


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки  
Акустичних та мультимедійних електронних систем

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
 Сергій НАЙДА  
“07” червня 2021 р.

## Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка (Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації)

(код та назва спеціальності)

на тему: Акустична модернізація конференц-залу

Виконав: студент IV курсу, групи ДГ-72

Джур Ярослав Володимирович

Керівник доцент каф.АМЕС, к.т.н. Желяскова Тетяна Миколаївна

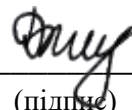


Рецензент доцент каф. ЕПС, к.т.н. Клен Катерина Сергіївна



Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

Київ – 2021 року

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

Інститут/факультет Факультет електроніки

Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка (Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Сергій НАЙДА

“24” травня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Джур Ярослав Володимирович

1. Тема проекту (роботи) Акустична модернізація конференц-залу  
керівник проекту (роботи) Желяскова Тетяна Миколаївна, к.т.н  
затверджені наказом по університету від «24» травня 2021 р. № \_\_\_\_\_
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 7 червня 2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) конференц-зали розмірами 11м\*8м\*4,5м та 13,2м\*8,7м\*4,35м.
4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) 1) проаналізувати архітектурні особливості конференц-залів; 2) дослідити методи розрахунку акустичних параметрів приміщення; 3) дослідити методи та засоби боротьби з шумом.

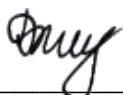
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) презентація з наведеними результатами розрахунків та графіками.

6. Дата видачі завдання      квітня 2021 р.

#### Календарний план

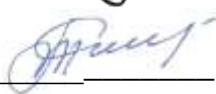
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Написання першого розділу: Особливості акустики конференц-залів	20.04.2021	
2	Написання другого розділу: Основні принципи звукоізоляції	29.04.2021	
3	Написання третього розділу: Акустичний проект	23.05.2021	
4	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	30.05.2021	
5	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	06.06.2021	

Студент



Ярослав ДЖУР

Керівник роботи



Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

УДК 004.422.81

## РЕФЕРАТ

*Джур, Я. В. Акустична модернізація конференц-залу: дипломна робота бакалавра: 171 Електроніка. - Київ, 2021. - 50 с.*

Ключові слова: *конференц-зал, оптимальний час реверберації, коефіцієнт звукопоглинання, шум, звукоізоляція, фонд звукопоглинання.*

Об'єктом дослідження в даній роботі є методи розрахунку акустичних параметрів конференц-залів.

Метою дослідження роботи є проектування та модернізація акустичних умов конференц-залів та захист приміщень від шумів.

Актуальність дослідження заключається у високому попиті на багатоцільові зали з хорошими акустичними параметри серед бізнесу та освіти.

Методом дослідження є теоретичне проектування залу та покращення його акустичних параметрів за допомогою опрацювання та аналізу літури по архітектурній акустиці.

Предметом дослідження є методи та засоби покращення акустичних характеристик приміщень.

Практичним значенням роботи є застосування результатів аналізу в проектуванні та побудові конференц-залів з оптимальними характеристиками.

## ABSTRACT

*Dzhur, Y. V. Acoustic modernization of the conference hall: bachelor's thesis: 171 Electronics. - Kyiv, 2021. - 50 p.*

*Keywords: conference hall, optimal reverberation time, sound absorption coefficient, noise, sound insulation, sound absorption fund.*

The object of research in this paper are the methods of calculating the acoustic parameters of conference rooms.

The purpose of the study is to design and upgrade the acoustic conditions of conference rooms and protect the premises from noise.

The relevance of the study lies in the high demand for multi-purpose halls with good acoustic parameters among business and education.

The research method is the theoretical design of the hall and the improvement of its acoustic parameters through the processing and analysis of literature on architectural acoustics.

The subject of research is methods and means of improving the acoustic characteristics of the premises.

The practical significance of the work is the application of the results of the analysis in the design and construction of conference rooms with optimal characteristics.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>	7
<b>1. ОСОБЛИВОСТІ АКУСТИКИ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛІВ</b>	8
1.1 Типи конференц-залів і розміщення людей	8
1.2 Методи розрахунку акустичних параметрів приміщень	12
1.2.1 Хвильова теорія акустики	12
1.2.2 Геометрична теорія акустики	13
1.2.3 Статистична теорія акустики	14
1.3 Оптимальний час реверберації	15
1.4 Рівняння Ейрінга та Себіна	16
1.5 Поглинання звуку повітрям	18
Висновки до розділу 1	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>2. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ</b>	20
2.1 Види шумів	20
2.2 Методи та засоби боротьби з шумом	23
2.3 Зменшення звукової потужності джерела	24
2.4 Звукоізоляція	25
2.4.1 Звукоізоляційні матеріали	26
2.5 Звукопоглинання	29
2.5.1 Звукопоглинальні матеріали	29
Висновки до розділу 2	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>3. АКУСТИЧНИЙ ПРОЕКТ</b>	33
3.1 Акустичний розрахунок для першого конференц-залу	33
3.1.1 Розрахунок загального поглинання, вибір і розміщення звукопоглинальних матеріалів	36
3.1.2 Розрахунок звукоізоляція приміщення	38
3.2 Акустичний розрахунок для другого конференц-залу	40
3.2.1 Розрахунок загального поглинання, вибір і розміщення звукопоглинальних матеріалів	43
3.2.2 Розрахунок звукоізоляція приміщення	46
<b>ВИСНОВКИ</b>	49
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b>	50

## ВСТУП

Важливе місце в покращенні умов праці та побуту належить архітектурі і суміжним з нею науковим і технічним областям, оскільки її основною задачею є створення оптимального середовища для здійснення людьми різноманітних соціальних процесів. Відповідно, середовище, що оточує людину і обмежене приміщенням, маючим певне функціональне призначення, повинне володіти характеристиками найбільш повно відповідаючими роботі людського організму при виконанні даної функції.

Саме тому проблема задача акустичної модернізації сучасних конференц-залів є досить актуальною.

Зараз наявність хороших акустичних параметрів залів де ведуться конференції, перемовини, лекції, презентації тощо, як ніколи, дуже необхідні для бізнесу та освітніх закладів, тому цей напрямок є досить перспективним.

Характеристика середовищ визначається умовами зорового сприйняття та видимості, освітленням, мікрокліматом, а також акустичним режимом, що характеризується якістю сприйняття звуку, якщо вона обумовлюється даним функціональним процесом, або рівнем заважаючого шуму, виникаючого в приміщенні чи проникаючого в нього. І для того, щоб забезпечити необхідні акустичні параметри такого приміщення, необхідно володіти розумінням впливу відбитих хвиль на чіткість мовлення, законів поширення звукових хвиль в приміщенні, методів зменшення часу реверберації і т.п.

## 1. ОСОБЛИВОСТІ АКУСТИКИ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛІВ

### 1.1 Типи конференц-залів і розміщення людей

Сучасний конференц-зал, або конгрес-хол, - це багатофункціональне приміщення, призначене для конференцій, нарад, презентацій, урочистих і концертних заходів, рівень проведення яких і ефект, який досягається в результаті, багато в чому визначаються рівнем акустичних характеристик цих приміщень [1].

Проектування конференц-залу є досить складним і копітким процесом, в якому основними орієнтирами - це знання та досвід. Найчастіше приміщення, що виділяються під переговорні і конференц-зали сильно різняться, тому універсального рішення по покращенню акустичних параметрів не існує.

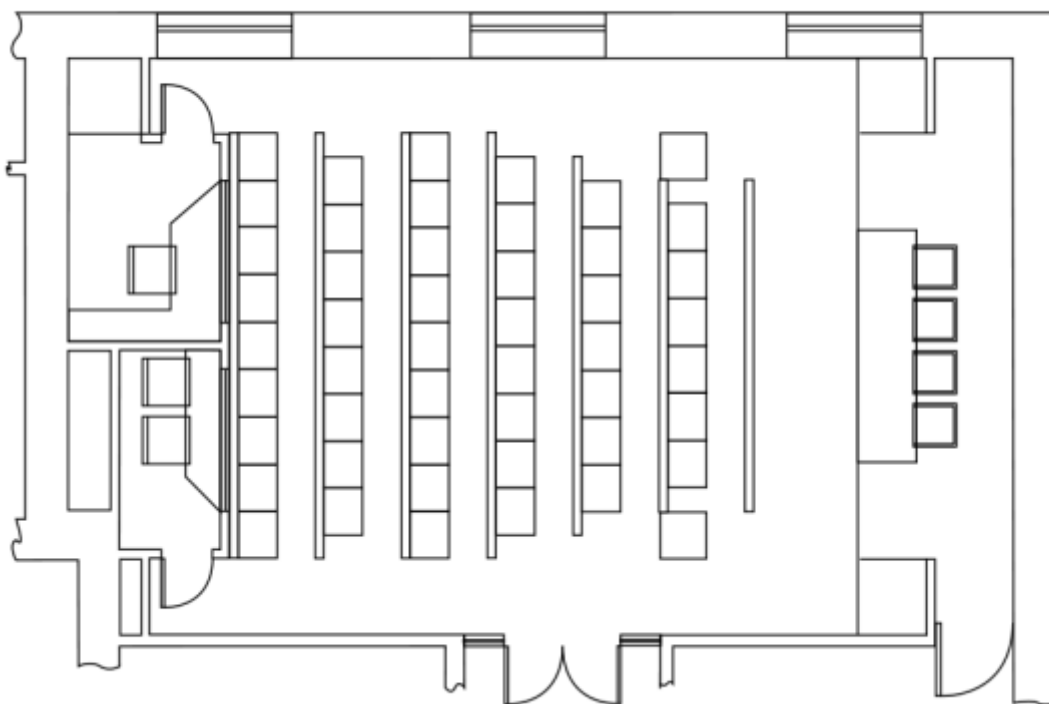


Рисунок 1.1 - Сучасний конференц-зал

Схеми розміщення людей в конференц-залах поділяються на:

- клас;
- театр;
- круглий стіл;
- переговори;
- Т-подібне розміщення.

Клас

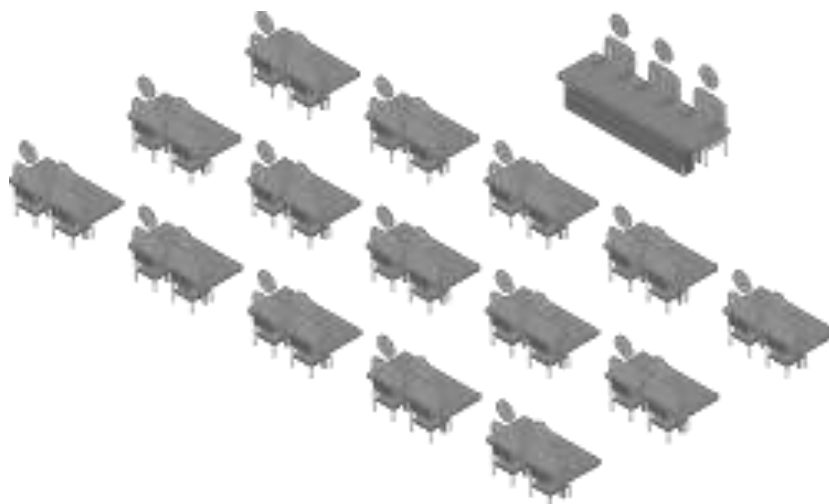


Рисунок 1.2 - Клас

Таке розміщення підходить у випадках, коли необхідна подача матеріалу одним або декількома ведучими середній групі слухачів - наприклад, при проведенні навчальних занять, брифінгів, лекцій, тренінгів або прес-конференцій.

## Театр

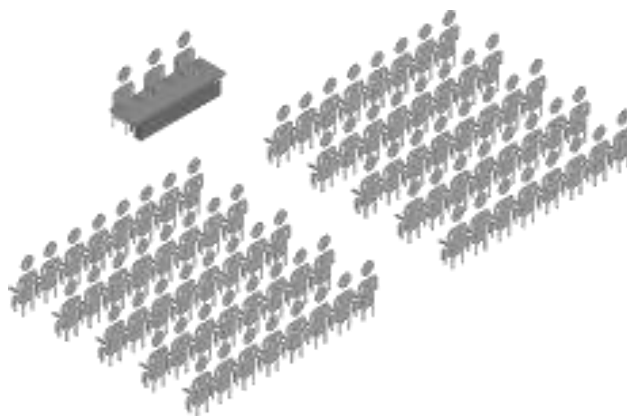


Рисунок 1.3 - Театр

Якщо під час виступу передбачається велике число слухачів, то такий спосіб розміщення найбільш доречний. За рахунок відсутності столів та інших меблів звільниться додатковий простір, а стільці учасників будуть розташовані один за одним рядами, що дозволить всім бачити і чути виступаючих.

## Круглий стіл



Рисунок 1.4 - Круглий стіл

Найбільш підходящий варіант для проведення переговорів "на рівних". Акцент цього варіанту розміщення припадає саме на дискусійну складову, тому що учасники знаходяться в фокусі уваги один одного. Стіл не обов'язково повинен бути круглим, він може бути складовим - у формі квадрата або прямокутника.

## Переговори

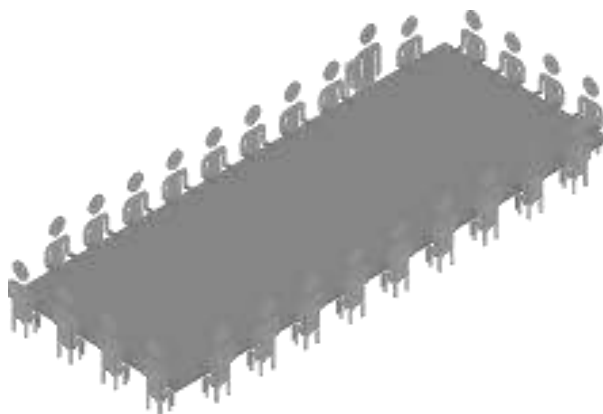


Рисунок 1.5 - Переговори

Даний варіант чудово зарекомендував себе в переговорних кімнатах найбільших компаній усього світу. Він поєднує в собі зручність спілкування між учасниками і роботу з наочними матеріалами. Довгий витягнутий стіл дозволяє розмістити відеопанелі по обидва боки столу або закріпити їх на стелі, розділивши переговорний простір надвоє.

### T-подібне розміщення

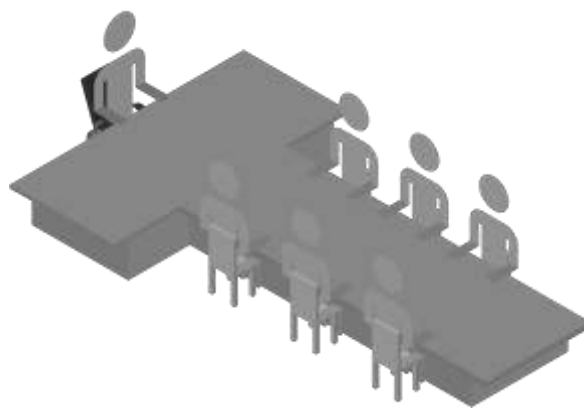


Рисунок 1.6 - T-подібне розміщення

Цей спосіб розміщення має схожість з переговорами, однак більшою мірою підходить для проведення робочих нарад та планерок. Керівник знаходиться на чільному місці і очолює мозковий штурм, по черзі слухає звіти підлеглих або віщає сам [2].

## 1.2 Методи розрахунку акустичних параметрів приміщень

Для розрахунку очікуваних акустичних характеристик в приміщенні необхідно скласти аналітичну модель. У свою чергу, ця модель повинна бути побудована на певній теорії акустики. В акустиці для розрахунку використовуються три теорії: хвильова, геометрична і статистична. Для визначення необхідної для розрахунку очікуваних параметрів теорії, основи теорій будуть описані і дані допущення до необхідної теорії.

### 1.2.1 Хвильова теорія акустики

Основи хвильової теорії були розроблені Дж. У. Релеєм і розвинені в роботах Ф. Морзе, Р. Болта, Л. Кремера та ін. Хвильова теорія розглядає звукові процеси як сувору фізичну задачу з урахуванням хвильової природи звуку. При розгляді поведінки повітряного об'єму приміщення із звуковим сигналом відзначимо, що перший поводить як складна коливальна система. Строгий аналіз хвильових процесів, що протікають в приміщенні, дозволяє зрозуміти, як вони впливають на акустичні властивості приміщення. Хвильова теорія акустики спирається на суворий математичний апарат, який досить складний і громіздкий.

Спрощено сутність хвильових методів розрахунків можна представити таким чином:

- складається хвильове рівняння, що описує зміну звукового тиску або коливальної швидкості в різних точках середовища;
- знаходиться спільне рішення диференціального рівняння;

- задаються певні граничні умови, в які входять геометрія поверхонь і джерела та фізичні умови звукового поля на границі;
- виконується вирішення рівняння щодо звукового тиску або швидкості.

Хвильовий метод, незважаючи на свою суворість, не у всіх випадках може дати рішення. Так, наприклад, надзвичайно складним стає рішення хвильового рівняння при випадковому характері акустичного сигналу, з яким і мають справу в практиці шумозахисту.

### 1.2.2 Геометрична теорія акустики

Геометрична теорія є граничним випадком хвильової, вона простіша і наочна. Ця теорія оперує поняттям звукового променя. Звукове поле представляється у вигляді променів, побудованих за законами оптики. Методи геометричної акустики застосовні, якщо довжина звукового променя ( $l$ ) більше довжини звукової хвилі ( $\lambda$ ), або дорівнює їй, тобто  $l \geq \lambda$ . Вони досить складні, не універсальні і застосовуються в основному для середніх і високих частот. З їх допомогою описуються звукові поля в протяжних замкнених об'ємах, вирішуються задачі відбиття звуку від поверхонь.

Відзначимо, що умови дифузності звукового поля в більшій мірі дотримуються при розташуванні джерел шуму зовні замкнутого обсягу. якщо джерело знаходиться всередині приміщення, звукове поле має більш складний характер.

У приміщенні можна розрізнити прямий звук від джерела і відбитий - від огорожувальних поверхонь.

### 1.2.3 Статистична теорія акустики

Ця теорія принципово відмовляється від розгляду складних акустичних явищ, допускає певну ідеалізацію фізичних процесів в приміщенні і повністю відходить від розгляду хвильової природи звуку.

У статистичній теорії впорядковані ергодичні процеси ґрунтуються на припущенні про рівноімовірному приході звукових відбитих хвиль з будь-якого напрямку в будь-яку точку приміщення. Звукове поле в приміщенні ідеалізовано і розглядається як ізотропне і дифузне. Статистична теорія використовує метод енергетичного додавання сигналів.

При розгляді методами статистичної акустики звукової хвилі, що розповсюджується, не враховуються миттєві зміни амплітуди і фаз коливань, тобто нехтують розглядом інтерференційної картини звукового поля і координати точки середовища. Одним з основних положень статистичної теорії є припущення про сталість акустичної потужності джерела в приміщенні.

Статистична теорія справедлива для приміщень, які характеризуються рівномірним розподілом звукової енергії, тому вона має певні обмеження.

Так як принципи енергетичного додавання, покладені в основу статистичної теорії, дозволяють всі розрахунки звести до логарифмічних, то ця теорія є надзвичайно сприятливою для створення інженерних методів розрахунку. Тому більшість практично застосовуваних методів розрахунку очікуваної шумності засновані на теорії статистичної акустики, а там, де вона не може бути застосована - геометричній акустиці.

### 1.3 Оптимальний час реверберації

Реверберація - це процес зменшення інтенсивності звуку при його багаторазовому відбитті від оточуючих поверхонь. Основною числовою характеристикою цього процесу є час реверберації, або за скільки часу ми перестаємо чути відлуння. Час реверберації - це тривалість післязвучання сигналу. Можна сказати, що це час, протягом якого ми чуємо звук після зупинки його відтворення. Час реверберації залежить від розміру приміщення, матеріалів поверхонь приміщення, кількості людей в приміщенні, наявності та кількості меблів у приміщенні і т.д [3].

Час реверберації дуже впливає на якість звучання. Малий час реверберації робить звук сухим і неживим, а музику - невиразною, що вимагає від виконавця підвищення гучності виконання. При великому часу реверберації звук бубонить і стає нерозбірливим, а музика гуде і перетворюється в дисгармонійну суміш звуків [4].

Оптимальний час реверберації встановлено експериментальними дослідженнями залів різного об'єму в залежності від характеру звуків і наведено на рис. 1.7.

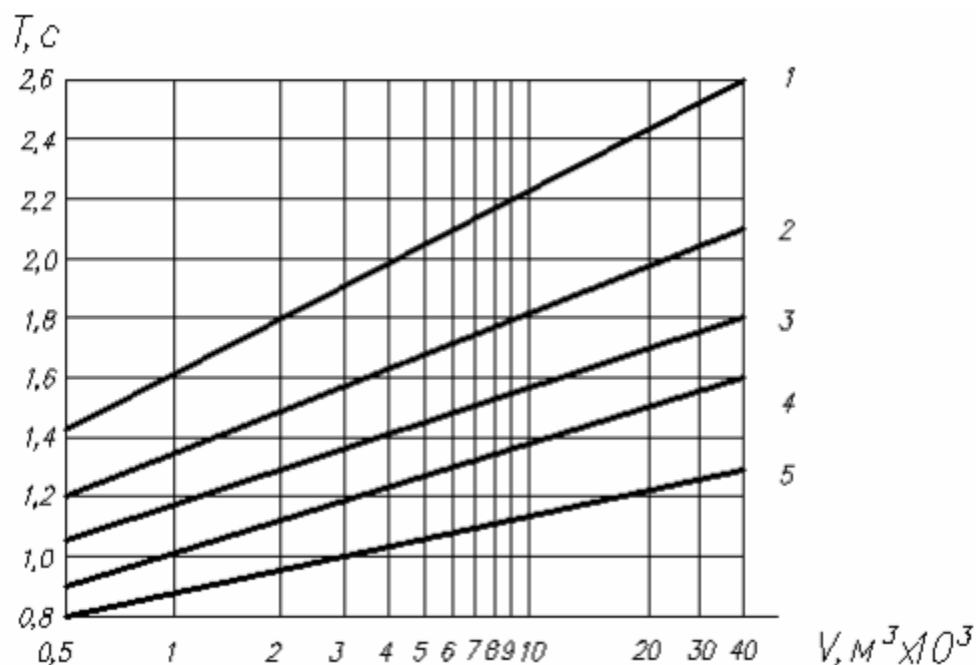


Рисунок 1.7 - Час реверберації на частотах 500-4000 Гц, рекомендований залам різного призначення й обсягів

- 1 - зали для ораторій і органної музики;
- 2 - зали для симфонічної музики;
- 3 - зали для камерної та оперної музики;
- 4 - зали багатofункціонального призначення;  
зали музично-драматичних театрів;
- 5 - лекційні зали, конференц-зали, зали драматичних театрів

#### 1.4 Рівняння Ейрінга та Себіна

Коли джерело звуку вимикається, починається процес зменшення щільності енергії в приміщенні, тобто процес спаду, який і називається реверберацією. Ревербераційний процес відбувається за експоненціальним законом. В реальних умовах процес реверберації не має гладкого характеру. Для кількісного опису процесів загасання енергії в різних приміщеннях

було введено параметр «оптимальний час реверберації». Оптимальний час реверберації - це такий інтервал часу, протягом якого щільність звукової енергії зменшується в  $10^6$  разів у порівнянні з початковою, при цьому її рівень знижується на 60 дБ. Оптимальний час реверберації залежить від об'єму приміщення, площі його внутрішніх поверхонь, середнього коефіцієнта поглинання і додаткового загасання в повітрі. При оцінці акустичних характеристик різних приміщень використовуються формули Ейрінга і Себіна [5].

Формула Ейрінга:

$$\tau = \frac{0,161 V}{S_{\Sigma} * \alpha_{сер}}$$

де  $V$  - об'єм приміщення,  $S_{\Sigma}$  - площа внутрішніх поверхностей,  $\alpha_{сер}$  - середній коефіцієнт звукопоглинання.

Формула Себіна:

$$\tau = \frac{0,161 V}{\alpha_{сер} S_{\Sigma}}$$

де  $V$  - об'єм приміщення,  $S_{\Sigma}$  - площа внутрішніх поверхностей,  $\alpha_{сер}$  - середній коефіцієнт звукопоглинання.

Обидві формули не враховують вплив форми приміщення, місця розташування звукопоглиначів і т.д. Оскільки коефіцієнти поглинання частотно залежні, стандартний час реверберації також залежить від частоти.

У роботах Ейрінга було показано, що процес наростання і спадання щільності енергії в приміщенні можна розглядати як такий, що відбувається ступенями через проміжки часу, рівні середньому часу протікання звукової хвилі.

### 1.5 Поглинання звуку повітрям

Основні фізичні механізми поглинання звуку в повітрі відомі: при поширенні звукового випромінювання відбувається поступове згасання енергії звуку, при віддаленні від джерела звуку його інтенсивність зменшується. Це відбувається тому, що енергія, яка випромінюється джерелом звуку, розподіляється на дедалі більші сферичні поверхні. Однак строгої теорії поглинання не існує. При цьому, поглинання звуку в газах поділяють на класичне і молекулярне.

Класичне поглинання обумовлене головним чином механізмами в'язкості і теплопровідності.

Сутність молекулярного поглинання звукових коливань полягає в тому, що впорядковані коливальні рухи частинок повітря перетворюються в хаотичні рухи цих частинок - молекул.

Сила звуку в повітрі зазвичай зменшується обернено пропорційно квадрату відстані від джерела звуку [6].

У великих приміщеннях і на високих частотах (більше 2000 Гц) треба враховувати додаткове поглинання звуку в повітрі за рахунок в'язкості і теплопровідності.

Ці параметри враховує формула:

$$\alpha = \frac{0,161 \alpha}{-\alpha_{\text{в}} * \alpha (1 - \alpha_{\text{сер}}) + 4 \alpha \alpha}$$

де  $V$  - об'єм приміщення,  $S_{\Sigma}$  - площа внутрішніх поверхностей,  $\alpha_{сер}$  - середній коефіцієнт звукопоглинання,  $\mu$  - показник затухання в повітрі.

В малих залах поглинанням звуку повітрям можна знехтувати.

### **Висновки до розділу 1**

В даному розділі було наведено три акустичні теорії, а саме: хвильова, статистична та геометрична. Всі вони мають власні особливості та вимоги до приміщення і було виявлено, що найкраще підійде для розрахунку параметрів конференц-залу саме статистична теорія.

При розрахунку акустичних параметрів також необхідно враховувати поглинання звуку повітрям, але цей параметр є суттєвим лише при частотах понад 2000 Гц, тому при нижчих частотах ним можна нехтувати.

## 2. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ

### 2.1 Види шумів

Звук являє собою пружну хвилю механічних коливань. Шум - це сукупність всіх звуків, які не є для нас важливими. У нашому сучасному техногенному світі є величезна кількість джерел шуму: міський транспорт, будівельна техніка, вібруюче обладнання та багато іншого [7].

За своїм походженням шум можна розділити на 3 групи.

#### Повітряний шум

Ударний вплив на елементи конструкції будівлі. Шум, який випромінюється і поширюється в повітрі. До нього можна віднести шум пирососа, розмови людей, звук транспорту, що проїжджає повз та інші. Для боротьби з повітряним шумом найкраще підходять масивні багатошарові перегородки із звукопоглиначем. Як звукопоглинальний шар можна використовувати плити з базальту, скловолокна, льону або поліефірного волокна. Таким чином утворюється коливальна система "маса-пружина-маса", при проходженні якої, звукова хвиля втрачає велику частину своєї енергії.

#### Ударний шум

Вібрації, що передаються по несучим конструкціям будівель. До ударного шуму можна віднести стукіт підборів по підлозі, падаючі предмети та інше. Найчастіше з таким видом шуму зіштовхуються жителі багатоквартирних будинків, коли добре чують кроки сусідів, що живуть зверху. Для боротьби з ударним шумом найкраще підходять матеріали на основі базальту, спіненого пінополіетилену, поліефірного волокна та інших пружних матеріалів.

## Структурний шум

Вібрації, що передаються по несучих конструкцій будівель. Найчастіше його джерелом вібруюче обладнання. Компресори, котельні, трансформатори, насоси та інші агрегати при своїй роботі створюють вібрації, які поширюються по конструкції будівель і випромінюються в приміщеннях у вигляді шуму. Ефективним методом боротьби зі структурним шумом - це якісна віброізоляція обладнання. Віброізоляційний матеріал підбирається індивідуально з урахуванням марки агрегату, його ваги і робочої частоти.

Розрізняють шуми за частотними характеристиками:

- низькочастотні ( $f < 250$ );
- середньочастотні ( $250 < f \leq 500$ );
- високочастотні ( $500 < f \leq 8000$ ).

Види шумів зображені на рис. 2.1.

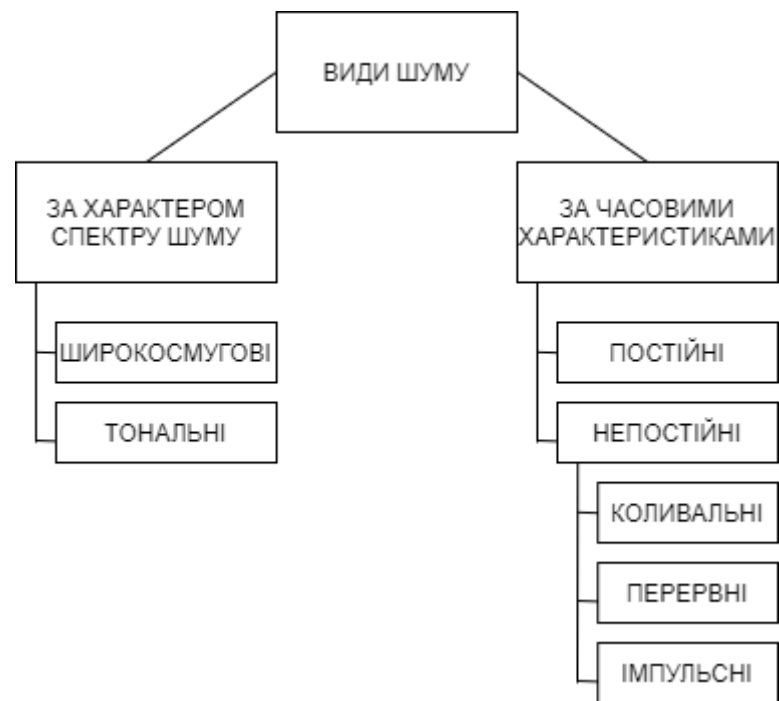


Рисунок 2.1 - Види шумів

За характером спектру шуми розподіляються на:

1. широкосмугові, що мають неперервний спектр шириною понад одну октаву;
2. тональні, які в своєму спектрі мають явно виражені дискретні тони.

За часовими характеристиками шуми розподіляються на:

1. постійні, рівень звуку яких змінюється менше ніж на 5 дБ за восьмигодинний робочий день;
2. непостійні, рівень звуку яких змінюється на понад 5 дБ за восьмигодинний робочий день і які, в свою чергу, розподіляються на:
  - 2.1. коливальні, рівень звуку яких неперервно змінюється в часі;
  - 2.2. перервні, рівень звуку яких змінюється ступінчасто не більше ніж на 5 дБ з довжиною інтервалу 1 секунда та більше;
  - 2.3. імпульсні, які складаються з одного або декількох звукових сигналів довжиною менше 1 секунди [8].

## **2.2 Методи та засоби боротьби з шумом**

При проектуванні, будівництві і експлуатації будівель необхідно чітко уявляти всі сучасні способи боротьби з шумом з метою їх раціонального застосування для конкретного випадку [9].

Основними заходами по боротьбі з шумом є:

- усунення причини шуму, тобто заміна шумного обладнання, механізмів на більш сучасне нешумляче обладнання;
- ізоляція джерела шуму (застосування глушників, екранів, звукопоглинаючих будівельних матеріалів);
- застосування раціонального планування приміщень.

Для вимірювання сили та інтенсивності шуму застосовують різні

прилади: шумоміри, аналізатори частот, кореляційні аналізатори та коррелометри, спектрометри та інші.

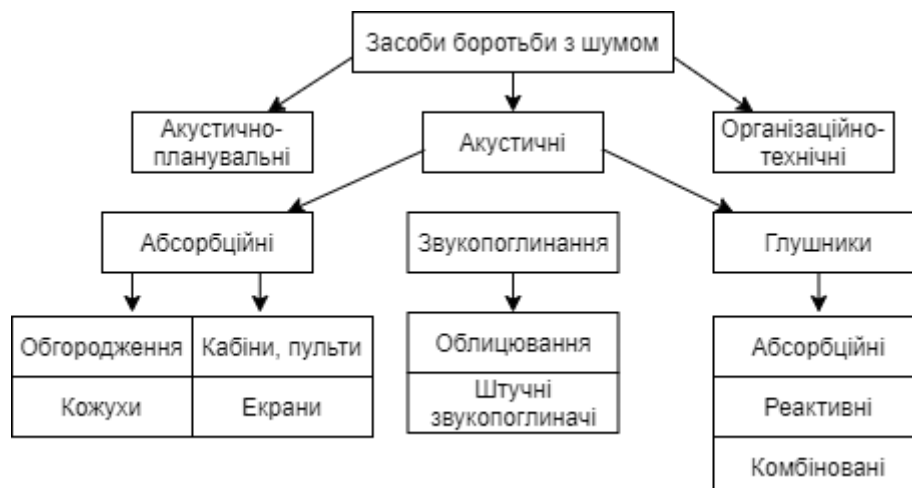


Рисунок 2.2 – Засоби боротьби з шумом

### 2.3 Зменшення звукової потужності джерела

Найбільш ефективний захист від шуму в джерелі його утворення. Тому при проектуванні і конструюванні устаткування та технологічних процесів необхідно замінювати ударні взаємодії деталей ненаголошеними, зворотно-поступальний рух - обертальним, підшипники кочення - підшипниками ковзання, металеві деталі - деталями з пластмас або інших матеріалів, галасливі технологічні процеси - безшумними або малошумними і т.д. При виготовленні обладнання необхідно дотримуватися мінімальних допусків в зчленуваннях і ретельного балансування рухомих деталей, демпфіювати вібрації деталей, що вдаряються, шляхом покриття їх матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя, а також застосуванням прокладок з корку, бітумного картону, повсті і азбесту.

Аерогідродинамічний шум можна зменшити зниженням швидкості обтікання, поліпшенням аеродинаміки тіл, вибором оптимальних режимів роботи обладнання. Однак в більшості випадків ці заходи виявляються

недостатніми і потрібне додаткове, а часто і основне зниження шуму за рахунок звукоізоляції джерела і установки глушників.

Причиною електромагнітного шуму є, головним чином, взаємодія феромагнітних мас під впливом змінних в часі і просторі магнітних полів, тому його зниження здійснюється шляхом конструктивних змін в електричних машинах, більш щільного компонування пакетів магнітопроводів, використання демпфуючих матеріалів.

Гідродинамічний шум зароджується в місцях формування вихрових структур турбулентного приграничного шару, а також при взаємодії їх як один з одним, так і з обтікаючою поверхнею, яка, збуджуючись потоком і здійснюючи коливальні рухи, випромінює акустичні хвилі в навколишнє середовище. Серед великої кількості існуючих методів зниження опору і гідродинамічного шуму в турбулентних потоках одним з найбільш ефективних є введення в них високомолекулярних лінійно-ланцюгових полімерних добавок [1].

## **2.4 Звукоізоляція**

Звукоізоляція - це спеціальні пристрої - перепони (у вигляді стін, перегородок, кожухів, екранів і т.д.), що перешкоджають поширенню шуму з одного приміщення в інше або в одному і тому ж приміщенні. Фізична сутність звукоізоляції полягає в тому, що найбільша частина звукової енергії відбивається від огорожувальних конструкцій.

Ослаблення шуму за допомогою звукоізоляції здійснюють засобами, в основі яких лежить застосування акустичних матеріалів. Ефективність звукоізоляції характеризують коефіцієнтом відбиття, який чисельно дорівнює частці енергії звукової хвилі, відбитої від поверхні огороження, ізолюючого джерело шуму.

До найбільш поширених засобів звукоізоляції відносять:

- застосування звукоізолюючих кожухів і кабін;
- збільшення маси перепони;
- роз'єднання легкої будівельної конструкції суцільним повітряним проміжком на окремі частини;
- усунення або зменшення жорстких зв'язків між елементами роз'єднаної конструкції;
- заповнення повітряного простору в подвійних легких перегородках звукопоглинальними матеріалами;
- зменшення повітропроникності перепони.

#### **2.4.1 Звукоізоляційні матеріали**

Існує кілька різновидів шумів, які можна об'єднати в дві групи:

- Повітряний шум. Це звуки, які переносяться через повітря: крики, розмова, сміх, музика. Такий шум потрапляє від сусідів через невеликі щілини і тріщини в стінах і перекриттях, а також через відкриті вікна;
- Ударний шум. Це звуки, які переносяться по твердих перекриттях і стінах. Інакше ударні шуми ще називають вібраціями. Такі звуки - особливо дратівливі і неприємні: свердління перфоратора, сабвуфер, грюкання дверима, тупіт, стрибки.

Матеріали для шумоізоляції необхідно вибирати виходячи з того, наскільки якісна потрібна звукоізоляція стін. Перевага, при інших рівних умовах, віддається, звичайно, тим матеріалам, у яких індекс звукоізоляції вище. Коефіцієнт звукоізоляції, індекс звукоізоляції або індекс зниження

ударного шуму - це якісний показник, що відображає те, на скільки дБ буде знижений ударний шум, який передається по стінах і перекриттях [20].

### Шумопласт

Суміш з гранул еластичного матеріалу, каучукової добавки і зв'язуючої речовини на акриловій основі. Цей матеріал для шумоізоляції розроблений спеціально для створення гасячої основи «плаваючих» підлог. Чудово справляється із своєю задачею. Кращий матеріал для кімнат складної форми. Також Шумопласт незамінний при роботі в великих приміщеннях.



Рисунок 2.2 - Звукоізоляційний матеріал Шумопласт

#### Переваги:

- дозволяє відмовитися від укладання гідроізоляційного шару;
- усадка не більше 5% під навантаженням 5 кПа;
- допускає локальні нерівності поверхні перекриття до 15 мм;
- тривалий термін експлуатації;
- не втрачає звукоізоляційних властивостей при експлуатації;
- простота і висока швидкість нанесення;
- екологічність.

#### Недоліки:

- час висихання біля 24 годин [19].

## Teksound

Звукоізоляційний матеріал, що виготовляється на мінеральній основі. Рулонна шумоізоляція, що володіє високою масою та щільністю. Товщина матеріалу (4 мм) дозволяє використовувати його для шумозахисту підлоги, стін і стелі.



Рисунок 2.3 - Звукоізоляційний матеріал Teksound

### Переваги:

- екологічність;
- ефективність;
- простота монтажу;

### Недоліки:

- висока вартість [19].

## 2.5 Звукопоглинання

Звукопоглинальні конструкції з великим звукопоглинанням в області низьких частот виготовляють у вигляді панелей, що складаються з тонких пластин (дерево, фанера, гіпсокартон), закріплених на рамі. Пластини розташовані на деякій відстані від огорожувальних поверхонь. Під дією звукових хвиль панелі будуть коливатися. При збігу власних частот панелей і вимушених частот звукових хвиль буде спостерігатися явище не відбиття (поглинання) цих хвиль. Якщо при цьому між панелями і огорожувальними конструкціями розмістити ефективні на середніх і високих частотах волокнисті поглиначі, то вийде широкосмугові звукопоглинальні конструкції. Без застосування подібних конструкцій важко домогтися оптимального часу реверберації в концертних і театральних залах, де застосування тільки ефективних м'яких пористих і волокнистих поглиначів приглушує зал на середніх і високих частотах і залишає його досить гучним на низьких [18].

### 2.5.1 Звукопоглинальні матеріали

Волокнисті і пористі матеріали використовують в основному для поліпшення акустичних якостей в кінотеатрах, театрах, концертних залах, студіях, аудиторіях. Крім того, вони використовуються для зменшення шуму в дитячих садках, школах, лікарнях, ресторанах, офісах, торгових залах, вестибюлях, залах очікування, виробничих приміщеннях [21].

Для збільшення звукопоглинання на низьких частотах необхідно збільшити товщину пористо-волокнистих матеріалів або передбачити повітряний проміжок між поглиначем і відбиваючою конструкцією [22].

Для отримання високого значення коефіцієнта звукопоглинання (0,7-0,9) в широкому діапазоні частот застосовують багатошарові резонансні

конструкції, що складаються з 2-3 паралельних екранів з різною перфорацією та повітряним проміжком різної товщини [10].

### ISOTEK

Звукопоглинальний матеріал із спіненого меламіну на основі смоли Basotect®, сірого кольору, може бути пофарбований в будь-який колір. Широко використовується в студіях звукозапису, радіо і телестудіях, кінотеатрах, готелях, спортивних залах, аудиторіях, лекційних залах, школах і дискотеках.

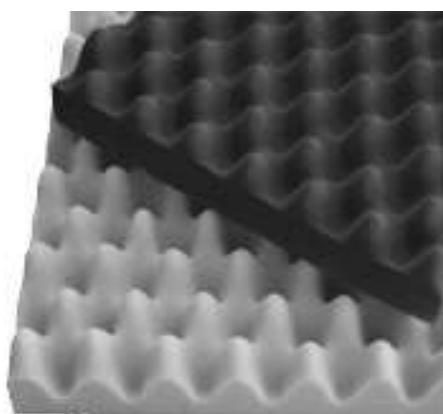


Рисунок 2.4 - Звукопоглинаючий матеріал Isotek

#### Переваги:

- можливість монтажу на поверхню з нерівностями;
- має високий коефіцієнт звукопоглинання;
- при пожежі не плавиться і виділяє нетоксичний дим;

#### Недоліки:

- перед монтажем поверхня має бути ретельно очищена від пилу, бруду, дрібних часток та знежирена.

### Acoustic One

Звукопоглинаючий матеріал Acoustic One - це інноваційний матеріал в сфері архітектурної акустики з високим коефіцієнтом звукопоглинання, відрізняється простим монтажем і має високу адгезію до більшості

будівельних матеріалів, таких як камінь, дерево, цемент, керамічна плитка, пластик і пофарбовані поверхні.



Рисунок 2.5 - Процес нанесення звукопоглинаючого матеріалу Acoustic

One

Переваги:

- матеріал добре напильється на гіпсокартон, залізобетонні перекриття, камінь, плитку, деревину, пластик, лакофарбові покриття та ін;
- екологічність;
- низька маса.

Недоліки:

- потребує час на застигання.

## **Висновки до розділу 2**

Опрацьовуючи матеріал було з'ясовано, що для отримання найкращих результатів, планування шумоізоляції необхідно починати ще на етапі проектування приміщення. Основним і найкращим способом шумоізоляції було виявлено саме зменшення звукової потужності джерела. Інші методи є додатковими для покращення результату. Тому чим ближче розташоване і чим менше обгороджене джерело звуку тим більшу кількість шумоізоляційної обробки необхідно застосувати в приміщенні.

В даному розділі були наведені найпоширеніші звукоізоляційні та звукопоглинаючі матеріали і було представлено їх основні переваги та недоліки.

### 3. АКУСТИЧНИЙ ПРОЕКТ

Оскільки конференц-зали відносяться до приміщень з природною акустикою, для них розглядають наступні акустичні умови:

1. Забезпечення всіх глядачів достатньою звуковою енергією;
2. Створення дифузного звукового поля, що виключає можливість утворення акустичних дефектів;
3. Забезпечення оптимального часу реверберації [12].

Метою даної роботи є розрахунок двох приміщень, які за умовою дипломної роботи, призначені для конференц-залів, загальним об'ємом 400 та 500 кубічних метрів.

Робота містить:

- Розрахунок акустичних параметрів для першого конференц-залу
- Розрахунок акустичних параметрів для другого конференц-залу
- Порівняльна характеристика обраних конференц-залів

#### 3.1 Акустичний розрахунок для першого конференц-залу

Знайдемо оптимальне значення слухачів у приміщенні. Оскільки в даному типу приміщень на одного слухача повинно приходиться 4-6 м<sup>3</sup> об'єму:

$$n = \frac{V}{5} = \frac{400}{5} = 80$$

Отже, приміщення розраховане на 80 слухачів.

При виборі пропорцій і довжини залу керуються такими рекомендаціями: відношення довжини залу до його середньої ширини має знаходитися в межах від 1 до 2. В цих же межах рекомендується обирати відношення середньої ширини залу до його середньої висоти. [13]

Згідно цим рекомендаціям, розраховане приміщення виглядатиме:

$$l = 11 \text{ м}; b = 8 \text{ м}; h = 4,5 \text{ м}; \frac{l}{b} = \frac{11}{8} = 1,375; \frac{b}{h} = \frac{8}{4,5} = 1,77;$$

$$V = lbh = 400 \text{ м}^3; S = 2(11 \cdot 8) + 2(11 \cdot 4,5) + 2(8 \cdot 4,5) = 347 \text{ м}^2$$

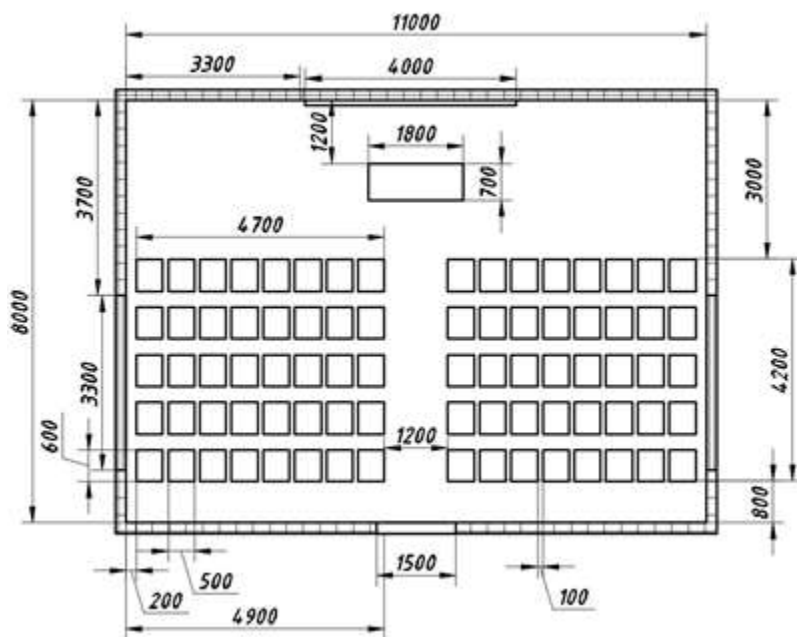


Рисунок 3.1 - План першого конференц-залу

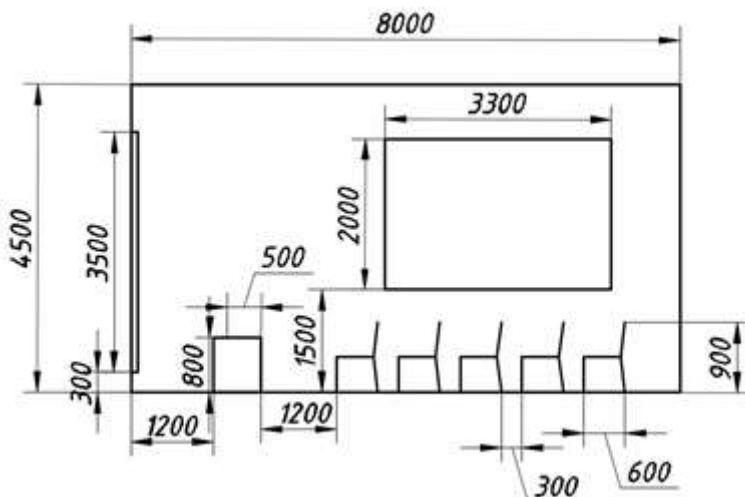


Рисунок 3.2 - Розріз першого конференц-залу

Таблиця 3.1 - Площі поверхонь першого конференц-залу

Площа стін	171 м <sup>2</sup>
Площа стелі (підлога)	88 м <sup>2</sup>
Площа парти	2,4 м <sup>2</sup>
Площа дошки	14 м <sup>2</sup>
Площа вікна	6,6 м <sup>2</sup>
Площа дверей	3,6 м <sup>2</sup>

$$T_{\text{опт}} = 0,3 \lg V - 0,05 = 0,3 \lg 400 - 0,05 = 0,73 \text{ с}$$

Для знаходження залежності  $T_{\text{опт}}$  від частоти скористаємося рис. 3.3.

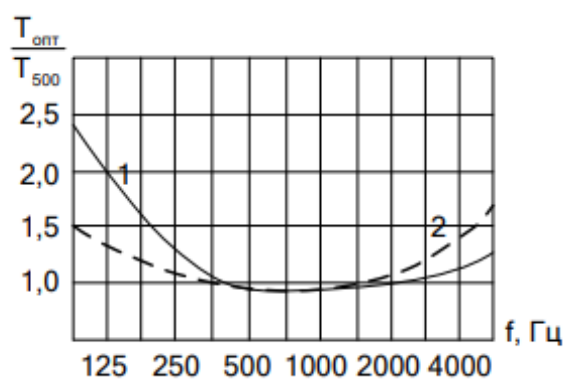


Рисунок 3.3 - Частотна залежність відношення  $T_{\text{опт}}/T_{500}$  за Кнудсеном: 1 - музика; 2 - мова

Таблиця 3.2 - Допустимі та оптимальний час реверберації

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{опт}}$ , с	1.1	0.8	0.73	0.73	0.8	0.87
$T_{\text{min}}$ , с	0.99	0.72	0.66	0.66	0.72	0.78
$T_{\text{max}}$ , с	1.21	0.88	0.80	0.80	0.88	0.96

### 3.1.1 Розрахунок загального поглинання, вибір і розміщення звукопоглинальних матеріалів

Таблиця 3.3 - Основний фонд звукопоглинання

Матеріал поглинача	Площа або кількість осіб	Частота, Гц											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A
Стілець напівм'який	20	0.05	1	0.08	1.6	0.18	3.6	0.15	3	0.17	3.4	0.17	3.4
Слухачі на дерев'яних стільцях	60	0.17	10.2	0.36	21.6	0.47	28.2	0.52	31.2	0.5	30	0.46	27.6
Скло одинарне	13.2	0.35	4.62	0.25	3.30	0.18	2.38	0.12	1.58	0.07	0.92	0.04	0.53
Двері лаковані	2.6	0.03	0.08	0.02	0.05	0.05	0.13	0.04	0.1	0.04	0.1	0.04	0.1
Ковролін 7 мм	88	0.08	7.04	0.08	7.04	0.14	12.3	0.15	13.2	0.2	17.6	0.16	14.1
Стіна поштукатурена і пофарбована клейовою фарбою	259	0.02	5.18	0.02	5.18	0.02	5.18	0.03	7.77	0.04	10.4	0.04	10.4
ДСП	16.4	0.01	0.16	0.09	1.5	0.09	1.5	0.09	1.5	0.09	1.5	0.14	2.3
Неперфоровані пластини завтовшки 2 мм: заповнювач ППІ-80, b = 100 мм	110.8	0.26	28.8	0.26	28.8	0.12	13.3	0.07	7.76	0.01	1.11	0	0
Щілинні плити, b = 100 мм	10	0.17	1.7	0.57	5.7	0.92	9.2	0.82	8.2	0.63	6.3	0.4	4
Загальне поглинання $A_0$		58.8		74.8		75.8		74.3		71.3		62.4	

Знайдемо  $T$  за формулою:

$$T = \frac{0,164V}{-S_{\Sigma} \ln \ln \left(1 - \frac{A_0}{S_{\Sigma}}\right) + 4\mu V}$$

де  $S_{\Sigma}$  - площа відбиваючих поверхонь,  $V$  - об'єм приміщення,  $A_0$  - загальне поглинання,  $\mu$  - коефіцієнт затухання звука в повітрі (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Значення коефіцієнту затухання звука в повітрі при різних частотах

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
----------	-----	-----	-----	------	------	------

$\mu$	0	0	0	0	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
-------	---	---	---	---	-------------------	-------------------

Значення  $T_{min}$  та  $T_{max}$  для табл. 3.5 знайдемо, як  $T_{min} = 0,9 \cdot T_{opt}$  та  $T_{max} = 1,1 \cdot T_{opt}$ .

За розрахованими значеннями фонду поглинання у приміщенні та часів реверберації побудуємо табл. 3.5, а за даними табл. 3.5 побудуємо рис. 3.4.

Таблиця 3.5 - Значення фонду поглинання та часу реверберації у приміщенні

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{розр}$ , с	1.02	0.78	0.77	0.78	0.79	0.84
$T_{min}$ , с	0.99	0.72	0.66	0.66	0.72	0.78
$T_{max}$ , с	1.21	0.88	0.80	0.80	0.88	0.96
$A_{потр}$ , Себ	58.8	74.8	75.8	74.3	71.3	62.4
$A_{min}$ , Себ	50.2	67.1	72.8	72.8	64.5	54.2
$A_{max}$ , Себ	60.3	80.1	86.78	86.	77.7	66.8
$\alpha_{сер}$	0.17	0.22	0.22	0.21	0.21	0.18
$\varepsilon$ , %	-7.4	-2.6	5.1	7.5	-1.2	-3.8

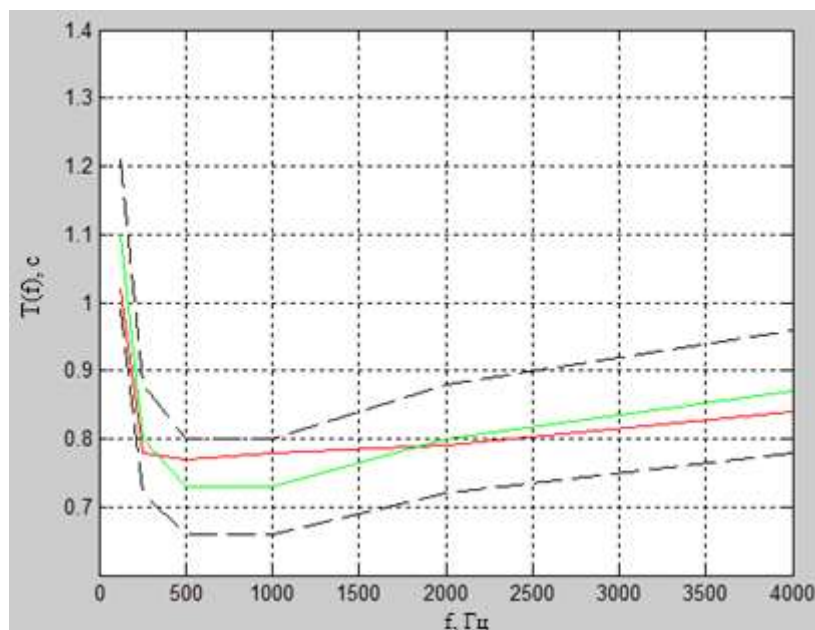


Рисунок 3.4. - Частотна залежність часу реверберації

### 3.1.2 Розрахунок звукоізоляція приміщення

Зазначимо джерела шуму, поряд з приміщенням.

Таблиця 3.6 - Зовнішні джерела шуму

Права стіна – тиха вулиця	70
Ліва, передня та нижня стіни - коридор	80
Стеля – аудиторія	75
Підлога – підвальне приміщення	50

Проведемо розрахунок значення сумарного рівня шуму за наступною формулою:

$$L_{\phi} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)} \right) - 10 \lg \lg A;$$

де  $S_i$  — площі перегородок (або їх окремих ділянок), що відділяють  $i$ -те джерело шуму від приміщення;  $\sigma_i$  — значення власної звукоізоляції відповідних ділянок;  $A$  — значення звукопоглинання всередині приміщення.

Розрахуємо значення  $\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)}$  у табл. 3.6.

Таблиця 3.7 - Акустичні та архітектурні характеристики огорожень конференц-залу

Назва перегородки	Рівень джерела $L_i$	Площа перегородки $S_i$	Власна звукоізоляція $\sigma_i$	$S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)}$
Права стіна – цегляна кладка, поштукатурена з двох боків	70	29.4	51	2335.3
Ліва, передня та нижня стіни – цегляна кладка, поштукатурена з двох боків	80	124.8	51	99132

Продовження таблиці 3.7

Стеля – бетонна стяжка на залізобетонній плиті	75	88	56	6990.1
Підлога – бетонна стяжка на залізобетонній плиті	50	88	46	221.05
Двері – з двома стулками 4 мм, проміжком 200 мм і ущільненням	80	3.6	41	28596
Ліве вікно - з двома стулками 4 мм, проміжком 200 мм і ущільненням	80	6.6	41	52426
Праве вікно - з двома стулками 4 мм, проміжком 200 мм і ущільненням	70	6.6	41	5242.6
$\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)}$				194942.7

$$L_{\phi} = 10 \lg 194942,7 - 10 \lg 75,8 = 34,1 \approx 34 \text{ дБ};$$

$$L_n - 3 = 40 - 3 = 37 \text{ дБ}$$

Отримане значення 34 дБ є допустимим значенням для даного типу приміщень (34 дБ < 37 дБ).

### 3.2 Акустичний розрахунок для другого конференц-залу

За умовою акустичного проекту необхідно розрахувати приміщення, розраховане на 100 слухачів.

Оптимальне значення об'єму приміщення наближено обчислюється за формулою:

$$V = n \cdot V_{oc} = 5 \cdot 100 = 500 \text{ м}^3,$$

де  $V_{oc}$  - об'єм на особу.

При виборі пропорцій і довжини залу керуються такими рекомендаціями: відношення довжини залу до його середньої ширини має знаходитися в межах від 1 до 2. В цих же межах рекомендується обирати відношення середньої ширини залу до його середньої висоти [12].

Приміщення конференц-залу (рис. 3.5, рис. 3.6) матиме форму паралелепіпеда та такі геометричні розміри:

$$b = 87 \text{ м}; l = 152 \cdot 8,7 \approx 13,2 \text{ м}; h = \frac{8,7}{2} = 4,35 \text{ м};$$

$$V = b \cdot l \cdot h = 8,7 \cdot 13,2 \cdot 4,35 \approx 500 \text{ м}^3$$

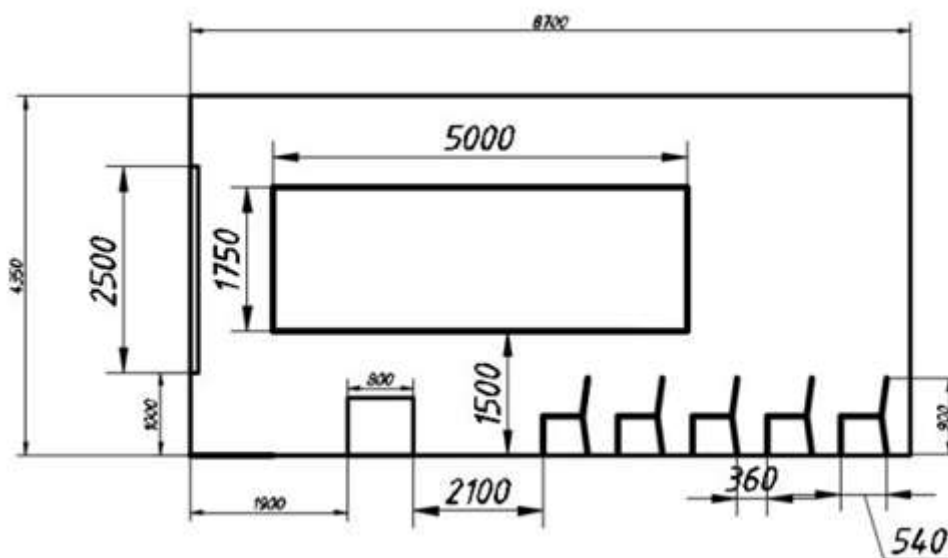


Рисунок 3.5 - Розріз другого конференц-залу

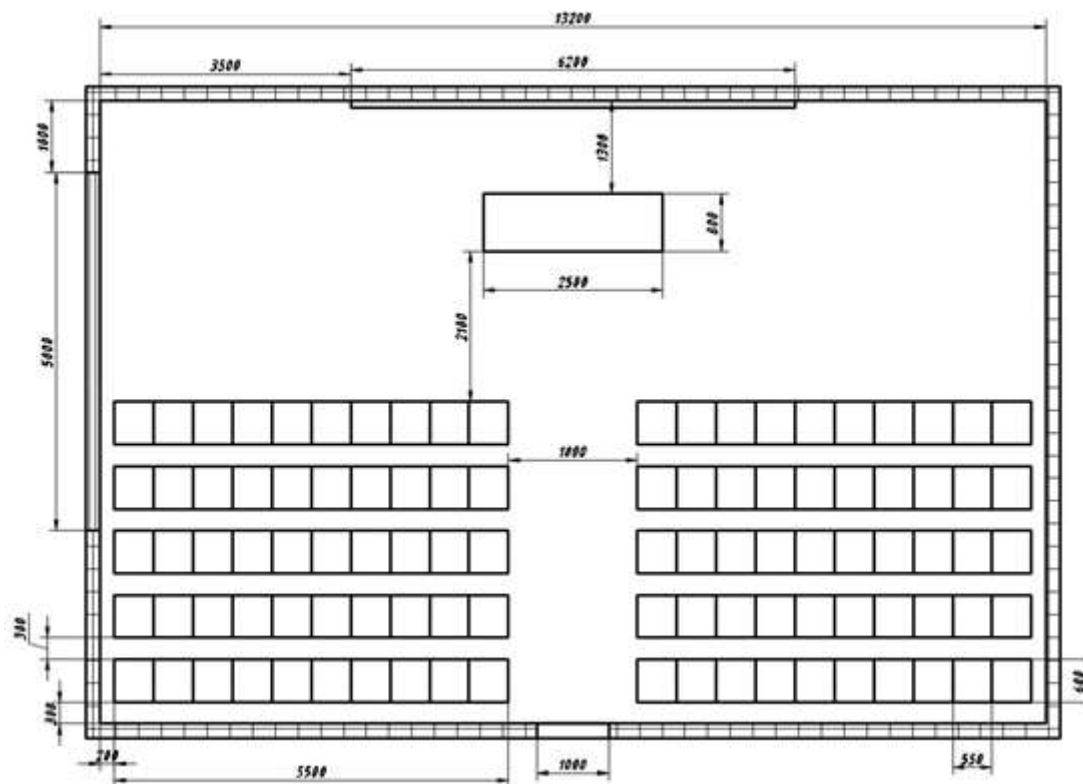


Рисунок 3.6 - План другого конференц-залу

Розрахуємо значення площ:

- Стіни:  $S_c = 190,5 \text{ м}^2$ ;
- Підлога / Стеля:  $S_{\text{п}} = S_{\text{ст}} = 114,8 \text{ м}^2$ ;
- Вікно:  $S_{\text{в}} = 8,75 \text{ м}^2$ ;
- Двері:  $S_{\text{д}} = 3 \text{ м}^2$ ;
- Екран:  $S_e = 14,6 \text{ м}^2$ ;
- Парта доповідача:  $S_{\text{п}} = 3,3 \text{ м}^2$ ;

Площа відбиваючих поверхонь:  $S_{\Sigma} = S_c + S_{\text{п}} + S_{\text{ст}} \approx 420 \text{ м}^2$ .

Скористаємося наближеною формулою для розрахунку  $T_{\text{опт}}$ :

$$T_{\text{опт}} = 0,3 \lg \lg V - 0,05 = 0,3 \lg \lg 500 - 0,05 = 0,76 \text{ с}$$

Для виконання даного розділу необхідно побудувати таблицю оптимального часу реверберації (табл. 3.8). Для цього використаємо рис. 3.7, де відображена частотна залежність відношення часів реверберації до часу реверберації при частоті 500 Гц.

Таблиця 3.8 - Оптимальний час реверберації

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{опт}}$ , с	1.1	0.84	0.76	0.76	0.84	1

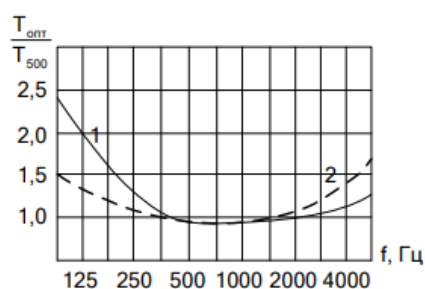


Рисунок 3.7 - Частотна залежність відношення  $T_{\text{опт}}/T_{500}$  за Кнудсенем: 1 - музика; 2 - мова

Для знаходження експериментального значення часу реверберації  $T$  (табл. 3.8), скористаємося наступною формулою:

$$T = \frac{0,164V}{-S_{\Sigma} \ln \ln \left( 1 - \frac{A_0}{S_{\Sigma}} \right) + 4\mu V},$$

де  $A_0$  - загальне поглинання,  $\mu$  - коефіцієнт затухання звука в повітрі (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 - Значення коефіцієнту затухання звуку в повітрі при різних частотах

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$\mu$	0	0	0	0	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$

### 3.2.1 Розрахунок загального поглинання, вибір і розміщення звукопоглинальних матеріалів

Таблиця 3.10 - Основний фонд звукопоглинання

Матеріал поглинача	Площа (м <sup>3</sup> ) або кількість осіб	Основний фонд поглинання											
		Частота, Гц											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A
Стіна поштукатурена і пофарбована клейовою фарбою	269	0.02	5.4	0.02	5.4	0.02	5.4	0.03	8.1	0.04	10.8	0.04	10.8
Скло одинарне	8.75	0.35	3.1	0.25	2.2	0.18	1.6	0.12	1	0.07	0.6	0.04	0.35
Ковролін 7 мм	114.8	0.08	9.2	0.08	9.2	0.14	16.1	0.15	17.2	0.20	23	0.16	18.4
Широкоформатний монітор	14.6	0.03	0.44	0.04	0.6	0.05	0.7	0.05	0.7	0.08	1.2	0.05	0.7
Парта	3.3	0.01	0.03	0.09	0.3	0.09	0.3	0.09	0.3	0.09	0.3	0.14	0.5
Двері лаковані	3	0.03	0.09	0.02	0.06	0.05	0.15	0.04	0.12	0.04	0.12	0.04	0.12
Стілець напівм'який	25	0.05	1.25	0.08	2	0.18	4.5	0.15	3.75	0.17	4.25	0.17	4.25
Слухачі на дерев'яних стільцях	75	0.17	12.75	0.36	27	0.47	35.3	0.52	39	0.50	37.5	0.46	34.5
Загальне поглинання $A_0$		32.3		46.8		64		70.2		77.8		69.6	

Таблиця 3.11 - Час реверберації та його допустимі значення

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$T$ , с	2.45	1.66	1.18	1.07	0.91	0.93
$T_{min}$ , с	1	0.76	0.68	0.68	0.76	0.9
$T_{max}$ , с	1.2	0.92	0.84	0.84	0.92	1.1

Згідно з значеннями табл. 3.11 побудуємо частотну залежність часів реверберацій (рис. 3.8).

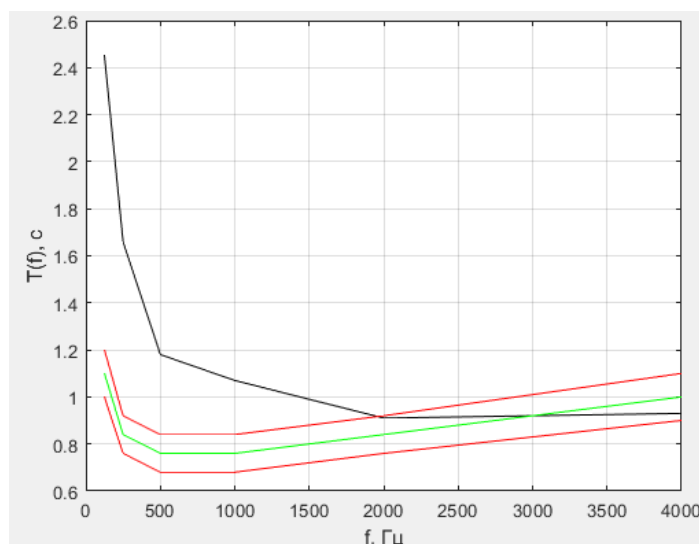


Рисунок 3.8 - Частотна залежність часу реверберації

Оскільки значення  $T$  на низьких та середніх частотах не потрапляють у межі проміжку значень  $[T_{min}; T_{max}]$ , необхідно внести додаткове звукопоглинання в приміщення (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 - Додатковий фонд звукопоглинання

Матеріал поглинача	Площа або кількість осіб	Додатковий фонд поглинання											
		Частота, Гц											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$
Панелі з «волокніту» ( $d = 50$ мм)	29	0.16	4.6	0.68	19.7	0.76	22	0.320	9.3	0.140	4	0.02	0.6
Неперфоровані пластини завтовшки 2 мм: заповнювач ПП-80, шар повітря 150 мм ( $d = 50$ мм, $b = 200$ мм)	67	0.52	34.8	0.38	25.5	0.22	14.7	0.14	9.4	0.02	1.3	0	0
Загальне поглинання $\Delta A$		39.4		45.2		36.7		18.7		5.3		0.6	

За значенням  $A_{\text{потр}} = A_0 + \Delta A$  розрахуємо  $T$  та інші величини табл. 3.13.

Таблиця 3.13 - Значення фонду поглинання та часу реверберації у приміщенні

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{розр}}$ , с	1.04	0.79	0.71	0.82	0.85	0.92
$T_{\text{min}}$ , с	1	0.76	0.68	0.68	0.76	0.9
$T_{\text{max}}$ , с	1.2	0.92	0.84	0.84	0.92	1.1
$A_{\text{потр}}$ , Себ	71.7	92	100.7	88.9	83.1	70.2
$A_{\text{min}}$ , Себ	62.6	80	87.5	87.5	76.7	58.1
$A_{\text{max}}$ , Себ	75.2	95.6	104.3	104.3	92.5	72.1
$\alpha_{\text{сер}}$	0.17	0.22	0.24	0.21	0.20	0.17

Значення  $\varepsilon$  (табл. 3.14) розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T - T_{\text{опт}}}{T_{\text{опт}}} \cdot 100\%$$

Таблиця 3.14 - Значення  $\varepsilon$  для різних частот

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$\varepsilon$ , %	-5.2	-6	-6.3	8	1.1	-7.7

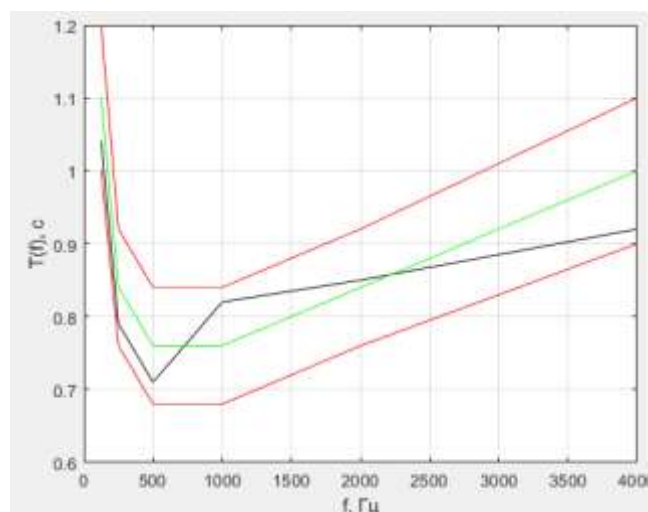


Рисунок 3.9 - Залежність часу реверберації від частоти

### 3.2.2 Розрахунок звукоізоляція приміщення

Зазначимо джерела шуму, поряд з приміщенням.

Таблиця 3.15 - Зовнішні джерела шуму

Ліва та передня стіни – парк	70
Права та нижня стіни - коридор	80
Стеля – дахове приміщення	75
Підлога – аудиторія	75

Розрахунок значення сумарного рівня шуму для 500 Гц проводиться за наступною формулою:

$$L_{\phi} = 10 \lg \lg \left( \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)} \right) - 10 \lg \lg A;$$

де  $S_i$  — площі перегородок (або їх окремих ділянок), що відділяють  $i$ -те джерело шуму від приміщення;  $\sigma_i$  — значення власної звукоізоляції відповідних ділянок;  $A$  — значення звукопоглинання всередині приміщення.

В табл. 3.16 зазначимо значення коефіцієнтів звукоізоляції перегородки.

Таблиця 3.16 - Акустичні та архітектурні характеристики огорожень конференц-залу

Назва перегородки	Рівень джерела $L_i$	Площа перегородки $S_i$	Власна звукоізоляція $\sigma_i$	$S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)}$
Ліва та передня стіни – цегляна кладка, поштукатурена з двох боків	70	86.5	59	1089

Продовження таблиці 3.16

Нижня та задня стіни – цегляна кладка, поштукатурена з двох боків	80	95.3	59	12000
Стеля – бетонна стяжка на залізобетонній плиті	75	114.8	56	9095
Підлога – бетонна стяжка на залізобетонній плиті	75	114.8	56	9095
Двері – з двома стулками 4 мм, проміжком 200 мм і ущільненням	80	8.75	41	69503

$$L_{\phi} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)} \right) - 10 \lg A = 10 \lg 100782 - 10 \lg 100,7$$

$$= 30 \text{ дБ};$$

$$L_n = L_{\phi} - 3 = 40 - 3 = 37 \text{ дБ} > 30 \text{ дБ}$$

Отримане значення 30 дБ є допустимим значенням для даного типу приміщень (30 дБ > 37 дБ).

Порівнюючи характеристики двох конференц-залів бачимо, що час реверберації прямо залежить від розмірів приміщень.

### Висновки до розділу

В акустичному проекті було розраховано характеристики двох конференц-залів з розмірами:

1. 11 м \* 8 м \* 4,5 м;

2. 13,2 м \* 8,7 м \* 4,35 м.

Спроектованим конференц-залам було підібрано звукопоглинаючі матеріали для забезпечення оптимальних акустичних характеристик.

В результаті роботи вдалося досягти бажаних результатів, завдяки яким, спроектовані зали володіють гарною розбірливістю мови та оптимальним часом реверберації.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання даної бакалаврської роботи було розглянуто методи та засоби звукоізоляції. Було зображено сучасні звукоізолюючі та звукопоглинаючі матеріали та наведено їх переваги і недоліки.

Опрацювавши детально дану тему, можна сказати, що основними вимогами до сучасних конференц-залів є:

- висока чіткість мовлення;
- достатня гучність в приміщенні;
- якісна шумоізоляція.

Спроектувавши два конференц-зали, було розраховано оптимальні характеристики та підібрано необхідні матеріали для покращення акустичних параметрів. В ході дослідження було доведено пряму залежність часу реверберації від розміру приміщення. Отримані характеристики повністю відповідають вимогам для високої чіткості звуку і, для першого залу розміром 11м\*8м\*4,5м, складають 0,73 с, а для другого залу розміром 13,2м\*8,7м\*4,35м - 0,76 с.



14. А.А. Климухин, Е.Г. Киселева. Проектирование залов и расчет основных акустических характеристик зрительных залов: времени реверберации и разборчивости речи. 56 с.
15. В.К. Лицкевич. Архитектурная физика. 448 с.
16. Е.В. Вітвицька. Отражатели, рассеиватели и концентраторы звука в залах
17. Е.В. Вітвицька. Акустические решения реконструкции актового зала в театр
18. Методи та засоби захисту від шуму. URL: <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/840.html>
19. Звукоизоляционные материалы. URL: <https://teplota.guru/shumoizolyatsiya/zvukoizolyatsionnye-materialy.html>
20. Звукоізоляційні матеріали: види, плюси і мінуси. URL: <http://budivnik.in.ua/zvukoizolyatsijni-materialy-vydy-plyusy-i-minusy.html>
21. Звукопоглинальні матеріали. URL: <http://dim.promotion-soft.com/articles/pidlogi-stini-steli/>
22. Засоби захисту від шуму. URL: [https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00526974\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00526974_0.html)
23. Справочник по защите от шума и вибраций жилых и общественных зданий/ Под редакцией Заборнова В.И. – К: Будівельник. – 1989.
24. Электроакустика и звуковое вещание / Под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия - Телеком . – 2007.
25. Фурдудев В.В. Электроакустика. - М.-Л.: ОГИЗ-ГИТТЛ. 1948.-517 с.