. При підвищенні рівня збудження ($L > 120$ дБ) середня швидкість зростає нелінійно.

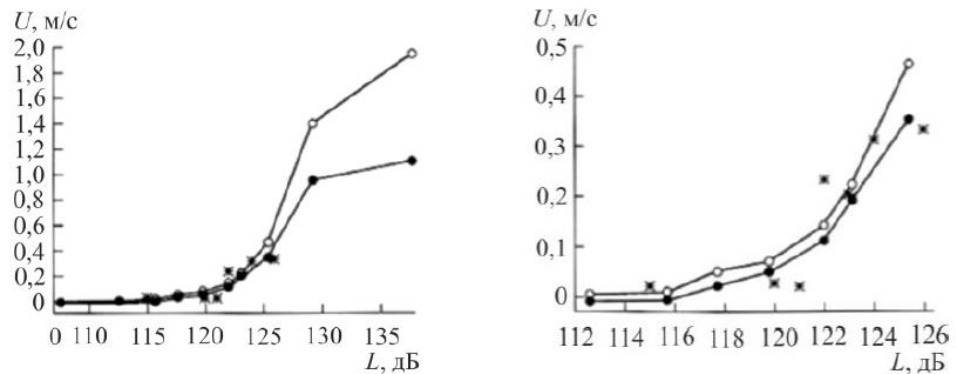


Рис. 18. Середня швидкість в залежності від рівня збудження: ● - розрахункові дані в фіксованій точці; ○ - розрахунковий максимум в зоні акустичного течії вздовж осі колби; ■ - експериментальні дані.

Також експерименти [3] показали, що в центрі горловини спостерігається стійкий акустичний потік, що спрямований назовні горла резонатора, а поблизу країв - середня течія, спрямована всередину резонатора.

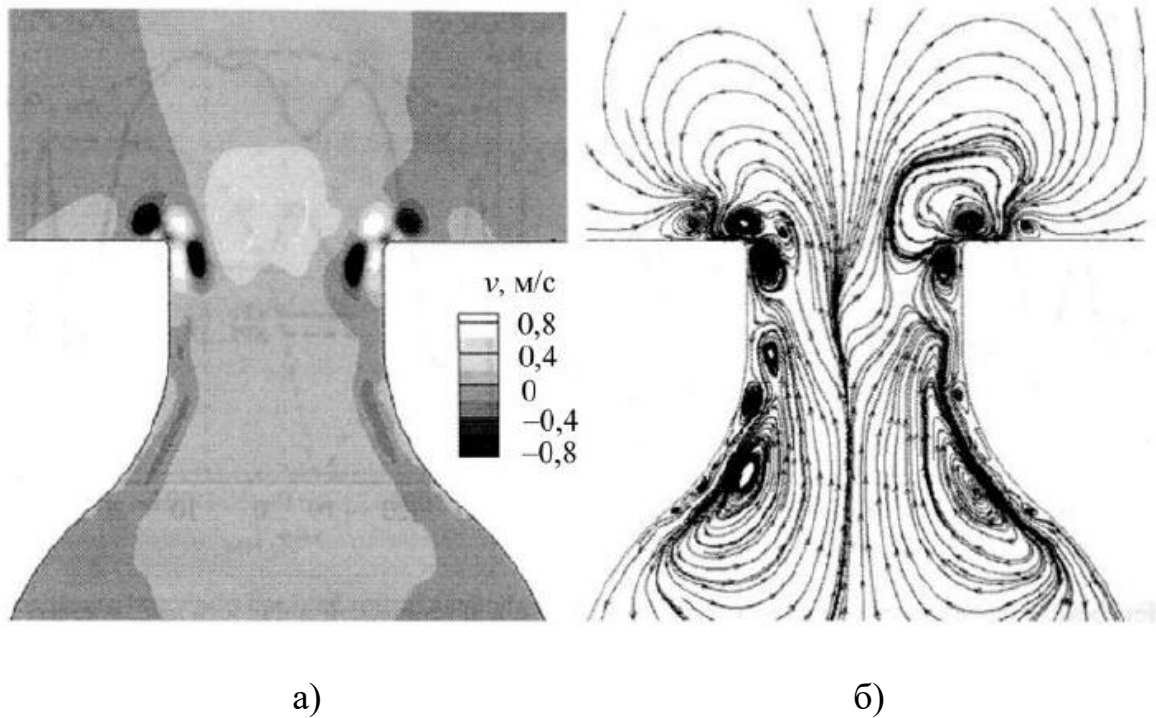


Рис.19 Візуалізація розподілу середньої вертикальної швидкості в перерізі резонатора (а) і вихрових структур в горлі резонатора (б)

Панель із вбудованими резонаторами Гельмгольца ділиться на окремі комірки, які, як передбачається, ведуть себе незалежно від відстані повторення D . D визначено на рисунку 17, на якому зображено перетин поглинача. Передбачається, що поглинач перфорований у двох напрямках, довжина повтору однакова в обох напрямках. Окремі комірки не будуть повністю незалежними на низькій частоті, і, отже, може знадобитися фізичне розподілення об'єму, оскільки довжина хвилі стає великою. Це особливо справедливо, якщо потрібне поглинання похилого падіння, а зазвичай падіння хвилі від транспортного потоку відбувається із випадкових напрямків [9].

1.4. Особливості зниження шуму в каналі резонатором Гельмгольца

Вважатимемо, що канал резонатора (горло) є таким, що коливання в ньому відбуваються по гармонійному закону із круговою частотою ω . Відповідна цим коливанням амплітуда коливальна швидкість V , пов'язана із амплітудою звукового тиску P , що діє на резонаторі із зовнішньої сторони звукового поля,

через акустичний імпеданс резонатора $Z_0 = \frac{P}{V}$ або його нормован значення

$Z'_0 = \frac{Z_0}{\rho_0 c_0}$, де $\rho_0 c_0$ - відповідно густина повітря та швидкість звуку в повітрі.

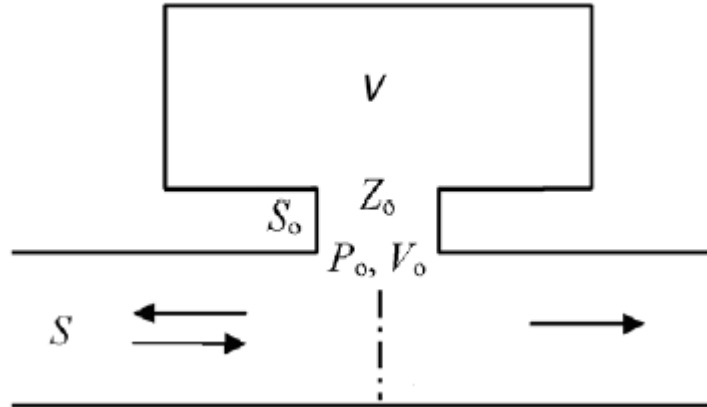


Рис.20. Схема резонатора Гельмгольца

Рівняння руху повітря в горлі резонатора:

$$Z'_0 = R'_V + j\left(\frac{\omega l_e}{c_0} - \frac{S_0 c_0}{\omega V}\right), \quad (16)$$

де l_e - еквівалентна довжина горла резонатора; R'_V - нормоване тертя в горлі резонатора; $S' = S / S_0$

Використавши резонансну частоту ω_0 , що визначається умовою $\text{Im}(Z'_0) = 0$ і згідно формули (14) дорівнює:

$$\omega_0 = c_0 \sqrt{\frac{S_0}{l_e V}}, \quad (17)$$

А також відносну частоту $\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$, формула (14) перетвориться:

$$Z'_0 = R'_V + j\sqrt{\frac{S_0 l_e}{V}} \left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right) = R'_V + j\frac{1}{\sqrt{V'}} \left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right) \quad (18)$$

При цьому величина $V' = \frac{V}{l_e S_0}$ являє собою відношення об'єму резонатора до приведенного об'єму його горла.

Втрати передачі для даної системи:

$$TL = 10 \lg \left[1 + \frac{1 + 2R_s}{R_s^2 + \frac{[2S'(\frac{\Omega-1}{\Omega})]^2}{V'}} \right], \quad (19)$$

де $R_s = 2S'R'_v$.

Величина S' обернено пропорційна площі рогла резонатора, тому її збільшення буде пов'язано із збільшенням тертя в горлі резонатора.

Коли тертя відсутнє, $R_s = 0$, то формула (17) може бути представлена у вигляді:

$$TL = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{Q^2 \left[\left(\frac{\Omega-1}{\Omega} \right) \right]^2} \right], \quad (20)$$

де $Q = \frac{2S'}{\sqrt{V'}}$.

Згідно формули (18) втрати передачі системи, як функція відносної частоти означається величиною Q , таким чином, що з її приростом крива втрат передачі звужується (рис.17, а). Тертя в резонаторі значно вносить вплив лише в резонансній області, а за її межами вплив тертя стає незначним (рис. 17, б).

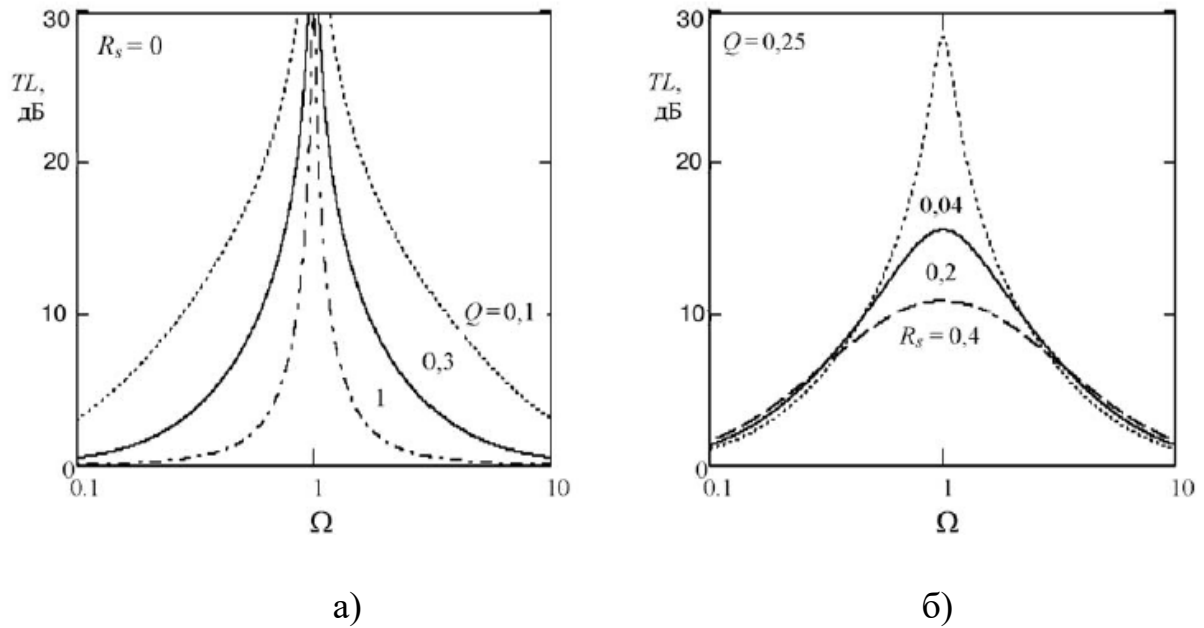


Рис.21. Втрати передачі для резонатора Гельмгольца без урахування тертя (а) та з ним (б)

На резонансній частоті при $\Omega = 1$ втрати передачі:

$$TL_0 = 20 \lg \left[1 + \frac{1}{R_s} \right] \quad (21)$$

Коли третя незначне та $R_s \rightarrow 0$, то, $TL_0 \rightarrow \infty$.

Оцінимо відносну ширину резонансної кривої втрат передачі.

$\Delta = \Omega_2 - \Omega_1$, де Ω_1, Ω_2 - відносні граничні частоти резонансної кривої.

У відповідності до визначення ширини резонансної кривої на граничних частотах $\Omega_{1,2}$ вираз під логарифмом в формулі (11) рівний 2. Тому формула для граничних частот:

$$\Omega_{1,2} = \pm \frac{1}{2Q} + \sqrt{\frac{1}{4Q^2} + 1} \quad (22)$$

Із формули (20) випливає, що відносна ширина резонансної кривої $\Delta\Omega = \Omega_2 - \Omega_1 = 1/Q$. При цьому Q - добротність системи.

Відносна ширина резонансної кривої визначається:

$$\Delta\Omega = \frac{1}{Q} = \frac{1}{2S} \sqrt{\frac{VS_0}{l_e}} = \frac{V\omega_0}{2Sc} \quad (23)$$

Якщо ввести безрозмірний коефіцієнт $\mu_0 = d / \lambda_0$, де λ_0 - довжина хвилі резонансної частоти, то формула (21) набуває вигляду:

$$\Delta\Omega = \mu_0 \bar{V}, \quad (24)$$

де \bar{V} - відносний об'єм резонатора; $\bar{V} = V / (d^3 / 4)$.

Вираз для абсолютної ширини резонансної кривої:

$$\omega_0 \Delta\Omega = \Delta\omega = \frac{c_0 S_0}{2Sl_e} \quad (25)$$

Таким чином, величина $\Delta\omega$ не залежить від об'єму резонатора, а визначається тільки площею поперечного перетину каналу і параметрами горла резонатора [8-10].

1.5. Добротність резонатора Гельмгольца

Власні коливання резонатора Гельмгольца затухають тому, що вхідний отвір горла по відношенню до навколишньої середовища є джерелом об'ємної швидкості: ця об'ємна швидкість створює випромінювання монопольного типу, в результаті чого енергія резонатора буде монотонно зменшуватись.

Нехай амплітуда швидкості часток в горлі резонатора дорівнює v . Тоді об'ємна швидкість, що виникає при коливаннях, рівна Sv , а отже, середня випромінювана потужність рівна:

$$J = \frac{1}{8\pi} \cdot \rho c k^2 S^2 v^2, \quad (26)$$

де ρ, c - відповідно густина та швидкість звуку в робочому середовищі;

$k = \sqrt{\rho\beta\omega}$; β - стисненість середовища; $S = \pi a^2$; a - радіус отвору горла.

З іншого боку, запас енергія в резонаторі дорівнює максимальній кінетичній енергії середовища в горлі:

$$A = \frac{1}{2} \rho L S v^2, \quad (27)$$

де L - довжина горла резонатора.

Коефіцієнт затухання рівний:

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{J}{A} = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{\omega k S}{L}, \quad (28)$$

Число коливань, після яких амплітуда коливань зменшується в e разів дорівнює:

$$N = \frac{\omega}{2\pi\alpha} = \frac{4L}{kS} \quad (29)$$

Тоді, добротність резонатора визначається:

$$Q = \pi N = \frac{\omega}{2\alpha} = \frac{4\pi L}{kS} \quad (30)$$

1.6. Висновки

В даному розділі було проаналізовано найбільш часто використовувані методи акустичної корекції, звукопоглинання та захисну від несприятливого шуму.

Виходячи із аналізу літератури, засобами звукопоглинання, що застосовані до шумозахисного екрану можна досягти збільшення ефективності екрану.

Також, звукопоглинання в шумозахисних панелях можна досягти за рахунок конструктивних особливостей цих панелей. Наприклад, застосування панелей із повздовжніми порожнинами або застосування вбудованих резонаторів Гельмгольца в шумозахисний екран.

РОЗДІЛ 2. ПОГЛИНАЧІ РЕЗИСТИВНОГО ТИПУ

Як вже було згадано основною метою даної роботи є аналіз впливу звукопоглинального шару та резонаторів на ефективність шумозахисних екранів.

Для обрання характеристик звукопоглинального шару та фізичних розмірів резонаторів Гельмгольца потрібно провести аналіз спектру шумового сигналу, що виходить від транспортного потоку. Тому було вирішено скористуватися результатами вимірювання рівнів звукового тиску транспортного потоку на 37 км Житомирської траси, м. Київ.

2.1. Аналіз шумового спектру транспортних потоків

Будь-яке дослідження для отримання достовірної інформації вимагає, щоб дослідження проводились в контрольованих умовах. Для досягнення цього використовувались рекомендації, щодо вимірювання ефективності шумозахисних екранів для захисту сельбищних територій від шуму автотранспорту, згідно ГОСТ 20444-85.

Для вимірювання в польових умовах, апаратне забезпечення обиралось таким чином, щоб при максимальній мобільності задовольняти умовам класу точності вказаному в ГОСТ 20444-85.

Для вимірювання рівнів шуму обрано наступне апаратне та програмне забезпечення:

- Ноутбук із програмним забезпеченням Matlab;
- Звукова карта PreSonus AudioBox USB;
- Мікрофони Superlux ECM999 (стереопара).
- Пістонфон MKD PF 101-01140.



Рис.22. Схема проведення експерименту

Перед початком вимірювань мікрофони були відкалібровані пістонфоном. Відповідно до технічних характеристик пістонфона при атмосферному тиску в 760 мм рт. ст. він створює звуковий рівень, рівний по відношенню до ізоточки 0 дБ = $2,4 \cdot 10^{-4}$ мкБар близько 118 дБ.

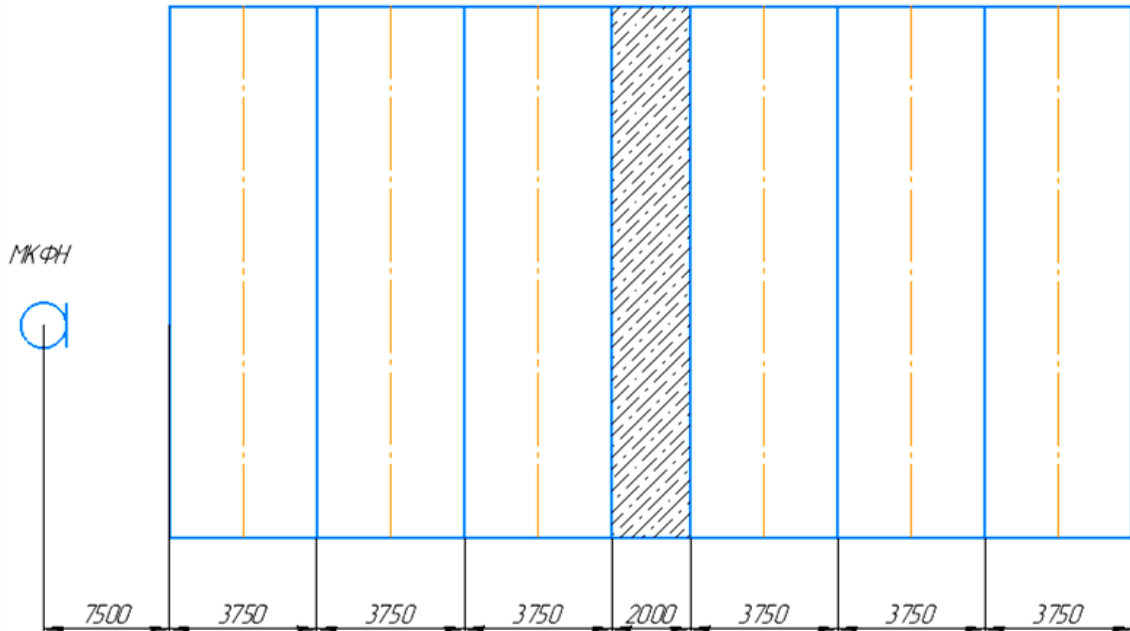


Рис.23. Схематичне розташування мікрофона

Мікрофон було встановлено на висоті 1,5 м та 7,5 м від центру смуги проїжджої частини, що є найближчою до вимірювального мікрофона.

Вимірювання проводилось за ясної погоди при $t = 23^{\circ}\text{C}$, та атмосферному тиску 768 мм. рт. ст. Інтенсивність транспортного потоку на час вимірювань складала 4500 авт./год. Час запису одного запису 210 с (всього зроблено 15 записів).

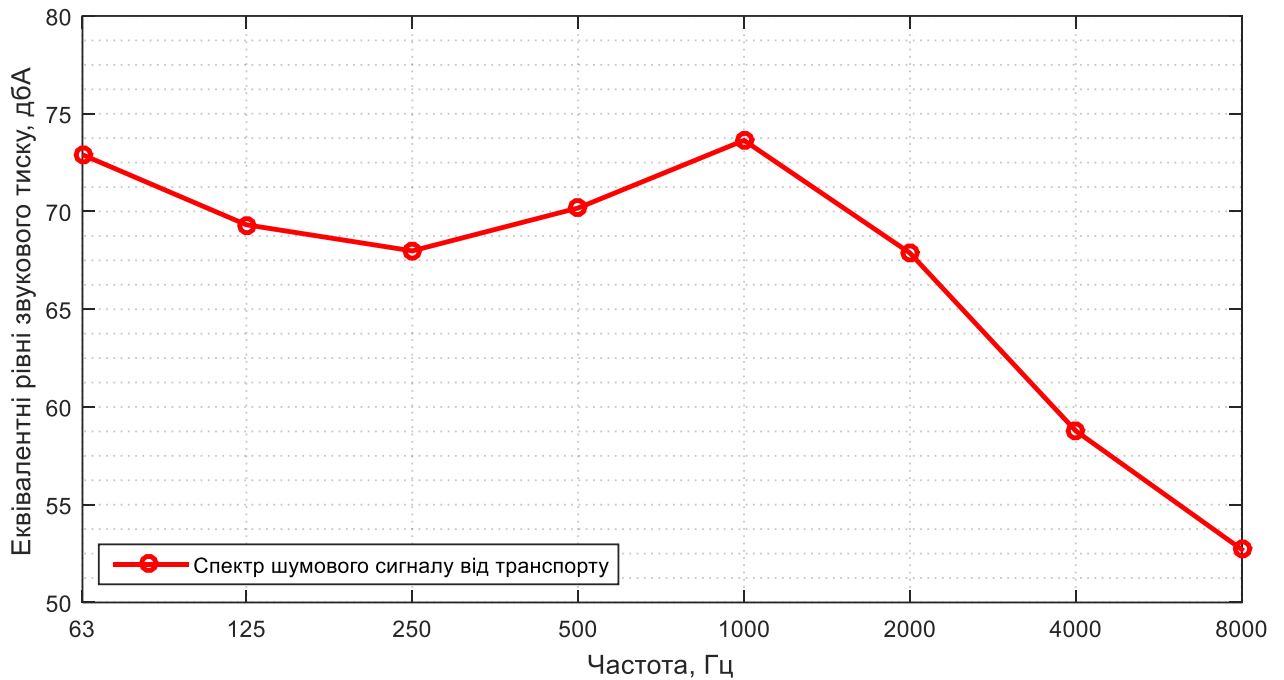


Рис.24. Еквівалентні рівні звукового тиску в октавних смугах частот 63-8000 Гц

Виходячи із рисунку 24, необхідно забезпечити максимальне поглинання на частотах 250-2000 Гц, а налаштовувати резонатори потрібно на частоту 1000 Гц. Моделювання екранів з резонаторами Гельмгольца більш детально буде розглянуто у розділі 3.

2.2. Абсолютно відбиваючий екран

За допомогою програмного забезпечення Comsol Multiphysics було створено медель відбиваючого шумозахисного екрану та екрану до якого застосовано звукопоглинальні метеріали. За допомогою комп'ютерного моделювання визначимо ефективність застосування звукопоглинального шару.

При вирішенні хвильвих задач, виникає необхідність моделювання області вільного поля - така границя розрахункової області, через яку акустичні хвилі проходили б без будь-якого відбиття. Для даної моделі була застосована умова ідеально узгоджених шарів в разі обмеження областей чисельного моделювання - perfectly matched layer (PML).

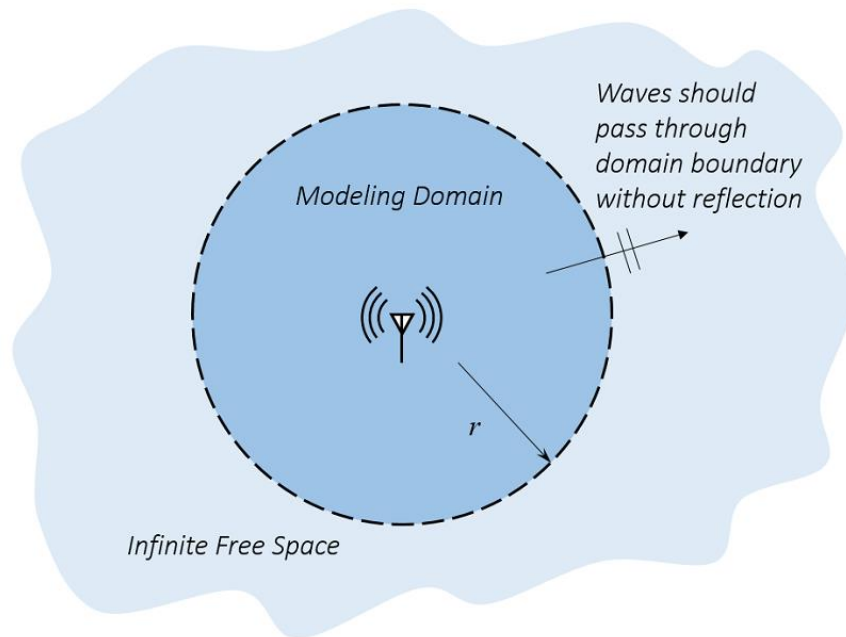


Рис. 25. Схематичне зображення умови PML

Наступним кроком була побудована геометрія моделі: абсолютно відбиваючий шумозахисний екран висотою 5 метрів. Дорога, що за довжиною дорівнює довжині 6 проїжджих смуг та задано лінійне джерело звуку на висоті 0,5 метрів на відстані 5 метрів від екрану.

Встановлено нормальні умови проведення для проведення експерименту.

Задано параметр кінетичної в'язкості джерела $Q_s = 1 \frac{M^2}{c}$.

Схематичне зображення геометрії задачі представлено на рисунку 26.

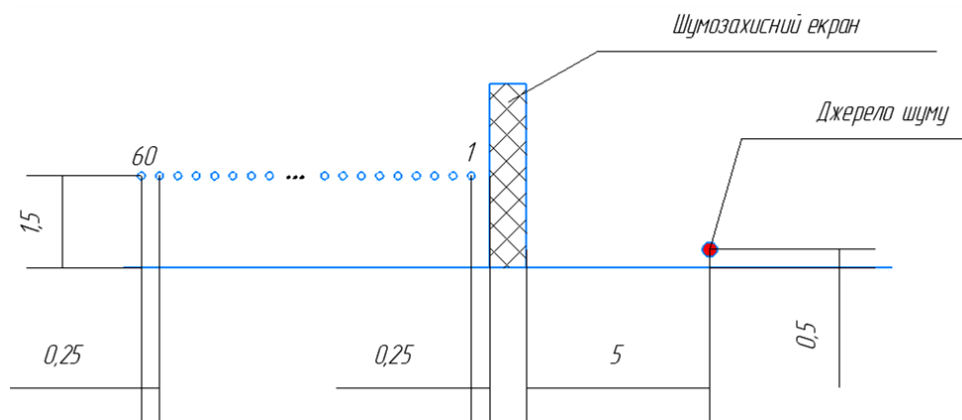


Рис.26 Розрахункові точки для визначення ефективності звукопоглинального та звуковідбиваючого шумозахисного екрану

2.3. Поглинаючий шумозахисний екран

Для даної моделі була застосована умова ідеально узгоджених шарів в разі обмеження областей чисельного моделювання - perfectly matched layer (PML).

Була побудована геометрія моделі: до відбиваючого шумозахисного екрану висотою 5 метрів було застосовано шар звукопоглинального матеріалу.

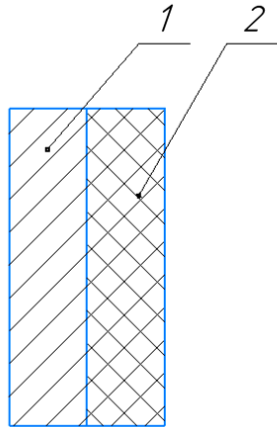


Рис.27. Шумозахисний екран зі звукопоглинальним матеріалом

де, 1 – екран-стінка; 2 – звукопоглинальний матеріал

Задано лінійне джерело звуку на висоті 0,5 метрів на відстані 5 метрів від екрану.

Встановлено нормальні умови проведення для проведення експерименту.

Задано параметр кінетичної в'язкості джерела $Q_s = 1 \frac{m^2}{c}$.

Коефіцієнт проходження акустичної хвилі за інтенсивністю через границю двох середовищ при нормальному падінні дорівнює:

$$T = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}, \quad (31)$$

де Z_1 - імпеданс середовища із якого поширюється акустична хвиля; Z_2 - імпеданс середовища в яке поширюється акустична хвиля.

В нашому випадку коефіцієнт проходження – це коефіцієнт поглинання акустичної хвилі матеріалом.

Отже, було обрано 8 коефіцієнтів поглинання, що будуть застосовані до звукопоглинального шару шумозахисного екрану (таблиця 3):

Табл. 3 Коефіцієнти звукопоглинання

$T = k$	1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,5	0,25	0,1
---------	---	------	-----	-----	-----	-----	------	-----

Для кожного коефіцієнта було побудовано модель екрану та відтворено розподіл акустичних тисків а частотах 63 Гц та 1000 Гц. Проведено порівняння рівнів звукового тиску абсолютно відбиваючого екрану, тобто $T = 0$ та екранів до яких застосовано всі інші коефіцієнти.

На рисунках 28-29 зображено покращення ефективності шумозахисного екрану при застосуванні до нього звукопоглинаючого матеріалу (тобто різниця рівня звукового тиску при повністю відбиваючій поверхні екрану та звукопоглинальної поверхні екрану).

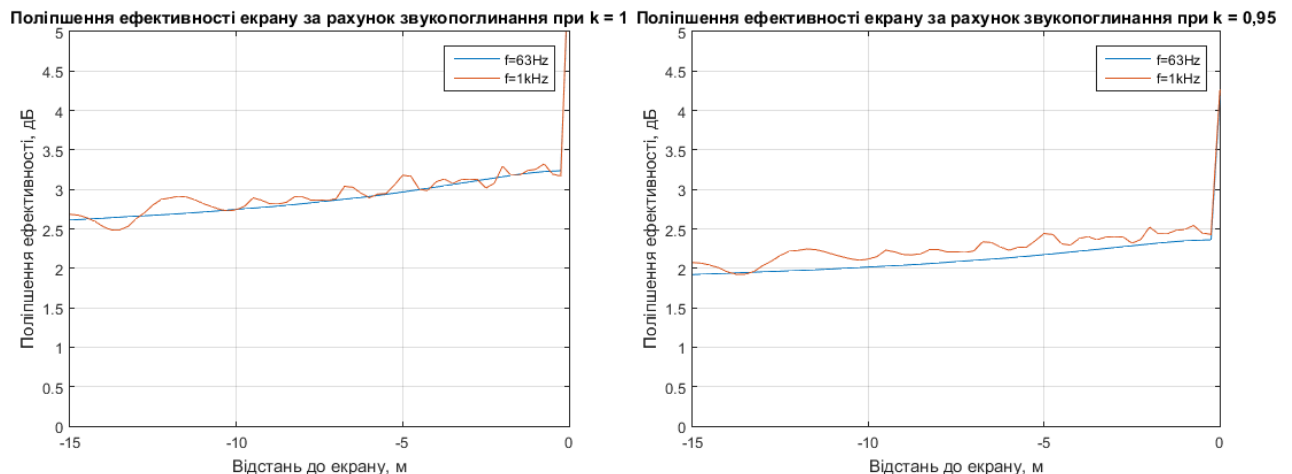


Рис. 28 Поліпшення ефективності екрану в розрахункових точках

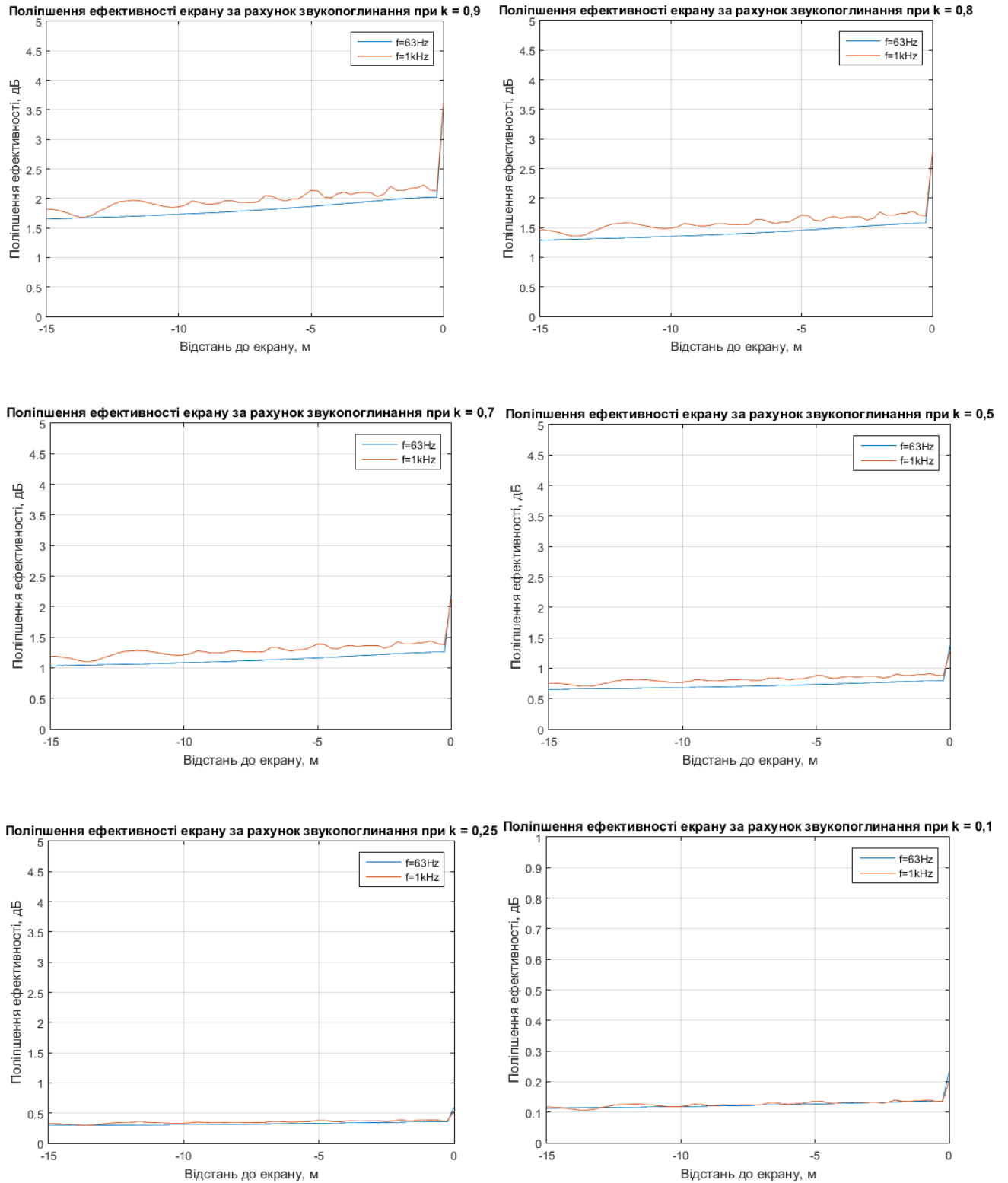


Рис. 29 Поліпшення ефективності екрану в розрахункових точках

Згідно графіків на рисунках 28-29 видно, що зі зменшенням коефіцієнта поглинання зменшується ефективність екрану.

2.4. Висновки

За результатами моделювання визначено ефективність звукопоглинаючого шару, що застосований до шумозахисного екрану. За рахунок звукопоглинання можна досягти підвищення ефективності шумозахисної конструкції на 3,1-3,2 дБ при абсолютно поглинаючому шарі та 0,11-0,12 дБ при коефіцієнті поглинання шару, що дорівнює 0,1.

РОЗДІЛ 3. ПОГЛИНАЧІ ЗВУКУ РЕЗОНАНСНОГО ТИПУ

Як було згадано в розділі 2, резонаторні конструкції будуть налаштовані на частоту 1000 Гц, виходячи із аналізу шумового спектру транспортного потоку.

3.1. Підготовка проведення експерименту

3.1.1. Модель екрану, що має повздовжні порожнини

Для даної моделі застосовувались такі умови проведення дослідження:

- Встановлено нормальні умови проведення для проведення експерименту;
- Застосовано PML;
- Задано параметр кінетичної в'язкості джерела $Q_s = 1 \frac{m^2}{s}$.
- Геометрія задачі представлена на рисунку 30.

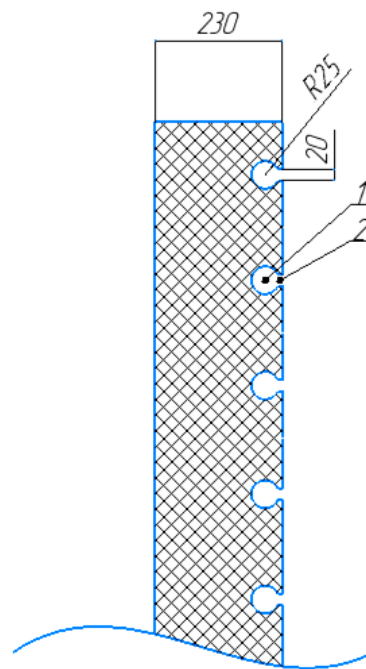


Рис. 30 Шумозахисні панелі, що мають повздовжні порожнини де, 1 – основа шумопоглинаючої панелі; 2 – отвір А; 3 – отвір Б;

Розміри резонатора Гельмгольца, що зображені на рисунку 30 в подальшому будуть використовуватись для 3D моделювання резонаторів.

3.1.2. Модель екрану, що має гофровану форму

Для даної моделі застосовувались такі ж умови проведення дослідження, що і для моделі із п.п. 3.2.1, але була змінена геометрія моделі (рис. 31).

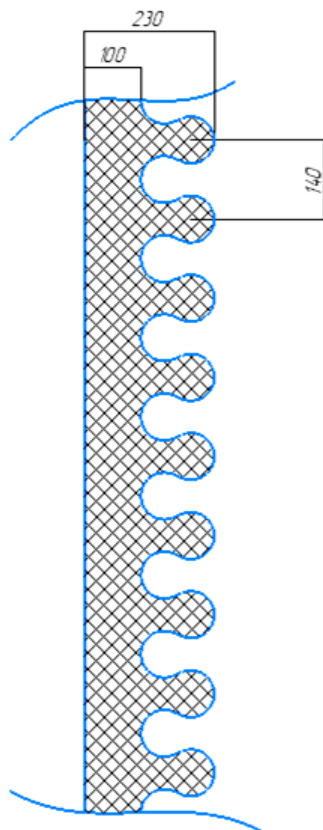


Рис. 31 Шумозахисні панелі, що мають гофровану форму

3.1.3. Модель екрану із резонаторами Гельмгольца

Для даної моделі застосовувались такі ж умови проведення дослідження, що і для моделі із п.п.3.2.1, але була змінена геометрія моделі (рис. 32). Дана модель побудована в трьох декартових координатах (3D).

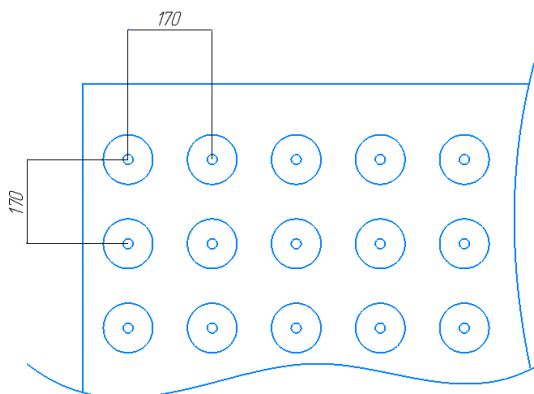


Рис.32 Шумозахисний екран із вбудованими резонаторами Гельмгольца:
налаштування на 1000 Гц.

3.2. Результати моделювання

3.2.1. Модель екрану, що має повздовжні порожнини

Розрахувати в наближенні частоту резонансу конструкції вигляду як на рисунку 30 можна за формулою:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}},$$

де $c = 340$ м/с - швидкість звуку в повітрі, $S = a \cdot z$ - площа поперечного перерізу горла, z - глибина наскрізного отвору l - довжина трубки, $V = sz$ - об'єм резонатора; s - площа перерізу об'єму резонатора.

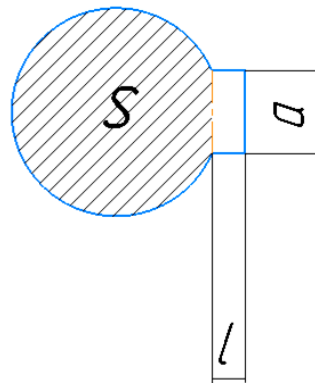


Рис.33 Елемент погинаючої панелі

Зробивши підстановку нових змінних отримаємо формулу для визначення резонансної частоти даної конструкції:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a \cdot z}{zsl}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{sl}}$$

Розрахуємо резонансну частоту для даної моделі за видозміненою формулою для розрахунку резонансної частоти за Гельмгольцем:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{sl}} = \frac{340}{2\pi} \sqrt{\frac{0,02}{0,008 \cdot 0,001935}} = 1945 \text{ Гц}$$

Розрахуємо резонансну частоту для даної моделі за видозміненою формулою для розрахунку резонансної частоти за Релеєм:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl_c}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a \cdot z}{zsl_c}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{sl_c}} = \frac{340}{2\pi} \sqrt{\frac{0,02}{0,025 \cdot 0,001935}} = 1100 \text{ Гц}$$

Згідно розрахунків для даного типу конструкцій краще застосовувати видозмінену форму формули Релея.

Проведемо порівняння теоретичних розрахунків та експериментального моделювання такої резонаторної конструкції.

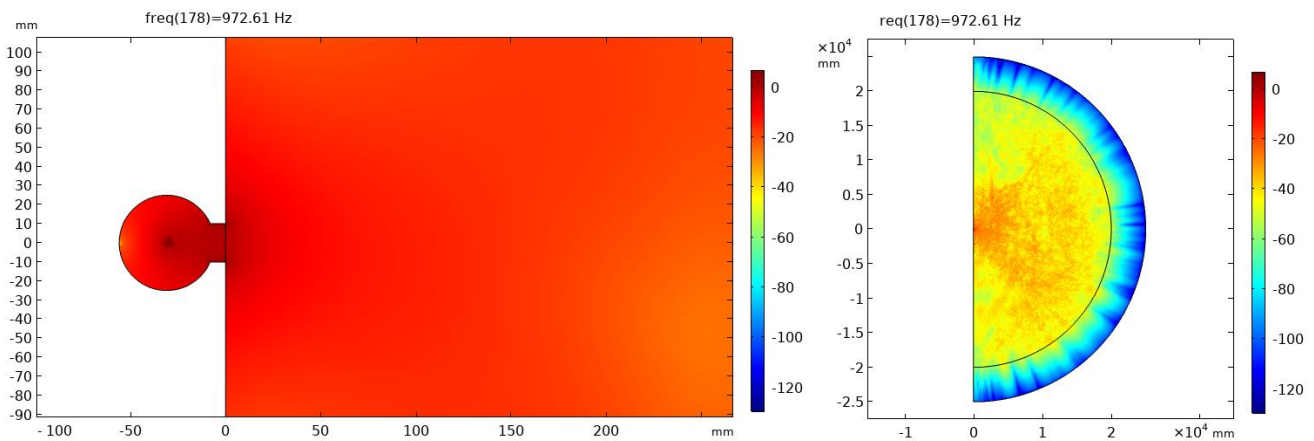


Рис. 34. Результат моделювання панелі із наскрізними отворами

По результатам моделювання бачимо, що резонансна частота такої конструкції дорівнює 970 Гц (рисунок 35), що є дуже близьким до розрахованої резонансної частоти за формулою Релея.

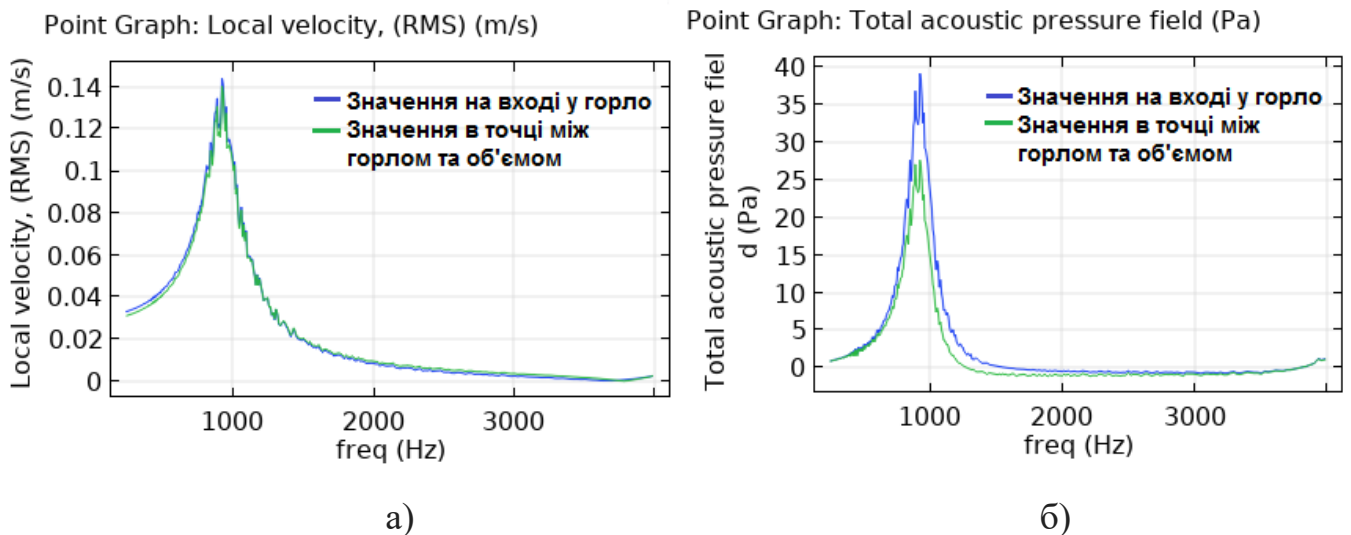


Рис. 35 Амплітудно-частотна характеристика резонансної конструкції: коливальної швидкості (а) та звукового тиску (б)

3.2.2. Модель екрану, що має гофровану форму

Використовуючи налаштування моделі із п.п.3.2.1 була створена модель панелі-стілки, що схематично зображена на рисунку 31. Геометричні розміри моделі були взяті із реальних панелей Perfect G8 від виробництва ТзОВ «ЕФЕКТБУД» [12].

Для даних панелей вже були проведені вимірювання їх ефективності та отримана частотна характеристика ревербераційного коефіцієнта звукопоглинання [12].

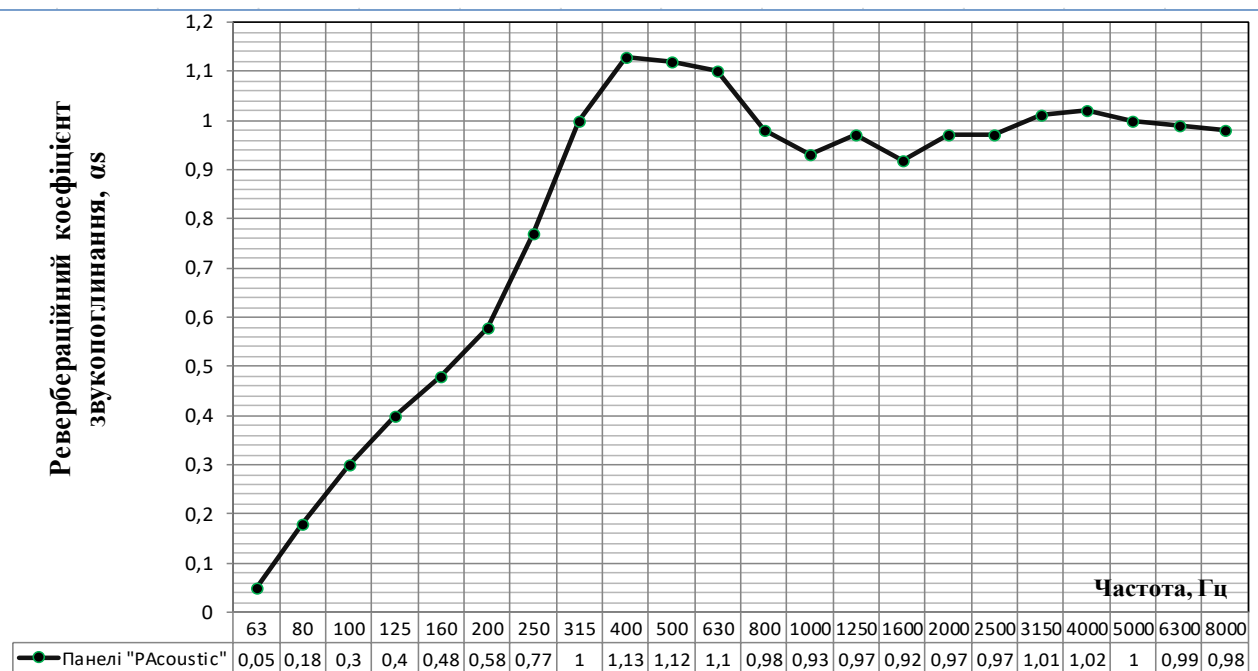


Рис. 36 Частотна характеристика ревербераційного коефіцієнта звукопоглинання (α_s) панелей Perfect G8 виробництва ТзОВ «ЕФЕКТБУД», розташованих на жорсткій поверхні

Порівняємо результати вимірювань частотної характеристики панелей із моделюванням.

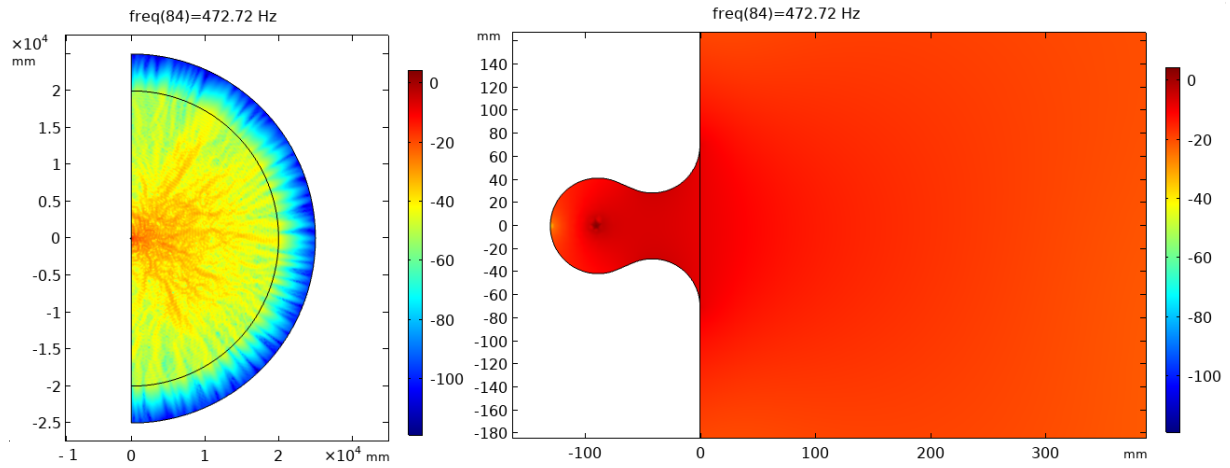


Рис. 37 Результат моделювання панелі із наскрізними отворами

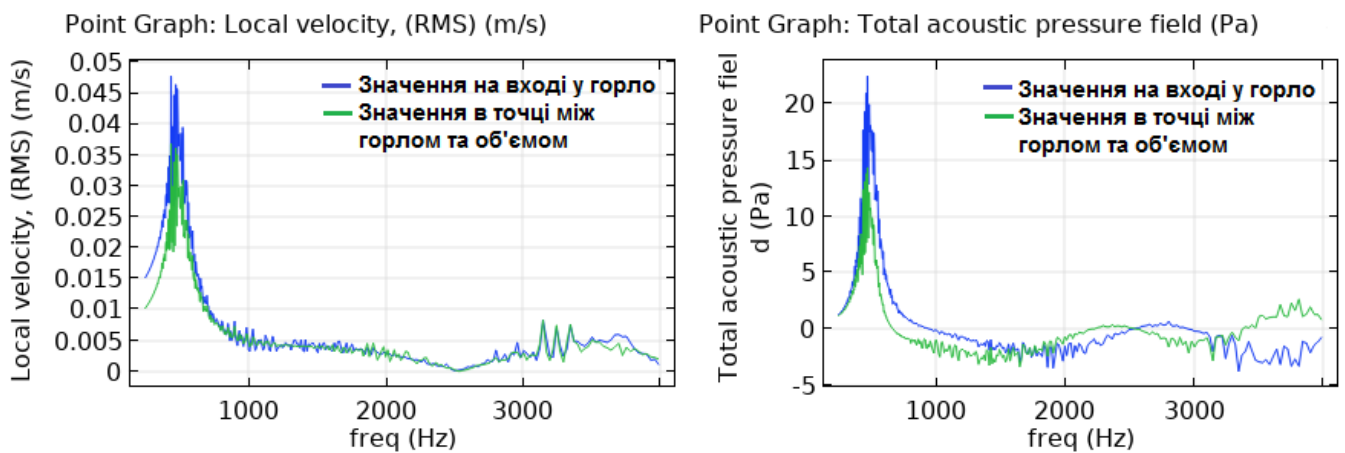


Рис. 38 Амплітудно-частотна характеристика резонансної конструкції:
коливальної швидкості (а) та звукового тиску (б)

По результатам моделювання бачимо, що резонансна частота такої конструкції дорівнює 473 Гц (рисунок 38).

Найбільше значення коефіцієнта поглинання, що приведений на рис. 36 знаходиться в октавних смугах частот 315 - 630 Гц. Таку залежність можна пояснити поглинаючими властивостями резонаторів. Моделювання показало, що дана конструкція має резонанс, що потрапляє в проміжок 315 - 630 Гц. Отже, така конструкція являє собою резонаторну, а модель являєть достовірною.

3.2.3. Модель екрану із резонаторами Гельмгольца

Для визначення геометричних розмірів резонатора, що необхідні для розрахунку резонансної частоти екрану було обрано частоту 1000 Гц, так як, згідно натурних вимірювань ця спектральна складова шумового потоку переважає.

Так як було обрано частоту резонансу, що дорівнює 1000 Гц, було виконане моделювання резонатора, що налаштований на дану частоту.

Резонатор знаходився у вільному просторі, а отже вплив додаткової маси не враховувався.

Геометричні розміри резонатора зображені на рисунку 39:

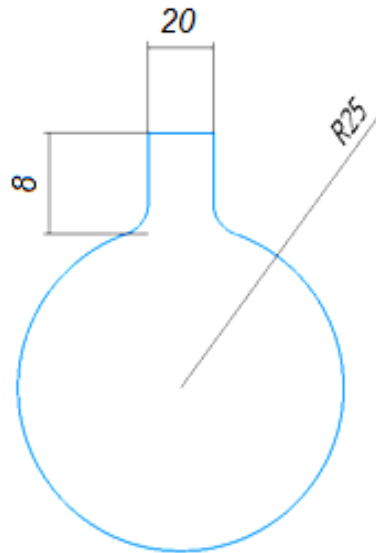


Рисунок.39 Геометричні розміри розрахункового резонатора

Для визначення резонансної частоти даного резонатора було застосовано “sweep signal”, тобто на резонатор було подано проміжок частот 1-5000 Гц із кроком в 1 Гц.

Отримано графік резонансної кривої для даного резонатора. Для такої конструкції резонансна частота дорівнювала $f = 996$ Гц.

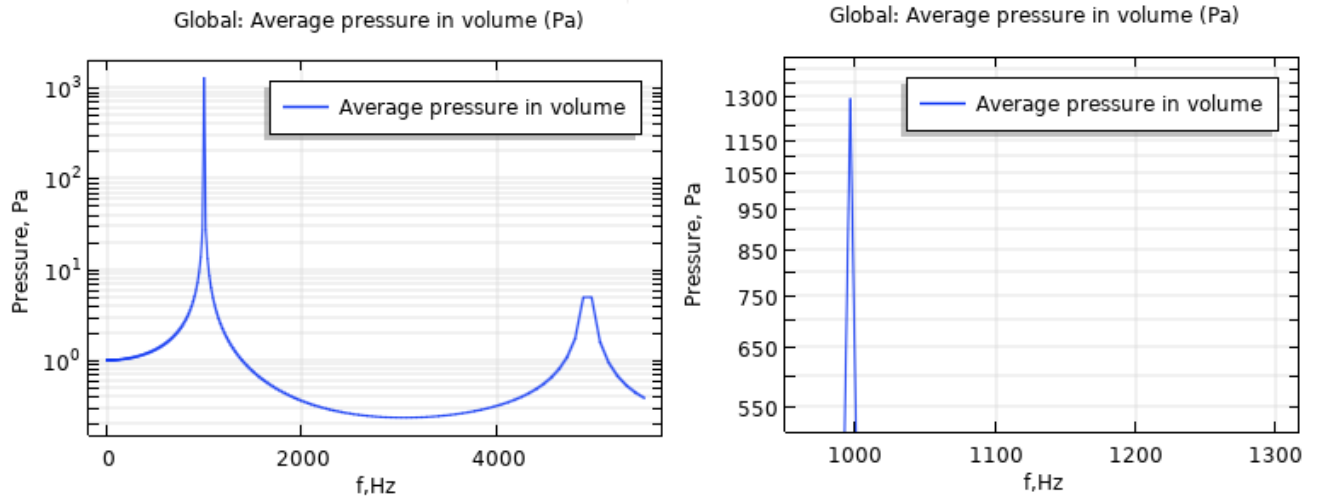


Рис.40 Резонансна крива заданого резонатора

Модель також надає можливість спостерігати розподіл звукового тиску в горлі та об'ємі резонатора, що представлено на рисунку 41.

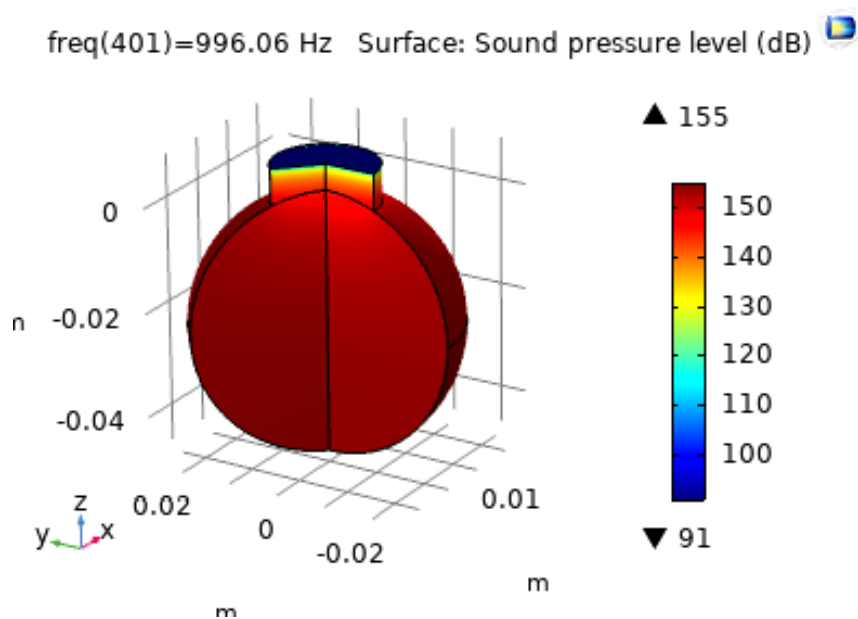


Рис. 41 Розподілення рівнів звукового тиску по об'єму резонатора

Наступним кроком було врахування навантаження повітря на резонатор. Створено модель, де резонатор розташований у півпросторі, геометричні розміри залишились, як на рисунку 39.

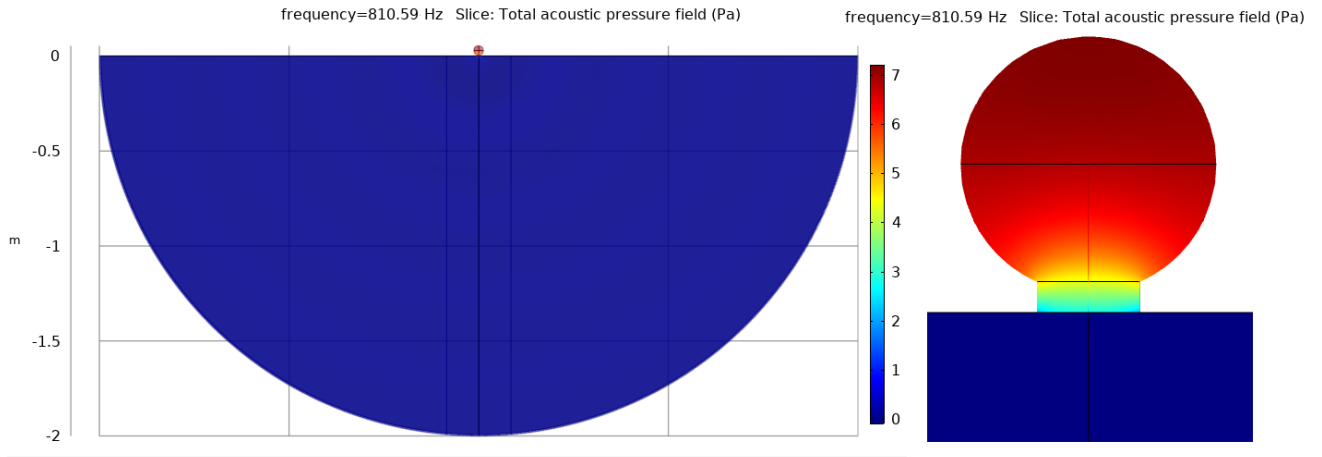


Рис. 42 Модель одного резонатора в напівпросторі

Для такої конструкції резонансна частота дорівнювала $f = 810$ Гц

Для врахування впливу сусідніх резонаторів (якщо вбудовувати їх у шумозахисний екран) було створено декілька областей із резонаторами:

а) 1x1: як було показано на рисунку 42 резонансна частота дорівнює 810 Гц.

б) 3x3: масив резонаторів розташовано в напів просторі, схематичне зображення моделі зображено на рисунку 43.

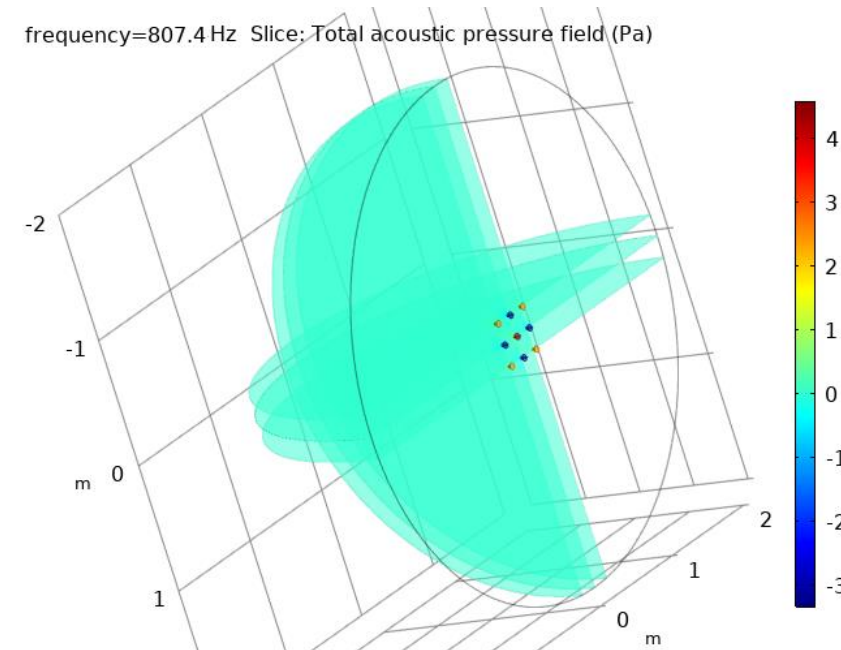


Рис. 43 Масив резонаторів 3x3

Згідно результатів експерименту, резонансна частота такої конструкції буде дорівнювати 807 Гц (спостерігаємо найбільший звуковий тиск в центральному елементі).

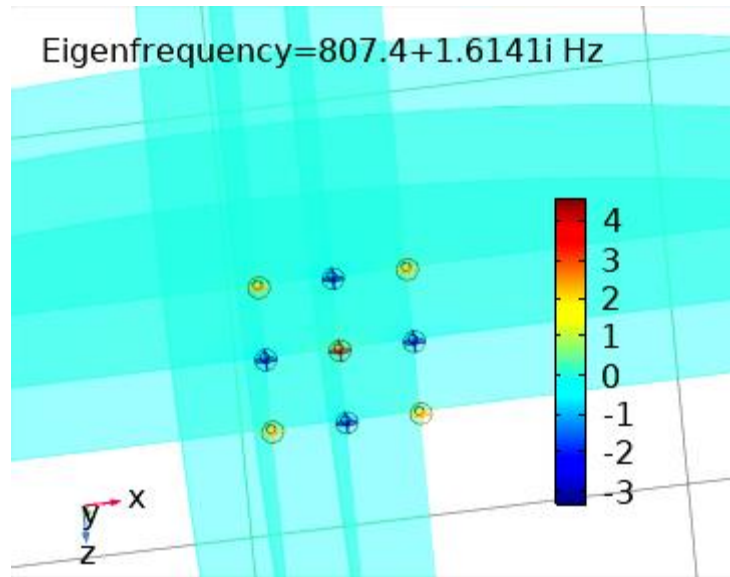


Рис. 44 Розподіл тисків по масиву резонаторів 3x3

в) 5x5: масив резонаторів розташовано в напів просторі, схематичне зображення моделі зображено на рисунку 45.

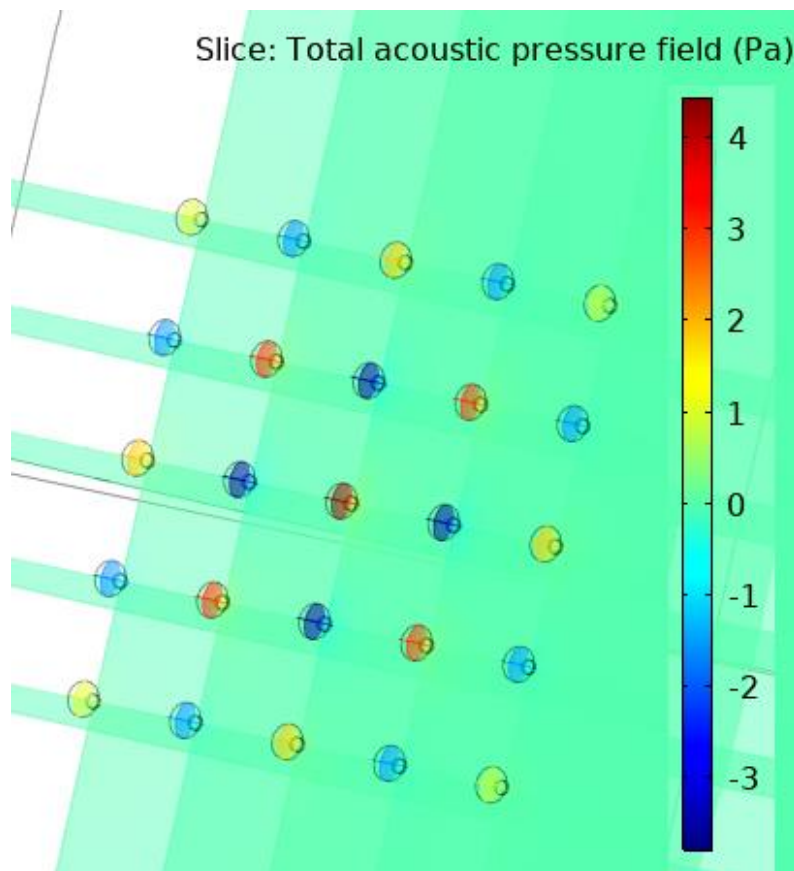


Рисунок 45. Розподіл тисків по масиву резонаторів 5x5

Згідно результатів експерименту, резонансна частота такої конструкції буде дорівнювати 809 Гц (спостерігаємо найбільший звуковий тиск в центральному елементі).

Також спостерігається характерна залежність власних мод коливань акустичної хвилі. В додатках А-Г наведені декілька прикладів такої залежності.

г) 7x7: масив резонаторів розташовано в напів просторі, схематичне зображення моделі зображено на рисунку 46.

Згідно результатів експерименту, резонансна частота такої конструкції буде дорівнювати 811 Гц (спостерігаємо найбільший звуковий тиск в центральному елементі).

Також провонжує зберігатись деяка залежність в ласних мод коливань акустичної хвилі, що спрямована на резонатори.

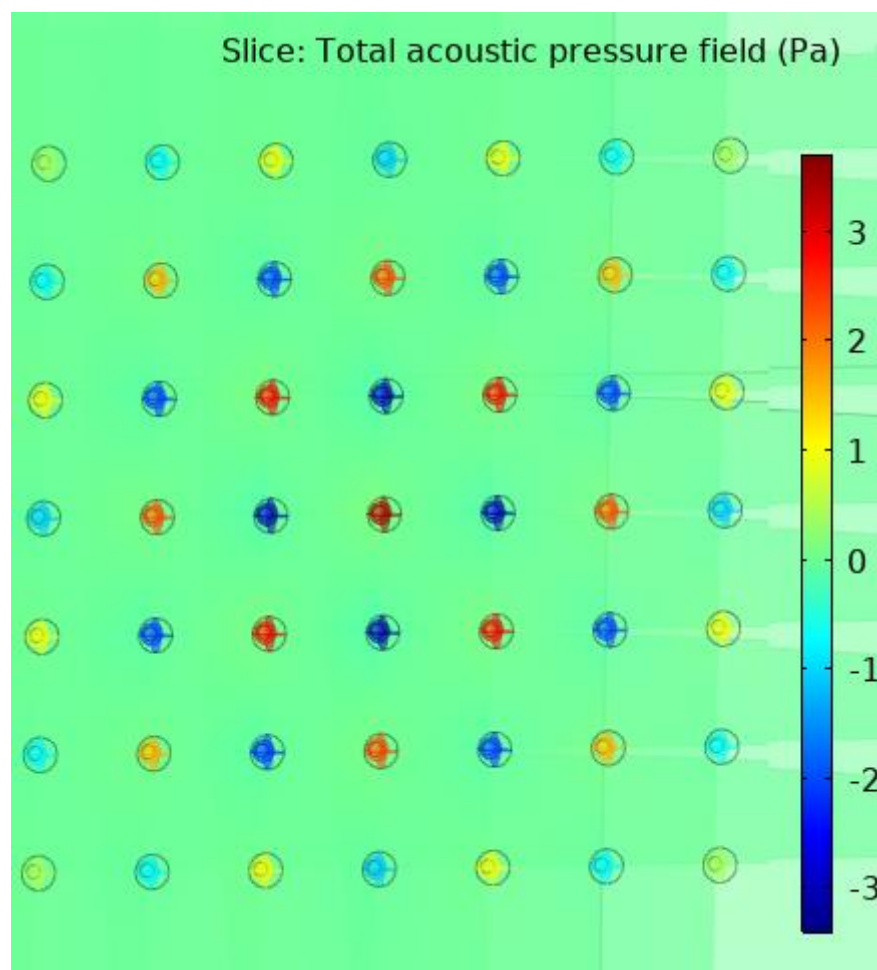


Рисунок 46. Розподіл тисків по масиву резонаторів 7x7

Перевіримо відповідність розрахункової резонансної частоти резонатора Гельмгольца.

Частота резонансу заданої конструкції за Гельмгольцем згідно формули (1):

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}},$$

де $c = 340$ м/с - швидкість звуку в повітрі, S – площа поперечного перерізу горла, l - довжина трубки, V – об'єм резонатора.

Отже, згідно розрахунків:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}} = \frac{340}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi \cdot 0,01^2}{\frac{4}{3}\pi \cdot 0,025^3 \cdot 0,008}} = 1325 \text{ Гц}$$

Дана формула дає справедливі результати лише за умови того, що довжина горла буде набагато більшою за діаметр отвору. Так як, в нашому випадку, ця умова не виконується, то результати експерименту та розрахунків суттєво відрізняються.

Також, частота резонансу може бути розрахована за Релеєм згідно формули (8):

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_0}{l_c V}},$$

де S_0 - площа поперечного перетину горла резонатора; l_c - ефективна довжина горла резонатора.

$$l_c = l + 1,7a = 0,008 + 1,7 \cdot 0,01 = 0,025 \text{ м}$$

Отже, згідно розрахунків:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_0}{l_c V}} = \frac{340}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi \cdot 0,01^2}{\frac{4}{3}\pi \cdot 0,025^3 \cdot 0,025}} = 750 \text{ Гц}$$

За даною формулою отримуємо більш точні результати оцінки резонансної частоти резонатора Гельмгольца.

3.3. Висновки

За результатами розрахунків та експериментальних даних була отримана прикладна формула для розрахунку резонансної частоти шумозахисних панелей із поздовжніми порожнинами правильної геометричної форми. За допомогою програмного забезпечення дана формула була застосована до моделі шумозахисного екрану. Розбіжність значення теоретичної резонансної частоти та експериментальної становила 3,2 %.

Розрахована та експериментально перевірена резонансна частота резонатора Гельмгольца. Встановлена залежність зміни частоти від зовнішнього оформлення резонатора.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап-проекти призначені вирішувати проблеми та задачі, які з часом вдається вирішити завдяки використанню технічного прогресу, можливостей та новітніх розробок.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

В даному розділі магістерської дисертації буде виконано перший етап розроблення стартап-проекту, а саме маркетинговий аналіз. В межах цього етапу необхідно :

- розробити опис самої ідеї проекту та визначити загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
- проаналізувати ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробити стратегію ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея стартап-проекту полягає в створенні шумозахисного екрану стінки, для захисту територій від небажаного шуму	1. Розробка обладнання для шумозахисту жилих територій та житлових приміщень	Зниження рівня шумів до санітарних вимог та зменшення шумового забруднення територій

Таблиця 5. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Perfect G8	Euroformat-road			
1.	Доступ до ресурсів	Обмежений	Необмежений	необмежений	Використання малої кількості матеріалів виготовлення для порівняння характеристик звукоізоляції	Розроблено основні рекомендації щодо конструктивних рішень	Результати отримані при розрахунках повністю задовольняють санітарні норми та вимоги щодо ефективності екрану

2.	Постійні витрати	Незначні	Значні	Значні	Розглянуто лише доступні матеріали, які можна поліпшити або вдосконалити у ході побудови та розробки данного екрану	Потрібні затрати на можливе вдосконалення проекту в подальшій розробці та виготовленні.	Досі витрат на побудову не було, а отримані данні є достовірними.
3.	Орієнтована ціна	\$30000	\$40000	\$50000	При виготовленні, побудові та роботах по встановленню затрати можуть коливатися, але не у великих межах	Представлена змога обрання матеріалів для розробника, час встановлення та працівників, що може знизити загальну вартість побудови	Ціна є найнижчою на ринку

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 6. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розроблення основних вимог, параметрів конструкції та особливостей побудови	Теоретичний розрахунок, з подальшою візуалізацією на схемах та рисунках	Наявна	Доступна
2	Розроблення конструкції та обрання задовольняючого матеріалу для побудови	Теоретичний розрахунок, підтверджений практичними вимірюваннями	Наявна	Доступна
3	Розроблення шумозахисного екрану для захисту територій від шуму	Реальна побудова та зведення екрану на певній території	Наявна	Потребує доробки

Обрана технологія реалізації ідеї проекту:

Буде розроблена теоретична конструкція шумозахисного екрану для захисту територій від надмірних шумів. Надані основні рекомендації щодо конструкції екрану, його особливостей, параметрів та схеми побудови на території. Надано основні рекомендації щодо основних матеріалів та конструктивної форми для виготовлення екрану, які в подальшому можна лише змінювати та вдосконалювати.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 7. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25%

Таблиця 8.Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Шумове забруднення	Підприємства (заводи, фабрики), приватні особи, розважальні заклади	Відношення до товару, соціальний статус клієнта, об'єм купівлі	Не допускати будь-яких видів пошкоджень екранів

Таблиця 9.Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
-------	--------	---------------	--------------------------

1	Ефект масштабу	Можливість зростання обсягу інвестицій, який доведеться вкласти новій компанії(проекту) для проведення досліджень та розширення бази, та, щоб закріпитися на ринку та стати широкоживаним у цільових аудиторіях	Або зменшення масштабів досліджень, або зменшення собівартості продукції
2	Патенти	Можливість розроблення вже запатентованих ідей, та повторення етапів з конкуруючими ідеями	Дослідження патентів в даній галузі
3	Відомий бренд	Можливість важкого подолання бар'єру при боротьбі з вже існуючими компаніями	Поширення інформації про переваги даного проекту на ряду з вже існуючими

Таблиця 10.Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зниження цін на елементи виготовлення шумозахисних екранів, його складових та матеріалів	Буде знижена ціна на безпосереднє виготовлення шумозахисних екранів, що може привести до	Збільшення обсягів досліджень, покращення якості та всебічне вдосконалення продукції

		збільшення попиту на таку продукцію	
2	Можливість розширення ринку та експорт обладнання, елементів та матеріалів	Через низьку ціну на елементні частини та виготовлення шумозахисних екранів можливе збільшення попиту і за кордоном, оскільки фінансування, що виділяється за кордоном на проблеми такого роду, значно перевищує українські інвестиції у цю галузь. А при покращенні якості та низькій ціні, така можливість дуже вірогідна	Покращення якості та кількості товарів і послуг в цій сфері, можливе співробітництво з більшими, іменитими у цій галузі компаніями, обмін знаннями та технологіями для оптимізації товарів та поліпшення конструктивних особливостей.

Таблиця 11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	На ринку існує три основні фірми	Орієнтуватися на ринок України та Європи
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний	Головні конкуренти знаходяться на ринку Європи	Орієнтуватися на ринок України та Європи

3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Конкуренція відбувається між компаніями однієї галузі	Покращувати якість, не збільшуючи ціну
4. Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Конкуренція відбувається між компаніями, які розробляють однакові продукти, але при різному відношенні ціна/якість	Зберігати тенденцію на збільшення якості
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Головним критерієм конкуренції наразі є ціна на продукцію	Внести конкуренцію за якістю
6. За інтенсивністю - не марочна	Одним з головним критерієм конкуренції є якість	Внести конкуренцію за ціною

Таблиця 12. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Perfect G8, Euroformat-road	Ефект масштабу, патенти	Продукція постачальника посідає важливе місце у виробництві даної галузі	Кількість споживачів, доступність інформації для споживачів	Товари-замінники не існують
Висновки:	Конкурентна боротьба велика в основному на ринку Європи	- Є велика можливість входу на ринок України та в подальшому	Постачальники не диктують умови на ринку	Головним критерієм для клієнтів є найкраще співвідношення	Є обмеження для роботи на ринку через товари та

1	Низька ціна	17	Euroformat-road,	Perfect G8					
2	Відношення ціна/якість	13				Euroformat-road, Perfect G8			

Таблиця 15. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Низька ціна	Слабкі сторони: Новачок на ринку
Можливості: Зайняти місце на ринку України, а з часом Європи	Загрози: Патентні суперечки

Таблиця 27. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Конкурент	Середня	1 рік

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 17. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент

1	Підприємства та розважальні комплекси	Готові	Великий	Низька	Середня
2	Приватні особи	Готові	Середній	Висока	Середня

Які цільові групи обрано: в якості цільової групи обрано підприємства та у виключних випадках - приватні особи

Таблиця 18. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	За цільову групу обрано підприємства та розважальні комплекси	Концентрований маркетинг	Низька ціна на виріб, гарантійне та пост гарантійне обслуговування	Стратегія спеціалізації
2	Обрано весь ринок, включаючи приватних осіб	Масовий маркетинг	Відношення ціна/якість, гарантійне обслуговування	Стратегія лідерства по витратах

Таблиця 19. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або	Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару	Стратегія конкурентної поведінки*

		забирати існуючих у конкурентів ?	конкурента, і які?	
1	Не є, в Україні	Пошук нових споживачів	Ні	Стратегія конкурентноспроможності на ринку
2	Не є, в Європі та США	Переважно пошук нових споживачів	Так, якщо це стосується покращених елементів кріплення	Стратегія конкурентноспроможності на ринку

Таблиця 20. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Низька ціна, висока якість та надійність конструкції	Стратегія спеціалізації	Ціна виробу буде нижче ніж у конкурентів, гарантійна та пост гарантійна підтримка здійснюється за необхідністю	Відношення ціна/якість, підтримка споживачів та подальше вдосконалення
2	Якість звукоізоляції, ціна	Стратегія лідерства по витратам	Ціна виробу буде нижче ніж у конкурентів.	Якість звукоізоляції не буде визначатися ціною.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 21. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Спрощення розробки складових частин шумозахисного екрану	Зниження ціни	Основною перевагою серед конкурентами є низька ціна. Також, за необхідності, обов'язкова гарантійна та пост гарантійна підтримка.
2	Спрощення розробки елементів кріплення, вдосконалення конструкції	Зниження ціни	Низька ціна на товар, за необхідності, гарантійна та пост гарантійна підтримка.

Таблиця 22. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Продукт використовується для звуко- та шумоізоляції		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/У/Ор
	1. Рівень звукоізоляції	М	Тх
	2. Ефективність	М	Тх
	3. Геометричні розміри	М	Тл
	4. Кількість шарів	М	Тл
Якість: висока			

	Пакування: потребує пакування при транспортуванні
	Марка: Anti strepitus inc. Назва товару: Anti strepitus
III. Товар із підкріпленням	Гарантія якості
	Підтримка користувача
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: особиста (персональна) ліцензія.	

Таблиця 23. Визначення меж встановлення ціни на обладнання

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	> \$30000	> \$40000	\$7000-70000/міс	\$20000-35000
2	> \$40000	> \$50000	\$20000-200000/міс	\$25000-40000

Таблиця 24. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Оптові закупівлі	Транспортування, поділ	без посередників	Традиційна

Таблиця 25. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються	Ключові позиції, обрані для позицію	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення

		ся цільові клієнти	нування		
1	Консерватор	Конференції, виставки	Якість, ціна	Показати переваги технології	Демонстрація якості та надійності практичного застосування технології
2	Нерішучий	Інтернет, телебачення, реклама	Ціна	Ознайомити клієнтів з існуючою технологією	Враження клієнта новизною технології

4.6. Висновок до 4 розділу

Представлена послуга та товар не є новими на світовому та українському ринках. Для входу на ринок знадобиться час, оскільки потрібен реальний досвід та широкі дослідження перед виходом у світ. Цільова група з часом буде тільки збільшуватися, оскільки кількість людей, що страждають від шумового забруднення, кожен рік зростає.

Досить великою проблемою у розвитку цієї галузі є погана поінформованість та платоспроможність жителів України. Проте, орієнтуючись спочатку на цільові великі організації та підприємства, продукт з часом може розвиватись, паралельно підвищуючи попит і фізичних осіб.

Оскільки технологія виготовлення та матеріали шумозахисних екранів закордоном є дорожчими, ніж на українському ринку, то за рахунок розвитку, вдосконалення конструкції та збільшення відношення якість-ціна з часом, можна буде отримати попит на міжнародній арені. В результаті чого, будуть збільшені обсяги експорту.

Через низьку ціну та відношення ціна/якість, у порівнянні з вже відомими брендами у цій галузі, проект є достатньо конкурентоспроможним.

Проект має перспективу і у інших напрямках, є можливість розвиватися у напрямку шумоізоляції.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було проаналізовано найбільш часто використовувані методи акустичної корекції, звукопоглинання та захисну від несприятливого шуму.

Виходячи із аналізу літератури, засобами звукопоглинання, що застосовані до шумозахисного екрану можна досягти збільшення ефективності екрану. Також, звукопоглинання в шумозахисних панелях можна досягти за рахунок конструктивних особливостей цих панелей. Наприклад, застосування панелей із поздовжніми порожнинами або застосування вбудованих резонаторів Гельмгольца в шумозахисний екран.

Методами математичного моделювання було вирішено провести експеримент по визначенню ефективності екрану із застосуванням звукопоглинаючого шару та екраном із вбудованими резонаторами. Під час розгляду конструкцій із резонаторами різного вигляду та форми, наприклад, щільових або панелей із поздовжніми порожнинами було виявлено, що для резонаторів із поздовжніми порожнинами немає аналітичної формули для визначення резонансної частоти. В результаті, була виведена прикладна формула для розрахунку резонансної частоти конструкцій із поздовжніми порожнинами правильної геометричної форми та підтверджена результатами моделювання таких резонаторних конструкцій. Для конструкцій із поздовжніми порожнинами неправильної геометричної форми формула потребує подальшого дослідження.

За результатами моделювання визначено ефективність звукопоглинаючого шару, що застосований до шумозахисного екрану. За рахунок звукопоглинання можна досягти підвищення ефективності шумозахисної конструкції на 3,1-3,2 дБ при абсолютно поглинаючому шарі та 0,11-0,12 дБ при коефіцієнті поглинання шару, що дорівнює 0,1.

Розрахована та експериментально перевірена резонансна частота резонатора Гельмгольца. Встановлена залежність зміни частоти від зовнішнього оформлення резонатора.

Отже, формула Гельмгольца для розрахунку резонансної частоти резонатора може використовуватись за умови того, що довжина горла є набагато більшою за діаметр отвору горла. У випадку 3D моделювання резонатора дана умова не виконувалась, тому похибка розрахунків становила 38,8 %. Така похибка виникає через не врахування приєднаної маси горла, що спричиняє великий вплив на резонансну частоту резонатора. При застосуванні формули Релєя для розрахунку резонансної частоти того ж резонатора розбіжність значення теоретичної резонансної частоти та експериментальної становила 3,2 %.

Помічено, що при збільшенні кількості резонаторів в конструкції резонансна частота збільшується (зменшується приєднана маса, а частота збільшується). Але флуктуації частоти знаходяться в діапазоні 10 Гц.

Також, спостерігалась деяка залежність мод коливань у конструкціях із різною кількістю вбудованих резонаторів. У додатках А-Г наведено деякі залежності розподілу мод коливань акустичної хвилі, наприклад, розподіл із максимумом тиску в центральному елементі, або навпаки – мінімум тиску в центральному елементі. Дана залежність повторюється для всіх конструкцій, що були промодельовані (екран із резонаторами 1x1, 3x3, 5x5 та 7x7). Зі збільшенням кількості резонаторів у конструкції залежність ускладнюється та потребує подальших досліджень.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Акустика: Справочник/А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров; Под ред. М. А. Сапожкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1989. — 336 с.
2. Шумозахисні екрани для зниження рівнів звукового тиску від рухомих джерел звуку : дис. канд. техн. наук: 05.09.08 / . — Київ, 2013. — 182 с.
3. Duben A.P., Kozubskaya T.K., Korolev S.I. [et al.]. Acoustic flow in the resonator throat: Experiment and computational modeling. *Acoustical Physics*, 2012, vol. 58, no. 1, pp. 69-80.
4. J.A. Fletcher, M.A. (Cantab.). The design of a modular sound absorber for very low frequencies. BBC Research department. № BBC RD 1992/10.
5. Kalinichenko M.V., Bulkin V.V., Balashova A.A. On the possibility of application of acoustic screens-resonators to reduce noise in the area in front of the screen. Murom Institute (branch) of Vladimir state University, 2016
6. Лапин А. Д. Поглощение звука решеткой резонаторов с трением в стоячем звуковом поле / А. Д. Лапин. // «Техническая акустика». — 2017. — №3.
7. Trevor J. C. Acoustic Absorbers and Diffusers Theory, design and application / J. C. Trevor, D. Peter. — London: Spon Press, 2005. — 405 с.
8. Комкин А. И. Характеристики поглощения резонатора Гельмгольца / А. И. Комкин, М. А. Миронов. // УЗФФ. — 2014. — №6.
9. Федотов Е. С. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕЗОНАТОРА ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ВОЛНОВОДЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ / Е. С. Федотов, В. В. Пальчиковский. // Вестник ПНИПУ. — 2014. — №38. — С. 107–126.
10. Комкин А. И. Особенности снижения шума в канале резонатором Гельмгольца / А. И. Комкин. // Известия высших учебных заведений. — 2010. — С. 38–42.

11. Светлов В. В. Расчет эффективности технологического шумозащитного экрана для снижения шума от воздухозаборных решеток компрессорных установок / В. В. Светлов. // NOISE Theory and Practice. – С. 60–67.
12. ПРОТОКОЛ № 25к/16 кваліфікаційних випробувань звукопоглинання панелей шумозахисного екрана Perfect G8 виробництва ТзОВ «ЕФЕКТБУД», 2016 р.
13. Авдєєва Н. Ю. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАБУДОВИ НА ТЕРИТОРІЇ, ЯКА ЗНАХОДИТЬСЯ ПІД ДІЄЮ АВІАЦІЙНОГО ШУМУ / Н. Ю. Авдєєва. // Проблеми розвитку міського середовища. – 2015. – №2. Волосенко К. И. К РАСЧЕТУ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ / К. И. Волосенко. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1.
14. Шихатов А. И. Акустические резонаторы Гельмгольца [Электронный ресурс] / А. И. Шихатов. – 2004. – Режим доступа до ресурсу: <https://baseacoustica.ru/jenciklopedija/6-zvuk/39-akusticheskie-rezonatory.html>.
15. Иванов Н. И. Влияние материала на акустическую эффективность шумозащитных экранов / Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин, Ю. С. Бойко. // NOISE Theory and Practice. – 2014. – С. 24–28.
16. Readmyschool. Резонатор акустичний [Электронный ресурс] / readmyschool. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://readmyschool.com/>.

ДОДАТКИ

Додаток А

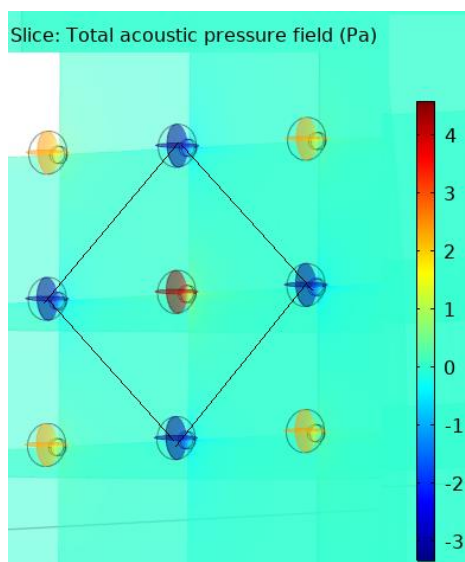


Рис.47 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 3x3 (максимум ак. тиску в центральному елементі)

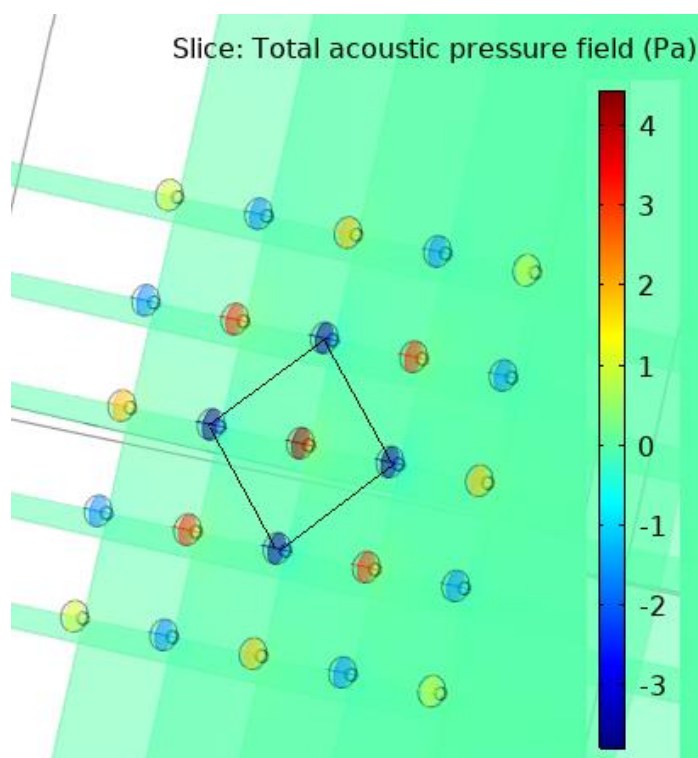


Рис.48 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 5x5 (максимум ак. тиску в центральному елементі)

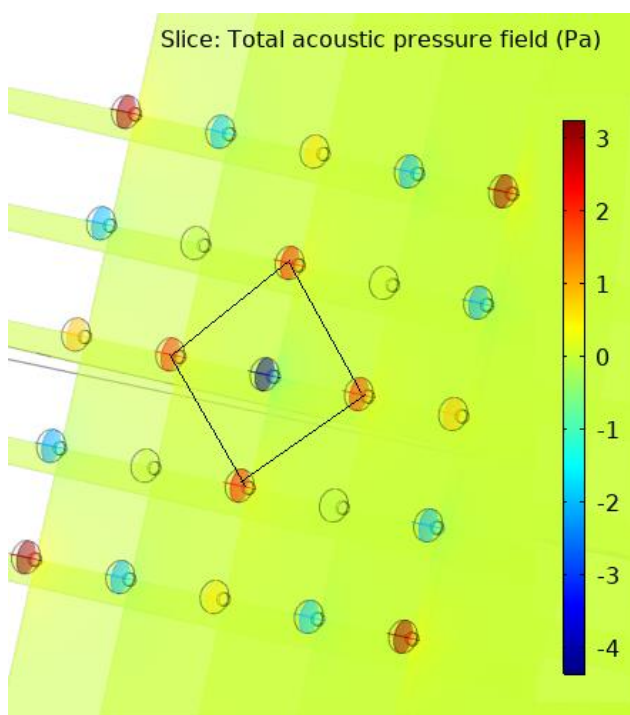


Рис.49 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 5x5 (мінімум ак. тиску в центральному елементі)

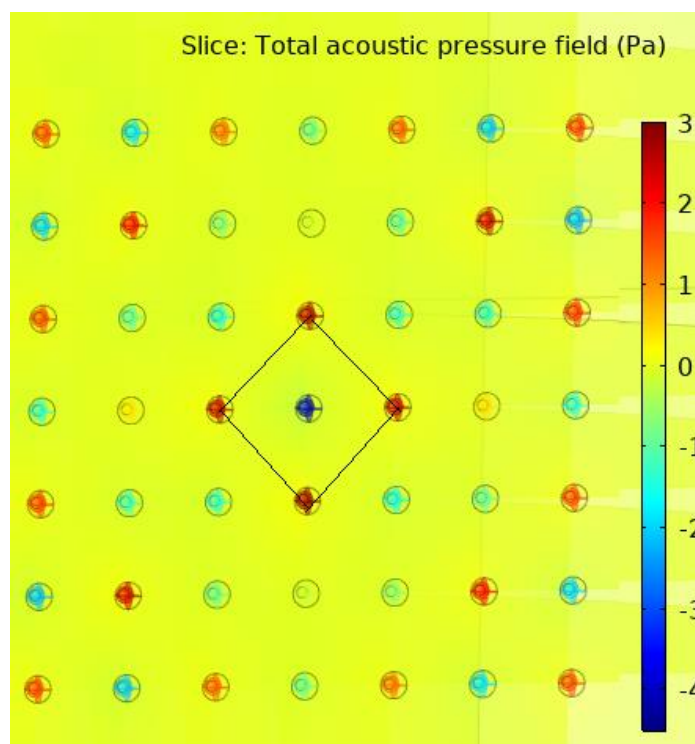


Рис.50 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 7x7 (мінімум ак. тиску в центральному елементі)

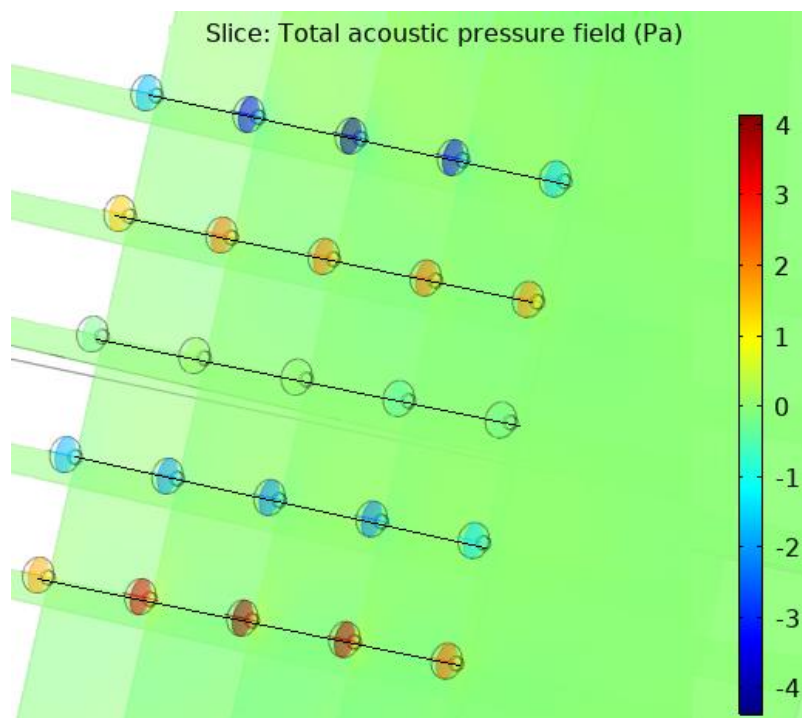


Рис.51 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 5x5 (чередування максимумів та мінімумів)

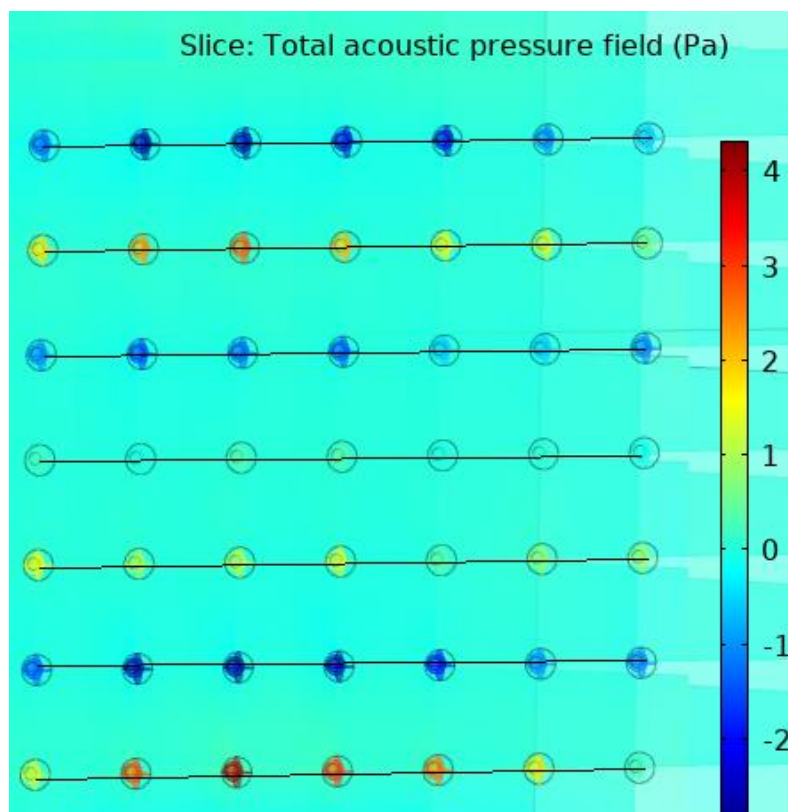


Рис.51 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 7x7 (чередування максимумів та мінімумів)

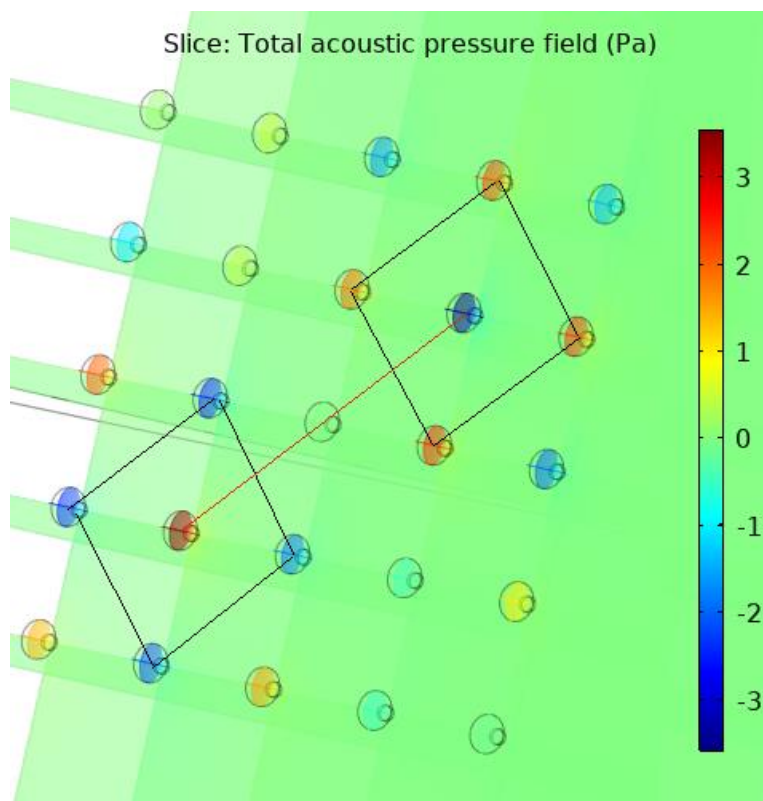


Рис.53 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 5x5

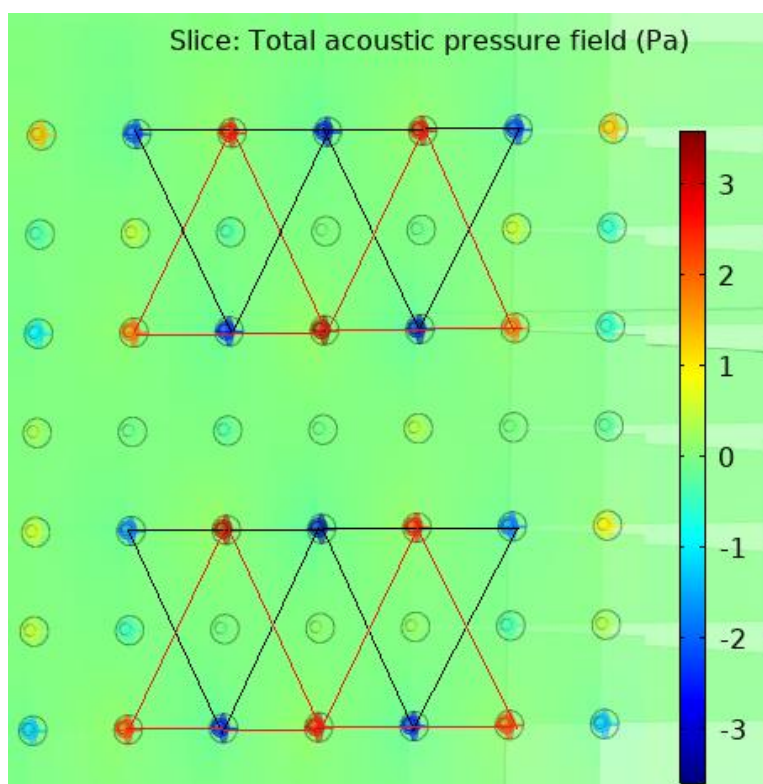


Рис.54 Розподіл мод коливань акустичної хвилі в резонаторній конструкції 7x7