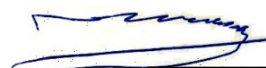


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИЧНИХ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ЕЛЕКТРОННИХ
СИСТЕМ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Сергій НАЙДА


(підпис)


“ 16 ” 06 2021р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
зі спеціальності 171 – «Електроніка»
(код і назва спеціальності)

на тему: Акустичне облаштування домашнього кінотеатру


Виконала: студентка 4 курсу, групи ДГ-72
(шифр групи)

Тищенко Олена Петрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)


Керівник:

доцент кафедри АМЕС, к.ф.-м.н., Луньова Світлана Андріївна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)


Рецензент: к.-ф.м.н., директор «Фонтек-С» Сенченко І.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка Тищенко О. П.


(підпис)

Київ – 2021

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

Факультет Електроніки
(повна назва)

Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Сергій НАЙДА


(підпис)

“ 16 ” 06 _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Тищенко Олені Петрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Акустичне облаштування домашнього кінотеатру

керівник роботи Луньова Світлана Андріївна, к.ф.-м.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету «24» 05.2021р.; 1316-с

2. Термін подання студентом роботи 07.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела про акустичні характеристики приміщень та властивості дифузного поля, залежність теоретичного оптимального часу реверберації від частоти, основні звукові фонди поглинання, значення коефіцієнтів звукоізоляції перегородки.

4. Зміст роботи: Аналітичний огляд проблем створення домашніх кінотеатрів, розрахунок приміщення з акустичним залом та заглушеного приміщення.

5. Перелік завдань, які потрібно зробити:

- проаналізувати методи розрахунку акустичних характеристик приміщень;
- здійснити аналіз вимог до приміщень домашніх кінотеатрів, розглянути складові та основні характеристики акустичних систем;

- здійснити аналіз результатів розрахунку заглушеного приміщення для домашнього кінотеатру та приміщення з акустичним залом.

6. Перелік графічного матеріалу: презентація в PowerPoint

7. Дата видачі завдання 29.10.2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1.	Узгодження плану дипломної роботи з керівником	02.11-22.11	Виконано
2.	Аналіз та огляд проблем створення приміщення домашнього кінотеатру	23.11-13.12	Виконано
3.	Формування вимог до облаштування домашнього кінотеатру та електроакустичної апаратури	14.12-24.01	Виконано
4.	Вимірювання параметрів приміщення та створення його плану	25.01-21.02	Виконано
5.	Розрахунок заглушеного приміщення для домашнього кінотеатру	21.02-14.03	Виконано
6.	Побудова площадок перших та других відбиттів	15.03-28.03	Виконано
7.	Розрахунок приміщення з акустичним залом	29.03-25.04	Виконано
8.	Розрахунок звукоізоляції приміщення	26.04-16.05	Виконано
9.	Оформлення роботи та написання висновків до дипломної роботи	17.05-30.05	Виконано
10.	Підготовка презентації	31.05-03.06	Виконано
11.	Підготовка до захисту	04.06-13.06	Виконано
12.	Захист дипломної роботи	17.06	

Студент



(підпис)

О. П. Тищенко

Керівник роботи



(підпис)

С. А. Луньова

РЕФЕРАТ

Акустичне облаштування домашнього кінотеатру// Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр». Тищенко О.П. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустики та акустоелектроніки, група

ДГ-72. – К.:НТУУ «КПІ», 2021. с. 54, рис. - 26, табл. - 13.

В роботі описується та аналізується інформація що до геометрії на плану приміщення домашнього кінотеатру, умов створення задовільного часу реверберації. Були проаналізовані дві концепції приміщень для домашнього кінотеатру. Заглушене приміщення являє собою приміщення з малим значенням часу реверберації, відповідно, більш детальним підбором звукопоглинаючих матеріалів та високим показником звукоізоляції. Приміщення з акустичним полем залу володіє більшим значенням часу реверберації, задовільним значенням сумарного рівню шуму порівняно з допустим рівнем сумарного шуму у суспільних закладах в нічний час та простим набором звукопоглинальних матеріалів.

Ключові слова: приміщення домашнього кінотеатру, заглушене приміщення, час реверберації, загальний фонд звукопоглинання приміщення, звукоізоляція приміщення, площадки перших та других відбиттів.

ABSTRACT

Acoustic arrangement of home theater // Thesis for a degree of higher education "Bachelor". Tishchenko O.P. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of Electronics, Department of Acoustic and multimedia electronic systems, group DG-72. - K. : NTUU "KPI", 2021. p. 54, fig. - 26, table. - 13.

The work aims to calculate the acoustic design of a damped room and a room with an acoustic field of the hall, which intended for a home theatre.

The paper describes and analyses information on the geometry of the layout of the home theatre room, the conditions for creating a satisfactory reverberation time. Two home theatre room concepts were analyzed. A damped room is a room with a short reverberation time, respectively, a more detailed selection of sound-absorbing materials, and a high rate of sound insulation. The room with the acoustic field of the hall has a high value of the reverberation time, a satisfactory value of the total noise level compared to the admissible level of total noise in public institutions at night, and a simple set of sound-absorbing materials.

Keywords: home theater room, damped room, reverberation time, general sound absorption fund of the room, sound insulation of the room, areas of the first and second reflections.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМ СТВОРЕННЯ ДОМАШНІХ КІНОТЕАТРІВ	10
1.1. Розрахунок акустичних характеристик приміщень.....	10
1.1.1. Методи розрахунку акустичних характеристик приміщень.....	10
1.1.2. Загальні вимоги	11
1.2. Особливості звукового поля домашнього кінотеатру	14
1.2.1. Звукове поле в приміщенні для домашнього кінотеатру	14
1.2.2. Побудова площадок відбиттів	16
1.3. Облаштування домашнього кінотеатру та електроакустична апаратура.....	18
1.3.1. Поняття домашнього кінотеатру	18
1.3.2. Вимоги до приміщення для домашнього кінотеатру	19
1.3.3. Складові, основні характеристики та розміщення акустичних систем домашніх кінотеатрів	20
РОЗДІЛ 2 АКУСТИЧНІ ВИМОГИ ДО ПРИМІЩЕНЬ ДОМАШНІХ КІНОТЕАТРІВ	25
2.1. Геометрія та план приміщення.....	25
2.2. Час реверберації в приміщенні домашнього кінотеатру.....	27
2.3. Підбір звукопоглинаючих матеріалів для домашнього кінотеатру.....	27
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО КІНОТЕАТРУ	31
3.1. Заглушене приміщення	31
3.1.1. Геометричні розміри приміщення.....	31
3.1.2. Розрахунок часу реверберації та загального фонду поглинання заглушеного приміщення.....	34
3.1.3. Розрахунок звукоізоляції заглушеного приміщення	38
3.1.4. Побудова площадок перших та других відбиттів.....	40
3.1.5. Розрахунок часової послідовності відбиттів.....	43
3.2. Розрахунок приміщення з акустичним залом.....	45

3.2.1. Геометричні розміри приміщення	45
3.2.2. Розрахунок часу реверберації та загального фонду поглинання приміщення з акустичним залом.....	45
3.2.3. Розрахунок звукоізоляції приміщення з акустичним залом	48
3.2.4. Побудова площадок перших та других відбиттів.....	50
3.2.5. Розрахунок часової послідовності відбиттів.....	51
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	55

ВСТУП

У приватному житловому приміщенні для створення оптимальних умов перегляду відеоконтенту в домашніх умовах встановлюється комплекс звуко- та відеовідтворювального устаткування, який ще має назву домашнього кінотеатру. Основне призначення домашнього кінотеатру полягає в отриманні високої якості зображення і звуку, наближеного до кінотеатрального.

У дипломній роботі виконаємо акустичні проекти двох приміщень, призначених для домашнього кінотеатру - заглушене і з акустичним полем залу. Для цього слід провести аналіз основних звукопоглинальних матеріалів, що використовуються при побудові, теорій щодо поширення звукових процесів в приміщенні та виконання розрахунків приміщення — статистичну, геометричну і хвильову. Також ознайомимося з типовою електроакустичною апаратурою, яка використовується в домашніх кінотеатрах та проведемо аналіз особливостей звукового поля для домашнього кінотеатру.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМ СТВОРЕННЯ ДОМАШНІХ КІНОТЕАТРІВ

1.1. Розрахунок акустичних характеристик приміщень

1.1.1. Методи розрахунку акустичних характеристик приміщень

Головною задачею архітектурної акустики є визначення таких акустичних характеристик звукового поля, забезпечення яких при проектуванні приміщення, гарантувала його гарну акустику. Правильно відбиваючи поведінку звуку в замкнутому просторі, ці характеристики повинні мати гарний зв'язок з архітектурно-будівельними параметрами приміщення, так і з суб'єктивною оцінкою умов слухового сприйняття звукових програм. Звукові процеси в приміщеннях розглядаються зазвичай з трьох теоретичних позицій, кожна з яких має свої переваги та недоліки.

Першою є статистична теорія. Вона базується на двох основних допущеннях:

1) У будь-якій точці приміщення застосовується принцип *енергетичного додавання*. В джерелі [15] вказано, що це означає, що величина звукової енергії визначається додаванням середніх значень енергій, принесених в дану точку всіма відбитими хвилями.

Таким чином, не враховується амплітуда і фаза доданків, тобто ігнорується інтерференційна картина. Це невірно для тонального сигналу, але справедливо для мови і музики.

2) Поле в приміщенні *дифузне*. З опублікованої праці [1] відомо, що під повністю дифузним звуковим полем мається на увазі таке, в якому всі напрямки приходу звукової енергії в будь-яку точку різновірогідні і в будь-якому напрямку усереднений в часі потік звукової енергії однаковий.

Основними статистичними величинами, що використовуються в цій теорії, є середня довжина вільного пробігу променя і середній час пробігу звуку, а також середній коефіцієнт звукопоглинання. В результаті розвитку статистичної акустики розроблений ряд розрахункових методів, які міцно увійшли в практику

акустичного проектування. Перш за все мова йде про класичні формули Себіна, Ейрінга та Міллінгтона. В той же час слід зазначити, що статистична теорія не враховує особливостей звукового поля в даній точці приміщення і слабо пов'язана з його формою.

Друга теорія – геометрична (променева) теорія, полягає в тому, що вона враховує форму кімнати, а також спирається на закони геометричної оптики. Звукові хвилі рухаються схоже до світлових променів. Методи, які були розроблені на її основі часто застосовували аналізу розподілу перших відображень від поверхонь кімнати і були важливими доповненнями до статичної теорії. Якщо поєднати геометричну акустику з обчислювальною технікою, то її можна використати, щоб розрахувати акустичні характеристики приміщення. Проте, при всіх перевагах геометричної акустики, її неможливо широко застосовувати, так як геометрична теорія не враховує дифракційних явищ, які неодмінно присутні в фактичних приміщеннях.

Третьою є хвильова теорія. Відповідно до цієї теорії, об'єм повітря в приміщенні є лінійною коливальною системою з розподіленими параметрами. Завдяки розвитку цієї теорії, розуміння того, як приміщення впливає на випромінюваний в ньому сигнал, стало більш зрозумілим. Недоліком цієї теорії є те, що вирішення хвильового рівняння можливе лише для приміщень з простою формою.

В АА важливими є експериментальні методи дослідження акустичних характеристик приміщень [1], таких як структура звукових відбиттів, час реверберації та дифузність звукового поля.

1.1.2. Загальні вимоги

Акустика приміщень була досліджена в роботі [2] та має за мету забезпечення сприятливих технічних якостей звуку в приміщеннях, де це називають практичною потребою. Сила, ясність та краса звука служать такими якостями.

Сила звуку є головною загальною умовою, яка гарантує здійснення слухового відчуття. Можливість сприйняття звуків без будь яких спотворень називається ясністю. Краса звуку являється якістю, яка забезпечує можливість отримання художніх звукових вражень.

Параметри акустичної якості приміщення є тими обставинами, від яких залежать технічні якості звуку.

В джерелі [3] вказано, коли джерело звуку працює в замкнутому приміщенні, відбувається складний процес формування звукового поля в ньому, за рахунок відбиттів від стін, стелі, підлоги та меблів та ін. При цьому звукова енергія частково поглинається за рахунок затухання в повітрі, поверхнями перешкод в приміщенні, а також за рахунок проходження звуку в зовнішнє середовище. Крім цього, маж місце процес дифракції звукових хвиль при наявності різних перешкод, таких як екрани, крісла і т. д.

В кожні точку приміщення спочатку проходить прямий звук, а далі перші відбиті звуки з деякою затримкою в часі, потім дво-, три- та чотириразові відбиті звуки і т.д; при кожному відбитті частина енергії поглинається, а частина проходить в точку, яка розглядається, та накладається на прямий звук.

З роботи [3] відомо, що якщо джерело звуку вимкнути, відбувається поступовий процес спаду енергії. Він називається реверберацією, а його час – часом реверберації. Цей процес відбувається повільно, помітний на слух та грає важливу роль в слуховому сприйнятті. Характер реверберації залежить від розмірів та форми приміщення, від звукопоглинаючих якостей поверхонь. Чим більше поглинається звук, там коротший час реверберації.

Серед основних критеріїв оцінку акустичної якості приміщення [4] є стандартний час реверберації T_p . Це такий проміжок часу, протягом якого щільність звукової енергії $\varepsilon(t)$ зменшується в 106 разів в порівнянні з початковою, це означає, що її рівень зменшується на 60дБ. З цього слідує, що при $t = T_p$:

$$\frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_0} = 10^{-6} = e^{\frac{S \ln(1-\alpha) - 4\mu V}{4V} c_{зв} T_p} \quad (1.1)$$

Якщо відзвук затухає за експоненціальним законом, то стандартний час реверберації можна знайти за формулою Ейрінга:

$$T_p = \frac{0,164V}{-S \ln(1-\alpha)} \quad (1.2)$$

Зауважимо, що $\alpha' = -\ln(1-\alpha)$ називають також ревербераційним коефіцієнтом поглинання. Залежність $\alpha = f(\alpha')$ приведена на рис. 1.1.

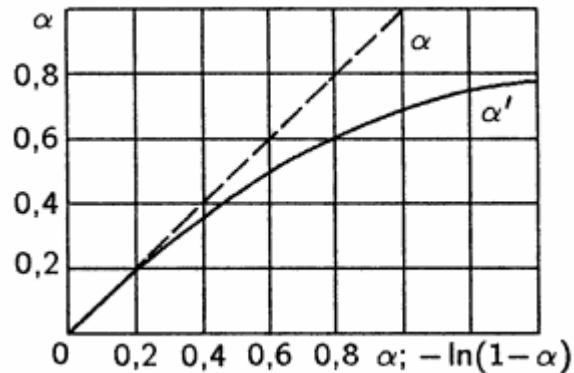


Рис. 1.1. Залежність між середнім та ревербераційним коефіцієнтами звукопоглинання [4]

Якщо в приміщенні середній коефіцієнт поглинання невеликий ($\alpha < 0,2$), для розрахунку використовують формулу Себіна :

$$T = \frac{0,164V}{\alpha S} = \frac{0,164V}{A} \quad (1.3)$$

Акустичні властивості приміщення вносять певний вклад в якість сприймається слухачем звукової панорами. Не у всіх є спеціальні приміщення, призначені виключно для установки в них аудіо обладнання високого класу. Але і для тих, хто слухає музику в звичайній житловій кімнаті, є багато порад і зауважень, дотримуючись яких ви зможете оптимізувати звучання наявної аудіотехніки.

Спеціальні акустично оптимізовані зали мають, як правило, форму неправильного паралелепіпеда, з непаралельними один одному бічними стінками, а стелі, як у театрах і концертних залах, виконані у формі ската. Стандартна кімната має класичну прямокутну форму, що сприяє накладення одна на одну випромінюваних і розкритих хвиль звуку.

Залежно від використовуваних в будівництві і обробці матеріалів акустичні властивості однакових за обсягом і формою приміщень можуть сильно відрізнятися. Якщо у вашому середовищі прослуховування використовуються тверді бетонні конструкції стін і перекриттів, вони будуть сприяти відображенню випромінюваного звуку. Гіпсокартонні панелі або дерев'яна обшивка будуть поглинати більшу частину звукової енергії. З огляду на це і використовуючи наступні поради, ви зможете поліпшити якість звуку.

За акустичними властивостями все приміщення можна розділити на три основні типи: дзвінке; глухе і нейтральне приміщення. Як правило, нам бажано мати кімнату з нейтральними акустичними характеристиками, яка тяжіє трохи до дзвінкому типу. Дзвінка кімната відрізняється тривалим часом реверберації.

Якщо у вас занадто глуха кімната, для того щоб домогтися більш природного звучання пошукайте можливості для заміни на іншу обробку частини тканинних драпіровок або килимових покриттів, які поглинають акустичну енергію. Якщо ж приміщення занадто дзвінке, то, як правило, набагато легше визначити точки відображення для придушення ефекту реверберації.

1.2. Особливості звукового поля домашнього кінотеатру

1.2.1. Звукове поле в приміщенні для домашнього кінотеатру

Під звуковим полем розуміється область простору розповсюдження звукових хвиль.

Властивості дифузного поля були дослідженні в роботі [3]. Під повністю дифузним звуковим полем мається на увазі таке поле, в якому енергія відбитих звукових хвиль переважає над енергією прямого звуку. Відбиті звукові хвилі рухаються в приміщенні в різних напрямках. Властивість поля, коли всі середні потоки енергії за різними напрямками є рівними, називається *ізотропією*. Вона сприяє рівномірному розподілу звукової енергії в різних точках приміщення. Це явище має назву *однорідності* поля. Таким чином, дифузне поле- це однорідне та ізотропне поле хвиль, що рухаються в результаті багаторазових відбиттів за всіма напрямками.

Оскільки музикальні та мовні сигнали є квазівипадковими процесами, тобто, то застосування статичного аналізу до дослідження структури звукових полів, які створюються ними в різноманітних приміщеннях, є допустимим, але звукове поле має бути дифузним. Саме таким має бути поле в приміщенні для домашнього кінотеатру.

Основні параметри звукового поля в приміщенні були досліджені в роботі [3] та визначені за допомогою статичної теорії. Вони є наступними.

Так як в дифузному полі кожна звукова хвиля зазнає багаторазових відбиттів, вводиться таке поняття як середній час між двома відбиттями звуку τ . Такий час визначається як:

$$\tau = \frac{4V}{cS} \quad (1.4)$$

де V – об'єм приміщення, S – площа всіх поверхонь (стіни, підлога, стеля), c – швидкість звуку.

Звідси, середнє число відбиттів за одиницю часу: $n = \frac{1}{\tau} = \frac{cS}{4V}$.

Середня довжина вільного пробігу $L_{\text{сер}}$ визначається як середньоарифметичне значення довжин відрізків між відбиваючими поверхнями, які проходять звукові хвилі:

$$L_{\text{сер}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_i}{i} \quad (1.5)$$

Експериментально визначили [4], що для приміщень прямокутної форми середня довжина вільного пробігу може бути визначена виходячи з геометричних розмірів:

$$L_{\text{сер}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_i}{i} \quad (1.6)$$

Проаналізувавши розрахунки в роботі [1], можна зробити висновок, що степiнь дифузності звукового поля залежить від типу вимірюваного сигналу.

1.2.2. Побудова площадок відбиттів

Для того, щоб побудувати площадки перших та других відбиттів звуку використовують методи геометричної акустики. В геометричній акустиці розповсюдження звуку є тотожним оптиці та береться прямолінійним, використовуючи далі закон дзеркального відбивання.

Для побудови траєкторії променів вводять поняття уявного джерела звуку. В роботі [14] присутнє пояснення побудови площадок відбиттів.

Для прикладу, візьмемо джерело звуку, яке буде знаходитись в точці D . Приймач розмістимо в точці B . Напівпростір, в якому вони знаходяться обмежується плоскою поверхнею S (рис. 1.2).

Пряма хвиля визначається променем DB . Разом з відбитою хвилею від площини S вона падає в точку B . Щоб побудувати цю другу траєкторію, перш за все необхідно знайти положення уявного джерела. Розташуємо це джерело в точці D' . Вона має бути симетричною точці D відносно площини S . З'єднавши D' і B , точку перетину, утвореної прямої з площиною S , присвоюють літеру B_1 . Проведена ламана DB_1B і є шуканою траєкторією.

За таким принципом здійснюються всі наступні побудови.

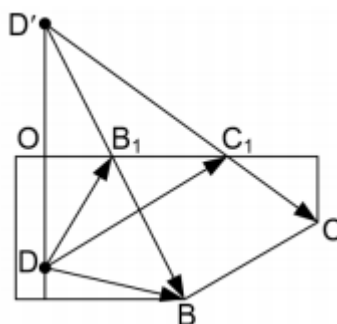


Рис. 1.2. Побудова площадки відбиття на плані приміщення [14]

Будуючи площадки відбиття в аксонометрії, проводиться граничні промені уявного джерела D' в кутові точки площини місць глядачів $ABCE$, які вважаються відомими. Площадка відбиттів є перетином піраміди, за основу якої береться площа місць глядачів (рис. 1.3). Щоб побудувати такий перетин, застосовують методи з курсу «Нарисної геометрії».

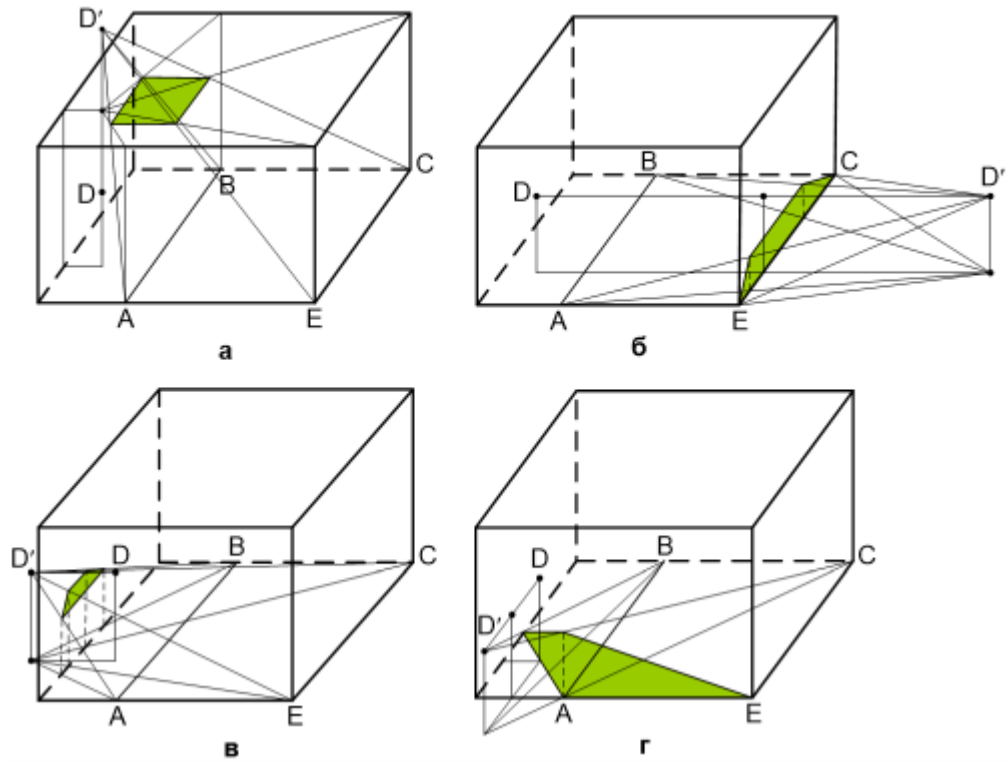


Рис. 1.3. Побудова перших площадок відбиттів

а – на стелі; б – на задній стінці; в – на передній стінці; г – на боковій стінці [14]

Для побудови площадки других відбиттів, задається послідовність цих відбиттів, далі знаходять положення первинного D' та вторинного D'' уявних джерел.

Вигляд в плоскому перетині зображений на рис. 1.4, а в аксонометрії – на рис. 1.5.

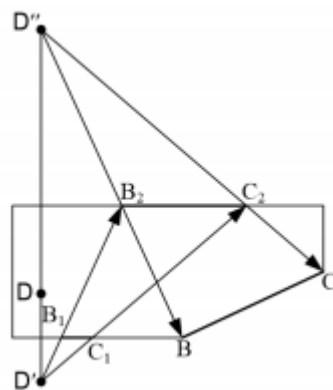


Рис. 1.4. Побудова площадок других відбиттів у плоскому перетині [14]

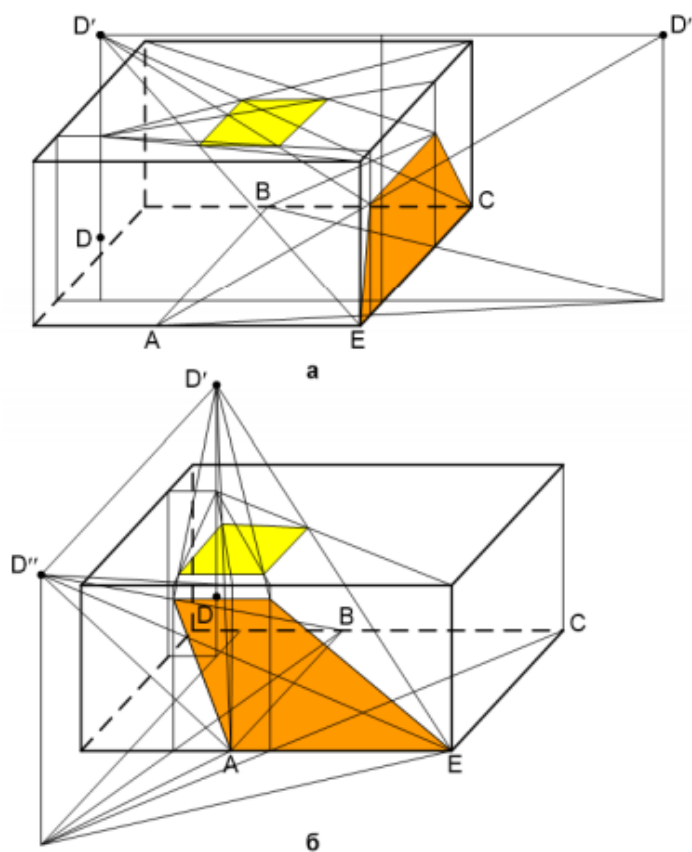


Рис. 1.5. Побудова площадок других відбиттів в приміщенні:
а – стеля - задня стінка; б – стеля - бічна стінка [14]

1.3. Облаштування домашнього кінотеатру та електроакустична апаратура

1.3.1. Поняття домашнього кінотеатру

Домашній кінотеатр - це аудіо-візуальні системи для домашньої розваги, які прагнуть відтворити настрій кінотеатру за допомогою відео- та аудіоапаратури, яка встановлена в приміщенні. Деякі дослідження показують, що фільми оцінюються краще та викликають більш яскраві емоції при перегляді в кінотеатрі, однак зручність є головним закликом домашніх кінотеатрів.

У 1980-х роках домашні кінотеатри зазвичай склалися з фільму, попередньо записаного на касету LaserDisc або VHS; програвач LaserDisc або VHS; і важкий громіздкий телевізор із великим екраном з електронно-променевою трубкою, хоча іноді замість них використовували проєктори ЕПТ. У 2000-х роках технологічні інновації в звукових системах, обладнанні для

відеопроекторів, телевізійних екранах та відеопроекторах змінили обладнання, що використовується для систем домашніх кінотеатрів, і дозволили домашнім користувачам отримати зображення на екрані з більш високим розширенням, покращену якість звуку та компоненти, що пропонують користувачам більше можливостей (наприклад, багато з більш дорогих програвачів Blu-ray у 2016 році також можуть "транслювати" фільми та телешоу через Інтернет за допомогою послуг передплати, таких як Netflix). Розвиток послуг підписки на основі Інтернету означає, що користувачам домашніх кінотеатрів епохи 2016 року не доведеться їздити до магазину прокату відео, як це було звичним у 1980-х і 1990-х.

У 2020-х роках в системах домашніх кінотеатрів зазвичай використовується велике зображення, що проектується з відеопроектора або великої плоскоекранної системи HDTV з високим розширенням, кінофільм на DVD або Blu-ray-диск із високою розширенням, який відтворюється на DVD-програвачі або програвачі Blu-ray, зі звуком, доповненим багатоканальним підсилювачем потужності.

Починаючи з 2016 року, споживче аудіо / відео обладнання може відповідати деяким стандартам невеликого сучасного комерційного кінотеатру (наприклад, звук THX).

1.3.2. Вимоги до приміщення для домашнього кінотеатру

Виходячи з досліджень [6-7], приміщення домашній кінотеатрів мають відповідати наступним вимогам:

При необхідності, прибирання впливу фонового шуму забезпечується посиленням звукоізоляції захисних конструкцій (зовнішніх та внутрішніх стін, вікон і т. д.).

Дифузність звукового поля досягається за рахунок рівномірного розподілення гучномовців по об'єму приміщення. Надмірне підсилення звукового сигналу не приводить до позитивних результатів. Гучність звуку має бути обмеженою 70 дБ.

Відсутність відлуння і багаторазового відбиття може бути гарантовано за рахунок застосування матеріалів так конструкцій (акустичні панелі, підвісна стеля).

З роботи [8] відомо, оптимальний час реверберації для приміщення домашнього кінотеатру в розраховуваному діапазоні частот порядку $T=0,45 \pm 0,15$ с.

1.3.3. Складові, основні характеристики та розміщення акустичних систем домашніх кінотеатрів

В матеріалі [9] вказана інформація, що до складових домашнього кінотеатру. Система домашнього кінотеатру включає в себе наступні компоненти:

- пристрій на який виводиться зображення (це може бути як стандартний ЖК або LED телевізор, так і спеціальний екран з проектором);
- компоненти-джерела: персональний комп'ютер або ноутбук, стаціонарний медіаплеєр або тв-приставка;
- AV-ресивер - багатоканальний комутатор аудіо і відеосигналів з декодером цифрового аудіопотоку і тюнером, який розрахований на спільну роботу з підсилювачем потужності;
- багатоканальний підсилювач потужності, що подає сигнал на п'ять гучномовців (аудіо / відеоресивер);
- кабелі для з'єднання всіх перерахованих вище компонент, а також необхідні для їх розміщення стійки;
- акустична система.

Підбираючи акустичну систему необхідно враховувати, що її вихідна потужність повинна бути рівна параметрам AV-ресивера. Якщо він буде транслювати сигнал потужніший ніж на це здатні колонки, то їх динаміки просто розірвуться.

Акустика для домашніх кінотеатрів характеризується кількома важливими показниками, на які і слід звернути увагу, за порадами [10] при виборі техніки:

- *Чутливість.* Вимірюється в децибелах (дБ), і чим вона вища, тим гучніший звук видається при заданій потужності. Акустика з високою чутливістю не вимагає занадто потужного підсилювача, і навпаки.
- *Потужність.* Нею визначаються динаміка і гучність звучання. Вимірюється в ватах (Вт), і при її розрахунку необхідно враховувати площу приміщення. Чим могутніше акустика, тим повніше Ви зможете насолодитися різними звуковими ефектами.
- *Діапазон частот.* Вимірюється в герцах (Гц). Це той інтервал частот, в межах якого система максимально достовірно відтворює звуковий сигнал. Ідеальний варіант - діапазон 20-20000 Гц. Саме ці частоти сприймає людський слух. Деякі розробники виходять і за його межі, враховуючи, що звукові сигнали часто містять нечутні нами, але вплітаються в загальну звукову картину частоти.
- *Коефіцієнт спотворення гармонік.* Звуковий сигнал являє собою комплекс електричних коливань (гармонік). Проходячи через підсилювачі, сигнал спотворюється, до нього можуть додатися зайві гармоніки, і цей фактор як раз і відображає коефіцієнт спотворення гармонік в акустичних приладах. Вимірюється він у відсотках, і чим відсоток менше, тим краще. В ідеалі цей коефіцієнт не повинен перевищувати 1%.

Акустичні системи поділяються на багато видів та класифікуються за певними критеріями. Розглянемо основні:

- За видом акустичного оформлення:
 - відкритого типу;
 - закритого типу (закритий ящик);
 - панель акустичного опору;
 - акустичні системи з фазоінвертором;
 - смугові гучномовці;

- акустичні з пасивним випромінювачем;
- акустичні системи з лабіринтом;
- рупорні акустичні системи;
- За формою корпусу:
 - сфера;
 - куб;
 - зрізана піраміда;
 - паралелепіпед.
- За методом передачі сигналу поділяються на:
 - провідні;
 - бездротові.
- За способом розміщення:
 - підлогові;
 - вбудовані;
 - настінні;
 - виносні;
- За кількістю каналів розподілу по частотах:
 - односмугові;
 - багатосмугові.
- По групах складності виносних АС:
 - нульова (вища);
 - перша;
 - друга.
- За внутрішнім обсягом:
 - нульова група складності ($-80...100 \text{ дм}^3$, $-70...80 \text{ дм}^3$, $-50...60 \text{ дм}^3$);
 - перша група складності ($- 40 \text{ дм}^3$);
 - друга і третя групи складності ($- 10...20 \text{ дм}^3$).
- За наявністю підсилювача:
 - активні (вбудований підсилювач);

- пасивні (без підсилювача);
- з підсилювачем в окремому зовнішньому блоці.

На сучасному ринку електроакустичної апаратури представлено багато різних «Surround-Sound» систем. В зв'язку з цим з'явилась необхідність їх стандартизації з метою погодження передачі і відтворення звукових програм за допомогою цифрового телебачення, а також з ліцензійних носіїв в домашніх умовах. Міжнародним Союзом Електрозв'язку (МСЕ) були прийняті рекомендації МСЕ R BS.775, у яких пропонується одна універсальна багатоканальна стереофонічна звукова система з трьома фронтальними каналами, двома задніми/боковими каналами та додатковим каналом низькочастотних ефектів (LFE). При цьому, асамблея радіозв'язку МСЕ рекомендує еталонне розміщення гучномовців

(рис. 1.6):

- три фронтальні гучномовці, поєднані з двома задніми/бічними гучномовцями;
- лівий та правий фронтальні гучномовці розміщені по краям охоплюючої дуги 60° в еталонних точках прослуховування;
- бічні/задні гучномовці мають бути встановлені в межах секторів від 100° до 120° від центральної еталонної точки;
- акустичний центр фронтальних гучномовців в ідеальному випадку має бути розміщений приблизно на висоті вуха слухача. Це передбачає акустично прозорий екран. При використанні акустичного непрозорого екрану, центральний гучномовець має розміщуватись безпосередньо над або під зображенням. Висота бічних/задніх гучномовців є менш критичною.

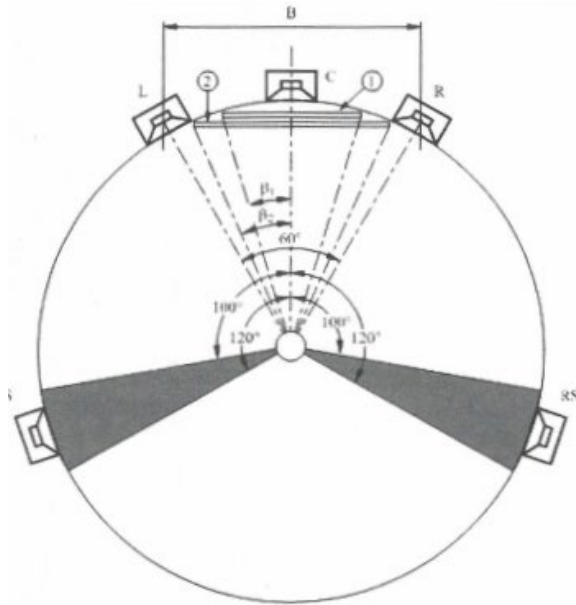


Рис. 1.6. Еталонне розміщення гучномовців [8]

Висновки:

Приміщення домашніх кінотеатрів, основною функцією яких являється прослуховування музики та мови, мають відповідати наступним вимогам:

1. Рівень фонового шуму має бути достатньо низьким, а потрібні звуки- достатньо гучними для того, щоб останні були чутними, розбірливими і вільними від перешкод.
2. Звукове поле має бути дифузним.
3. В приміщенні не має бути відлуння, багаторазових відбиттів звуку, стоячих хвиль та інших акустичних спотворень.

Час реверберації має бути оптимальним та гарно збалансованим у вьому діапазоні чутних частот.

РОЗДІЛ 2 АКУСТИЧНІ ВИМОГИ ДО ПРИМІЩЕНЬ ДОМАШНІХ КІНОТЕАТРІВ

2.1. Геометрія та план приміщення

Краще за все для побудови домашнього кінотеатру відводити спеціальне приміщення. Геометрія кімнати в такому випадку розраховується спеціально під певну аудіосистему, яка буде встановлена.

Для встановлення систем домашнього кінотеатру підходять приміщення прямокутних розмірів, площею від 15 до 120 м², та висотою стелі не нижче 2,2 метра. Необхідно, щоб співвідношення довжини та ширини приміщення не було кратним, наприклад, 8x4, 6x3. В [11] рекомендується ідеальне співвідношення сторін- «золотий перетин», або 1x1,6 . Якщо знехтувати цим, в приміщенні будуть виникати резонанси на самих важливих звукових частотах – 50-90 Гц, в залежності від довжин стін.

Звукова хвиля не встигне згаснути та буде накладатись на звуки з акустичної системи. Це приведе до ефекту гудіння на низьких частотах. Непридатними для приміщення домашніх кінотеатрів є кімнати, у яких всі три розміри однакові. Єдиним вирішенням є зміна розмірів будівельним методом, паралельно застосувавши методи акустичної корекції- непаралельні стіни, клиновидна стеля, встановлення поглиначів перших відбиттів або встановлення кутових басових пасток.

Рекомендованими приміщення для домашніх кінотеатрів є приміщення середніх розмірів – 25-40 м². В таких приміщеннях низькі частоти будуть відтворюватись найкраще, а резонанси будуть зміщуватись в більш високу частину частотного діапазону. Це пов'язано з тим, що чим більший розмір має одна зі сторін приміщення, тим більше низький бас людина може почути.

Якщо в приміщенні висота стелі буде нижчою 2,15 м. низькі частоти будуть відтворюватись з погіршенням. Як правило, такими є цокольні поверхи, які будуються з технічною метою. Також, через таку висоту виникнуть проблеми при

встановленні відеопроєктора на стельовий кронштейн. Найвдалішим вибором є стеля висотою 2,7-5,7 м. З роботи [12] відомо, що циркульні, куполоподібні та стелі пірамідальної форм виконують роль акустичної лінзи, фокусують відбиття звуку з точці прослуховування, неоправно призводивши до поганого звучання. Похила стеля може покращити просторове звучання.

При невеликих розмірах приміщення для кінозалу, рекомендується використовувати мінімальну кількість будівельних конструкцій, так як вони зменшують з самого початку малий об'єм кімнати. Не допускається залишати отвори, що залишились від попередньо вбудованих стінових шаф. Їх необхідно заповнити акустичним матеріалом-поглиначем, без внутрішніх пустот.

Для перевірки якості кріплення будівельних конструкцій, рекомендується в приміщенні розмістити потужний сабвуфер і подати на них звуковий сигнал. Всі недопрацьовані місця будуть видавати звуки, після їх виявлення необхідна щільна фіксація.

Двері є обов'язковим елементом приміщення ДК. Не має бути відкритого отвору в стіні. В першу чергу, звуки із зовні не мають потрапляти в кімнату, а в другу чергу, внутрішні звуки не мають доходити в сусідні приміщення. Двері мають бути масивними, товстими, з щільним притулом та D-подібним ущільнювачем по периметру. Найкращим вирішенням є встановлення подвійних дверей (одні з яких з звукоізоляційної серії, наприклад фірм Normann або Alavus) з проміжковим тамбуром із звукопоглинаючою обробкою.

Наявність великої кількості вікон, стін зі скла негативно впливає на якість звучання. Якщо наявність скляних поверхонь не уникнути, їх необхідно закрити важкою шторною тканиною. В приміщенні для домашнього кінотеатру не допускається розміщення скляних шаф та посуду.

Важливо дотримуватись симетричності всього в кімнаті домашнього кінотеатру. Диван, сидіння, крісла мають розміщуватись навпроти екрану. Рекомендується не робити прохід по центру, оскільки він погіршує якість звуку та перегляд. У випадку якщо він є, необхідно зробити його мінімальним.

2.2. Час реверберації в приміщенні домашнього кінотеатру

Час реверберації, введений Себіном ще в кінці минулого століття, до цього часу є одним з найважливіших акустичних характеристик приміщення. Не даючи достатньої інформації про умови чутності у окремих місцях приміщення, час реверберації гарно характеризує загальну гучність приміщення. Цінною властивістю часу реверберації є практична можливість його успішного розрахунку при акустичному проектуванні приміщення. В роботі [1] доведено, що необхідність знаходження даного параметру виникає не тільки про оцінці акустичної якості приміщення, але і при вимірюванні коефіцієнтів звукопоглинання, розробці і оцінці заходів по шумозахисту.

Виходячи з вимог спільноти аудіоінженерів (AES20-1996: AES recommended practice for professional audio – Subjective evaluation of loudspeakers) час реверберації в приміщенні для домашнього кінотеатру має відповідати значенням $0,45 \pm 0,15$ с.

2.3. Підбір звукопоглинаючих матеріалів для домашнього кінотеатру

Задачами будь-яких звукоізоляційних матеріалів є недопускання виходу шуму з приміщення і створення найкомфортніших умов звукового сприйняття всередині.

Аналіз публікації [13] показав, що найбільш поширеного використання при обробці приміщення домашнього кінотеатру отримали наступні матеріали:

1) Звукопоглинаючі плити. Частіше за все вони встановлюються на стіни приміщення. Це пояснюється тим, що вони зменшують інтенсивність та час реверберації. Час від часу їх використовують як покриття підлоги. Такі матеріали існують на основі льону, технічної повсті, скляного, базальтового та дерев'яного волокна. Так як ці плити складаються з багатьох маленьких пор, то звукова хвиля, що проходить через них, втрачає вагому частину своєї енергії за рахунок тертя.

Сучасні матеріали мають ще більше звукопоглинання, оскільки мають підвищену пористість.

Серед лідерів є такий матеріал компанії Saint-Gobain, як ISOVER ЗвукоЗахист (рис. .). Він позиціонується як екологічно чистий, довговічний матеріал. Його можна використовувати як в один шар, так і в два, гарантуючи цим додатковий захист.

Гарним матеріалом є мінеральна плита Шуманет-БМ, створена на базі базальтового волокна.



Рис. 2.1. Структура звукопоглинаючої плити

2) Акустичні плити та панелі. Такі матеріали поділяються на одношарові та двошарові. Широкого застосування вони набули при обробці стін та стель. При їх виготовлення використовують металу, гіпсокартону, пресованої мінеральної пості. Одношарові перфоровані плити використовують для облицювання каркасних та підвісних конструкцій. Вони мають товщину 20-40 мм. Двошарові акустичні плити складаються з твердого облицювального шару з отворами та пористого звукопоглинаючого або твердого звуковідбиваючого шару. Перевагою акустичних плит є зносостійкість, легка очистка.

3) Акустично прозора тканина. Часто застосовується з метою декорації, є повністю екологічним. Вона є гарним заміником акустичних панелей, але її звукопоглинаючі властивості дещо гірші.



Рис. 2.2. Зображення акустично прозорої тканини

4) Демпфруючі прокладки. Використовуються для гасіння вібрацій від гучномовців, що передаються по підлозі. Прокладки мають невелику товщину, але механічна міцність звукопоглинальних плит вище, ніж в прокладок.



Рис. 2.3. Вигляд демпфруючої прокладки

5) Акустичні герметики. Їх доцільно використовувати, щоб створити проміжковий шар між гіпсокартонними листами, задля зменшення вібрації.

Висновки:

Слід розуміти, що зазвичай для домашнього кінотеатру треба відводити окреме спеціальне приміщення, яке розташовується у будинку поряд з звичайними кімнатами, тому геометрія кімнати повинна бути у допустимих межах, порівняно з кімнатами поряд. Для забезпечення комфортних умов для звукових хвиль площа приміщення повинна складати 25-40 м², а геометричні розміри приміщення - довжина та ширина - не повинні бути кратними між собою. Приміщення домашнього кінотеатру також повинно бути симетричним.

Для створення комфортних умов звукового сприйняття всередині приміщення слід використовувати якісно підібрані звукоізоляційні матеріали для досягання гарної звукоізоляції приміщення та звукопоглинаючі матеріали для розрахунку задовільного загального фонду поглинання приміщення.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО КІНОТЕАТРУ

3.1. Заглушене приміщення

3.1.1. Геометричні розміри приміщення

Проведемо розрахунок заглушеного приміщення домашнього кінотеатру. Приміщення буде розраховане для 4 слухачів, а його параметри представимо у табл. 3.1.

Табл. 1. Параметри приміщення

Довжина приміщення, м	6
Ширина приміщення, м	4
Висота приміщення, м	3
Площа огороджуючих поверхонь S_{Σ} , м ²	108
Об'єм приміщення $V_{\text{п}}$, м ³	72
Площа дверей, м ²	2
Кількість слухачів, шт	4

У загальному випадку приміщення даного типу призначенні для розташування у звичайному будинку, тому геометричні розміри, які вказані у табл. 1 не суперечать даним, вказаних у [14].

Згідно даних роботи [14], відношення геометричних розмірів приміщення один до одного, складатимуть

$$l : b : h = 2 : 1,33 : 1;$$

$$\frac{l}{b} = \frac{6}{4} = 1,5; \frac{b}{h} = \frac{4}{3} = 1,33$$

та є допустимими та задовільними для даного типу приміщень.

Для початку представимо приміщення домашнього кінотеатру у вигляді креслень (рис. 3.1. – 3.3.) та проведемо розрахунок площ основних елементів приміщення.

- Площа стін: $S_c = 60 \text{ м}^2$;
- Площа стелі (підлоги): $S_{ст} = S_{п} = 24 \text{ м}^2$;
- Площа екрану: $S_e = 5,6 \text{ м}^2$;
- Площа акустичної системи: $S_a \approx 2 \text{ м}^2$;
- Площа стійки: $S_{стійка} \approx 4 \text{ м}^2$;

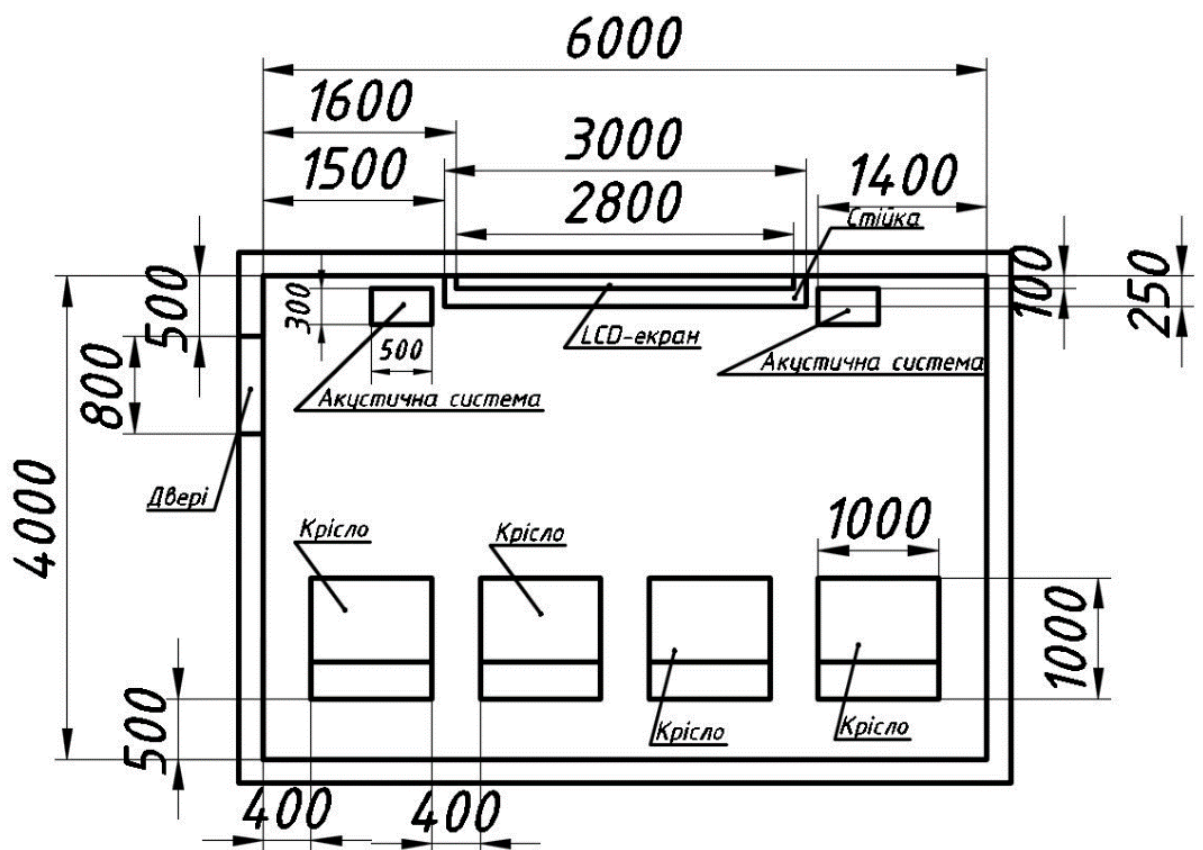


Рис. 3.1. Горизонтальний переріз приміщення

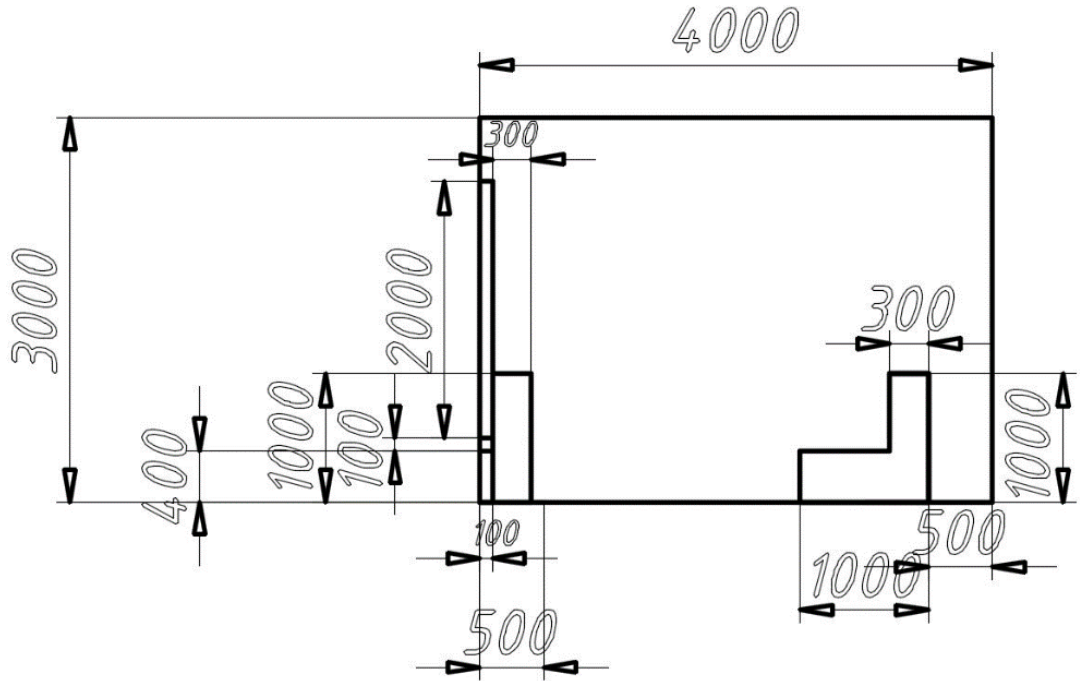


Рис. 3.2. Вертикальний переріз приміщення №1

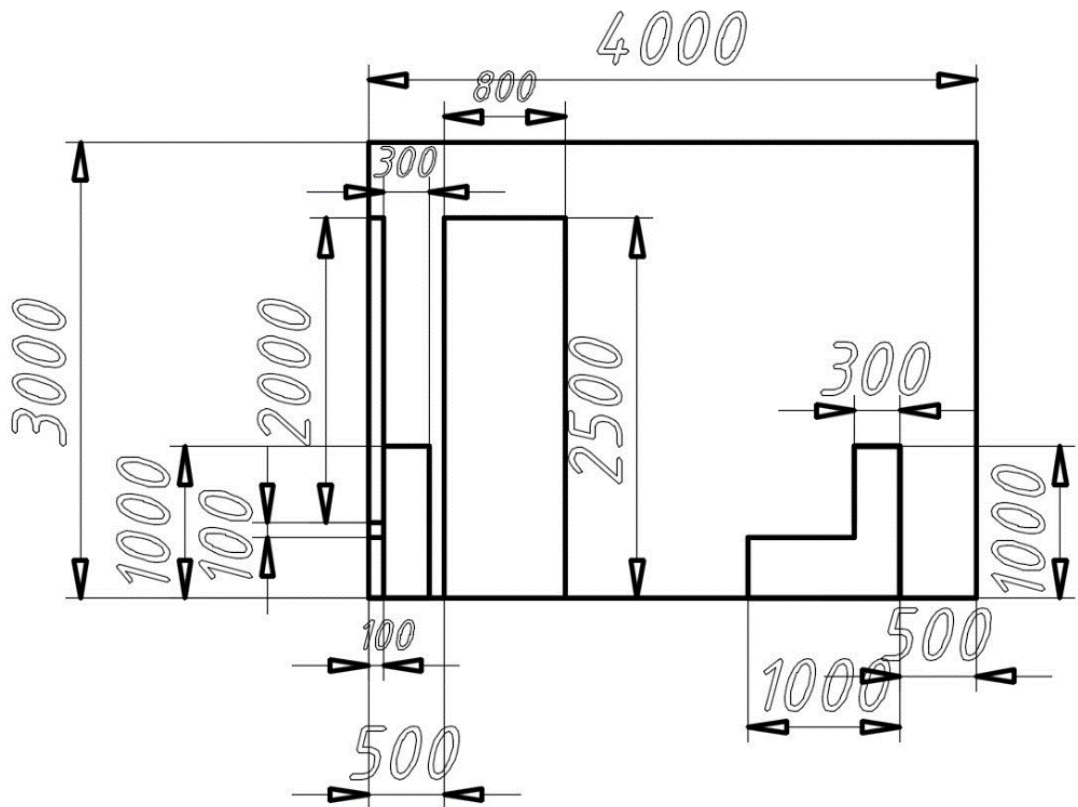


Рис. 3.3. Вертикальний переріз приміщення №2

3.1.2. Розрахунок часу реверберації та загального фонду поглинання заглушеного приміщення

Проведемо розрахунок теоретичного оптимального часу реверберації за наближеною формулою, наведеною у [14]:

$$T_{\text{опт}} = 0,3 \lg V - 0,05 \quad (3.1)$$

$$T_{\text{опт}} = 0,3 \lg 72 - 0,05 \approx 0,5 \text{ с} \quad (3.2)$$

Згідно стандартів значення оптимального часу реверберації приміщення, призначене для заглушеного домашнього кінотеатру повинно знаходитися у межах 0,15-0,45 с. Оскільки дане значення є трохи з великим, шляхом якісного вибору звукопоглинальних матеріалів приміщення, зменшимо отримане значення до допустимого проміжку.

Згідно форм оптимальних частотних характеристик, рекомендованих Кнудсеном, які зображені на рис. 3.4, значення відношення $T_{\text{опт}}/T_{500}$ на частоті 125 Гц складає 1,5 для мовних сигналів. Для того, щоб експериментальне значення часу реверберації для частоти 125 Гц не було занадто великим відносно до заданого проміжку часу реверберації за стандартами, приймемо за необхідне значення $T_{500} = 0,3$ с. Тоді при частоті 125 Гц значення часу реверберації буде знаходитися в допустимих межах відхилення від проміжку часу реверберації за стандартами.

Отже, згідно рис. 3.4, можна побудувати наступну таблицю частотної залежності значення $T_{\text{опт}}$. Для середніх та високих частот приймемо розраховане значення $T_{\text{опт}}$, а для низьких - значення поступово збільшимо у півтора рази.

Табл. 3.2. Частотна залежність $T_{\text{опт}}$

f , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{опт}}$, с	0.45	0.375	0.3	0.3	0.3	0.3
T_{min} , с	0.405	0.3375	0.27	0.27	0.27	0.27
T_{max} , с	0.495	0.4125	0.33	0.33	0.33	0.33

У даному випадку значення T_{min} та T_{max} можуть бути розраховані наступним чином:

$$T_{min} = 0,9 \cdot T_{opt} \quad (3.3)$$

$$T_{max} = 1,1 \cdot T_{opt} \quad (3.4)$$

та демонструють допустиме десятивідсоткове відхилення від теоретично розрахункових значень T_{opt} .

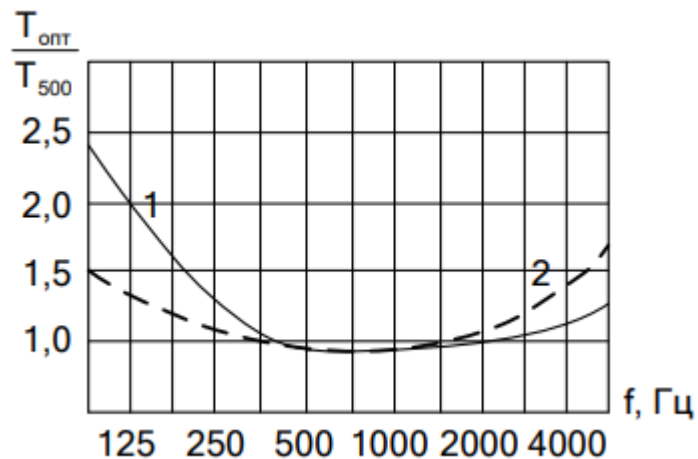


Рис. 3.4. Частотна характеристика відношення T_{opt}/T_{500} за Кнудсеном: 1 – музика; 2 – мова [14]

Створимо оптимальні умови прослуховування реальних звукових програм шляхом максимального наближення часу реверберації до оптимального значення на всіх частотах звукового діапазону шляхом розрахунку основного фонду поглинання приміщення (табл. 3.3), та у випадку недостатніх значення фонду поглинання, створенням додаткового фонду звукопоглинання.

Табл. 3.3. Розрахунок основного фонду звукопоглинання

Матеріал поглинач	Площа або кількість осіб	Частота, Гц											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
Килимове покриття	23.7	0.08	1.9	0.08	1.9	0.2	4.7	0.26	6.2	0.27	6.4	0.37	8.8
Пластик	9.6	0.03	0.3	0.04	0.4	0.05	0.5	0.05	0.5	0.08	0.8	0.05	0.5
Міжкімнатні двері з цілісного масиву	2	0.14	0.3	0.1	0.2	0.06	0.1	0.08	0.16	0.1	0.2	0.1	0.2
ДСП	76.4	0.01	0.76	0.09	6.9	0.09	6.9	0.09	6.9	0.09	6.9	0.14	10.7
Крісло обтягнене шкірою	1	0.1	0.10	0.12	0.12	0.17	0.17	0.17	0.17	0.12	0.12	0.1	0.1
Слухачі	3	0.17	12	0.36	1.08	0.47	1.4	0.52	1.56	0.5	1.5	0.46	1.38
Бетон пофарбований олійною фарбою	76.4	0.01	0.76	0.01	0.76	0.01	0.76	0.01	0.76	0.02	1.5	0.02	1.5
Пінопласт (d = 100 мм)	36	0.51	18.36	0.38	13.68	0.28	10.08	0.16	5.76	0.16	5.76	0.16	5.76
Щілинні плити	12	0.02	0.24	0.3	3.6	0.6	7.2	0.84	10.08	0.62	7.44	0.37	4.44
Загальне поглинання		23.35		28.9		31.9		32.1		30.6		33.3	

Розраховуємо експериментальне значення часу реверберації T за наступною формулою:

$$T = \frac{0,164V}{-S_{\Sigma} \ln\left(1 - \frac{A_0}{S_{\Sigma}}\right) + 4\mu V} \quad (3.5)$$

де μ - коефіцієнт затухання звука в повітрі, значенням яким нехтуємо, оскільки об'єм приміщення менше 300 м^3 та побудуємо табл. 3.4.

За даними табл. 3.4 побудуємо частотну залежність значень T (рис. 3.5), а за даними табл. 3.3 побудуємо частотну залежність складових основного фонду поглинання приміщення та сумарного значення (рис. 3.6).

Табл. 3.4.

$f, \text{Гц}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{розр}}, \text{с}$	0.448	0.35	0.31	0.31	0.328	0.3
$T_{\text{min}}, \text{с}$	0.495	0.4125	0.33	0.33	0.33	0.33
$T_{\text{max}}, \text{с}$	0.405	0.3375	0.27	0.27	0.27	0.27
$A_{\text{потр}}, \text{Себ}$	23.35	28.9	31.9	32.1	30.6	33.3
$A_{\text{min}}, \text{Себ}$	21.40	25.15	30.46	30.46	30.46	30.46
$A_{\text{max}}, \text{Себ}$	25.55	29.89	35.96	35.96	35.96	35.96
$\alpha_{\text{сер}}$	0.22	0.27	0.3	0.3	0.28	0.31
$\varepsilon, \%$	-0.29	-6.40	4.04	3.37	9.43	-1.33

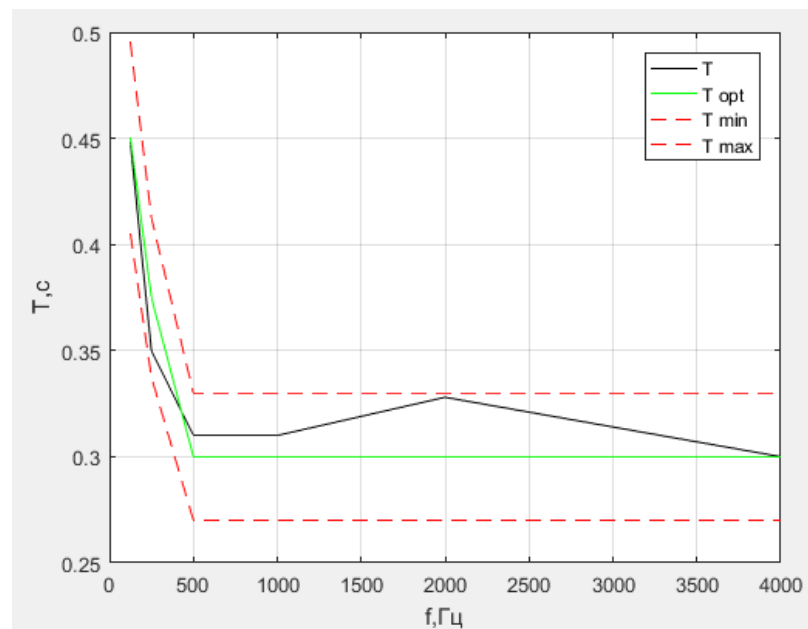


Рис. 3.5. Залежність часів реверберації від частоти

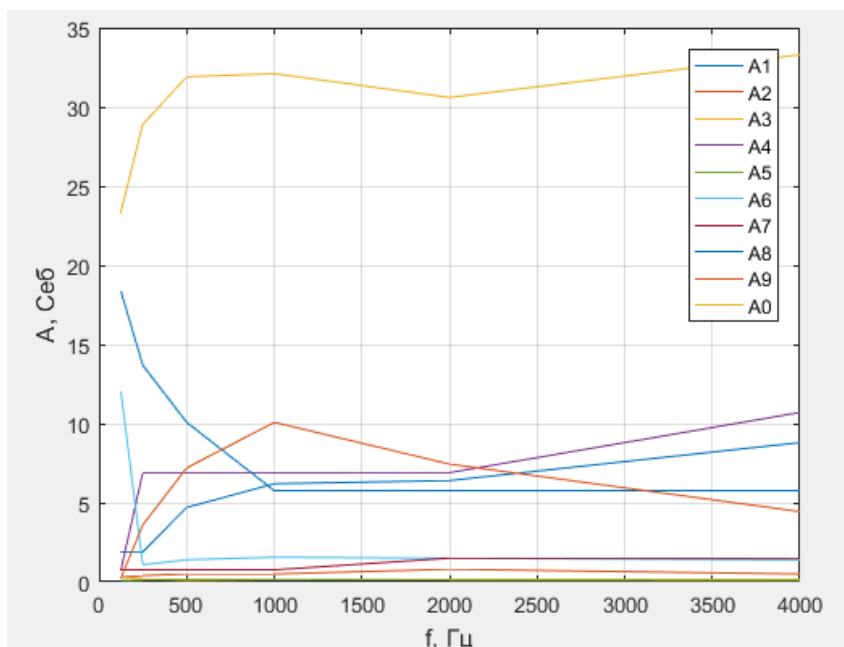


Рис. 3.6. Графік частотної залежності звукопоглинання

3.1.3. Розрахунок звукоізоляції заглушеного приміщення

За означенням, заглушене приміщення володіє не тільки малим значенням часу реверберації, що досягається підбором звукопоглинальних матеріалів у приміщенні, які мають вплив на істотне зменшення рівню сигналу при відбитті хвиль від стін приміщення, а ще й низьким значенням сумарного рівню шуму, що надходить через стіни приміщення, а відповідно, сильною звукоізоляцією. Занесемо до табл. 3.5 інформація щодо джерел шуму поряд із приміщенням.

Табл. 3.5. Джерела шуму поряд

Підвальне приміщення – ліва, права та передня стіни	50 дБ
Службове приміщення – нижня стіна	70 дБ
Вітальна – стеля	50 дБ

В табл. 3.6 зазначимо значення коефіцієнтів звукоізоляції перегородки.

Табл. 3.6

Назва перегородки	Рівень джерела L_i	Площа перегородки S_i	Власна звукоізоляція σ_i	$S_i \cdot 10^{0,1(L_i-\sigma_i)}$
Цегляна кладка, поштукатурена з двох боків – ліва, права та передня стіни	50	40	59	5.0357
Цегляна кладка, поштукатурена з двох боків – нижня стіна	70	18	59	226.61
Бетонна стяжка на залізобетонній плиті – стеля	50	24	56	6.0285
Двері – з чотирма стулками 7 мм, загальної товщини 300 мм з ущільненням	50	2	46	5.0238

$$L_{\phi} = 10 \lg(\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i-\sigma_i)}) - 10 \lg A_{500} \quad (3.6)$$

У даному випадку значення рівню сумарного шуму складає приблизно 9 дБ, що демонструє значну користь від якісного підбору матеріалів перегородки та, у цілому, звукоізоляції приміщення. Дане приміщення у повній мірі стало

заглушеним, яке володіє малими значеннями часу реверберації, сумарного рівня шуму та, відповідно, гарною звукоізоляцією приміщення.

3.1.4. Побудова площадок перших та других відбиттів

1. Координати у мм (X, Y, Z): D (500;3000;1000); D' (500;3000;5000).

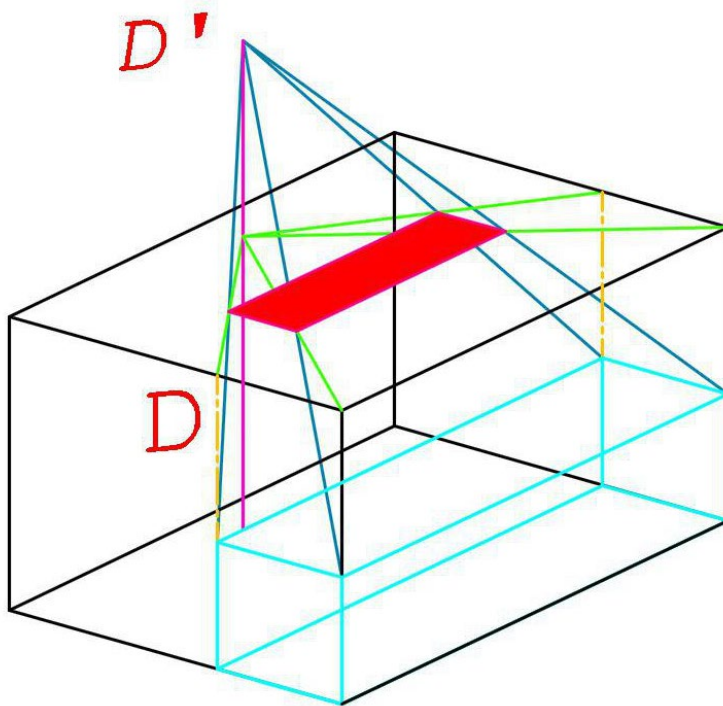


Рис. 3.7. Перше відбиття від стелі

2. Координати у мм (X, Y, Z): D (500;3000;1000); D' (7500;3000;1000).

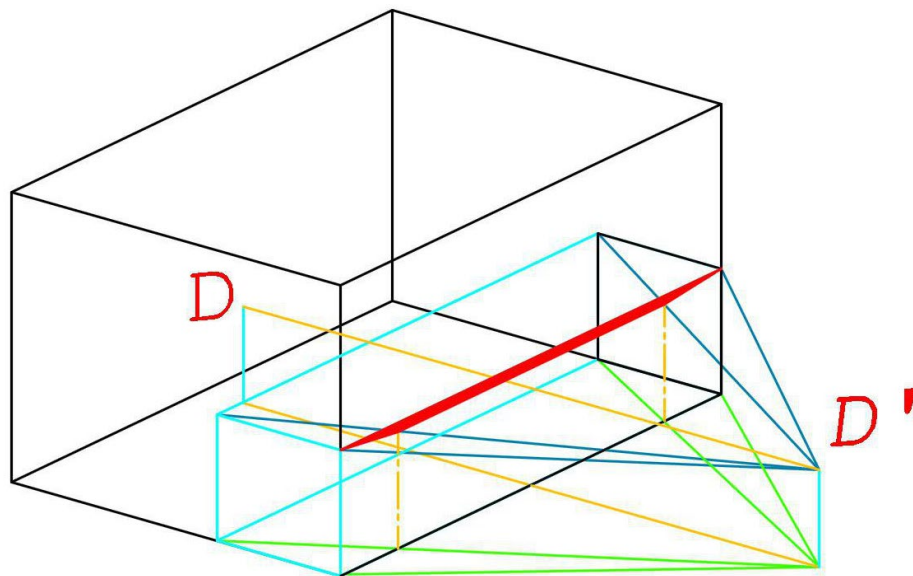


Рис. 3.8. Перше відбиття від задньої стінки

3. Координати у мм (X, Y, Z): D (500;3000;1000); D' (-500;3000;1000).

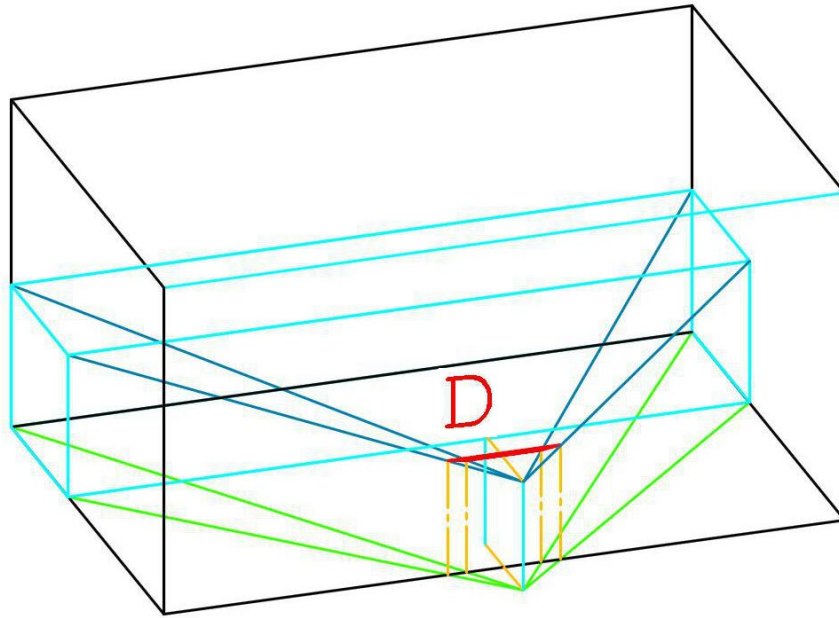


Рис. 3.9. Перше відбиття від передньої стінки

4. Координати у мм (X, Y, Z): D (500;3000;1000); D' (500;-3000;1000).

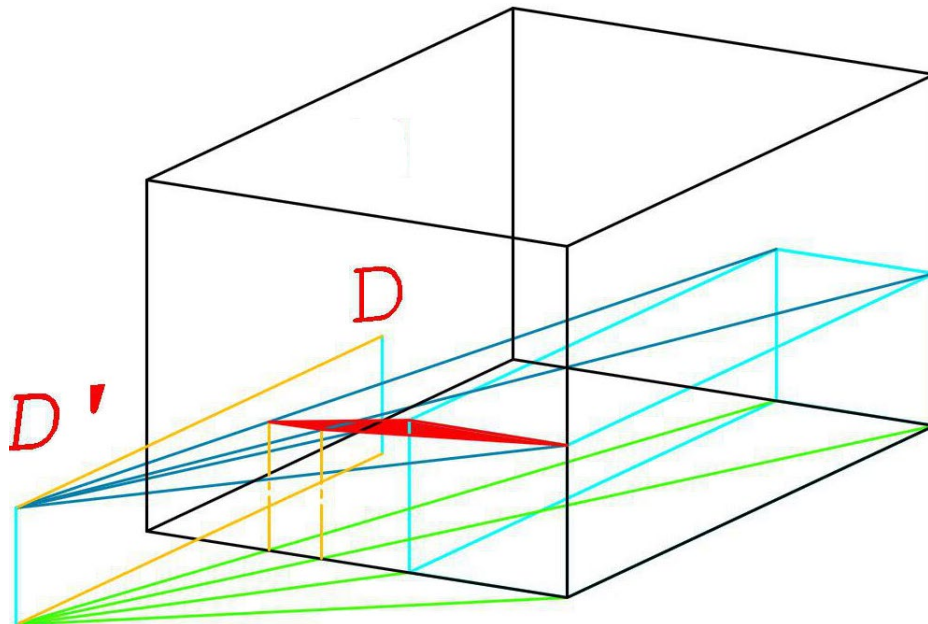


Рис. 3.10. Перше відбиття від бокової стінки

5. Координати у мм (X, Y, Z): D' (500;3000;5000); D'' (7500;3000;5000).

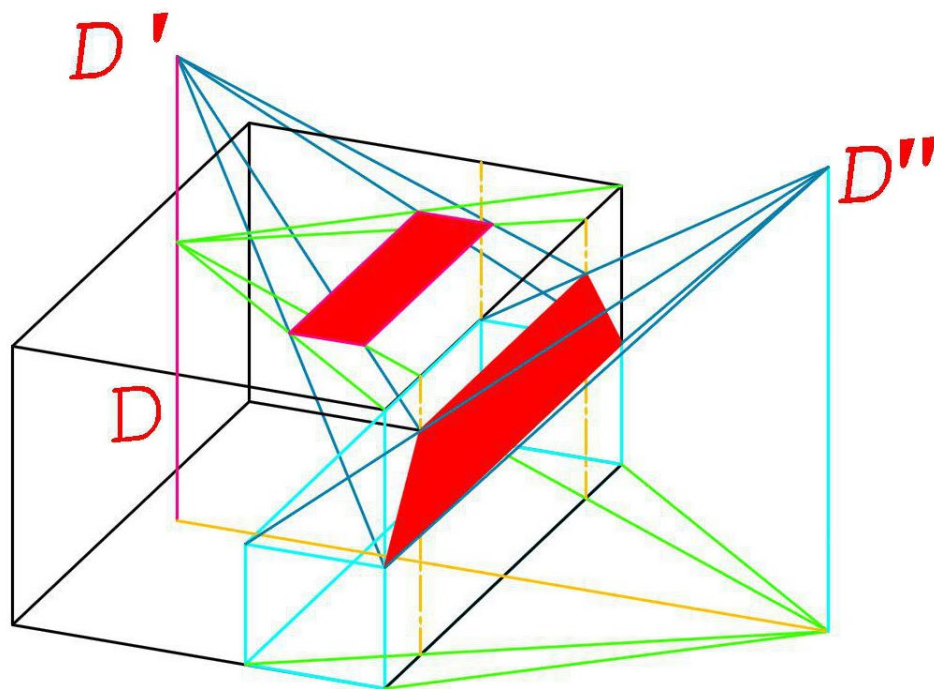


Рис. 3.11. Друге відбиття від стелі та задньої стінки

6. Координати у мм (X, Y, Z): D' (500;3000;5000); D'' (500;-3000;5000).

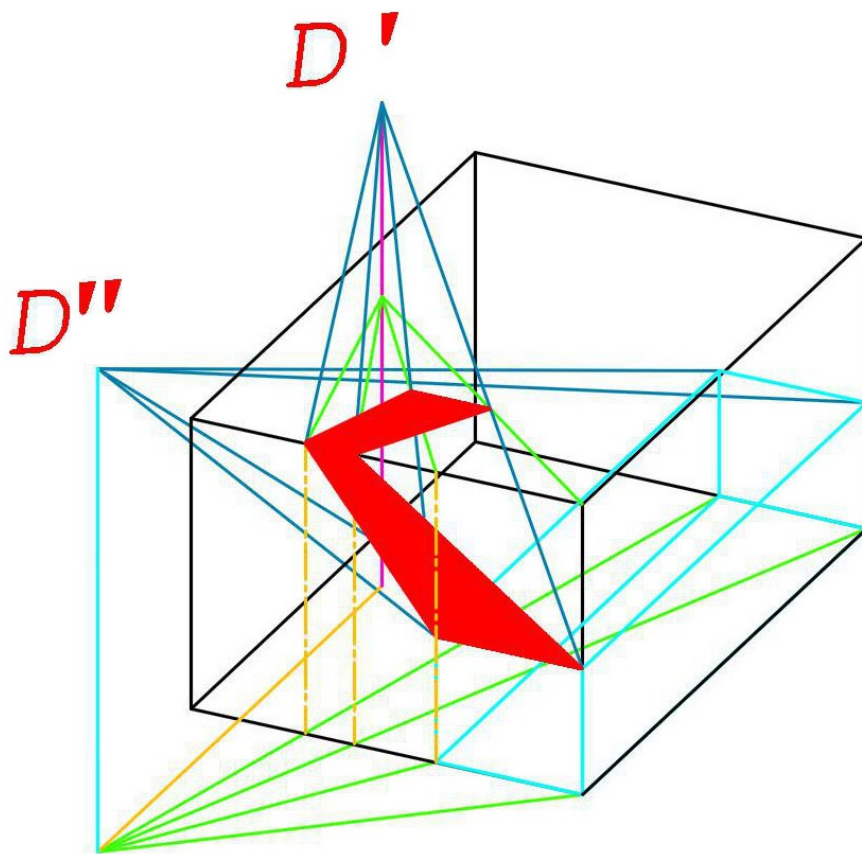


Рис. 3.12. Друге відбиття від стелі та бічної стінки

3.1.5. Розрахунок часової послідовності відбиттів

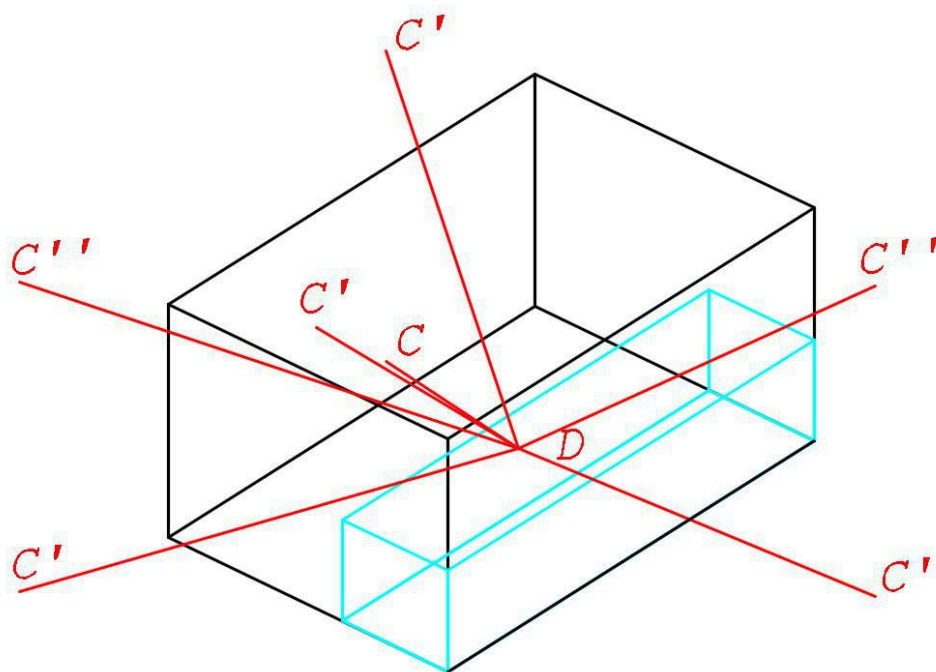


Рис. 3.13. Зображення всіх точок на одній осі координат
 Задамо координати (у мм) точки С (3000;2300;1300).
 За відомими координатами в змозі розрахувати величини табл. 3.7.

Табл. 3.7.

№	Найменування сигналу	r_n , м	t_n , мс	J_n , Вт/м ²	L_n , дБ
1	Джерело – Слухач	2.6	8	1	0
2	Дж. – Передня стінка – Сл.	3.6	11	0.48	-3.2
3	Дж. – Стеля – Сл.	4.52	13.3	0.2	-6.9
4	Дж. – Задня стінка – Сл.	4.56	13.4	0.3	-5.3
5	Дж. – Бічна стінка – Сл.	5.9	17	0.05	-12.9
6	Дж. – Ст. – Зад. стінка – Сл.	5.9	17	0.18	-7.5
7	Дж. – Ст. – Біч. стінка – Сл.	6.9	20	0.09	-10.6

Рис. 3.14. Часова залежність відбиттів

Проведемо розрахунок значення коефіцієнту чіткості D для 12 мс.

$$D = \frac{I_{\text{сум}}}{I_{\text{пр}}} ; I_{\text{пр}} = 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.7)$$

Використаємо наступні формули:

$$P_{\text{акуст}} = \frac{IA_{\text{потр}} 500}{4} = 4,86 \cdot 10^{-6} \text{ Вт} \quad (3.8)$$

$$I_0 = \frac{P_{\text{акуст}}}{4\pi r_0^2} = \frac{4,86 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot \pi \cdot 2,6^2} \approx 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.9)$$

$$I_{\text{сум}} = I_0 \sum_{i=1}^{n=7} J_n = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 2,3 = 0,46 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.10)$$

$$\frac{I_{\text{сум}}}{I_{\text{пр}}} = \frac{0,46 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}} = 0,46 \quad (3.11)$$

Для 12 мс це дуже гарне значення, проте підтвердимо якісну розбірливість у приміщенні розрахунком коефіцієнту складової розбірливості та перетворенням його значення у відсоток складової артикуляції: $k_s = \sqrt[5]{D}$

$$k_s = \sqrt[5]{D} = \sqrt[5]{0,46} \approx 0,86 \Rightarrow A = 86\%.$$

Згідно табл. 3.8 (ГОСТ 16600-72), приміщення належить до I класу, оцінка розбірливості – «добре», якість розуміння – без ускладень.

Оцінка розбірливості	Якість розуміння	Відсоток складової артикуляції, А%	Коефіцієнт міжвушної кореляції, ІАСС	Клас
Відмінно	Без найменшого напруження уваги	>93	>0,86	Вищий
Добре	Без ускладнень	86-93	0,86-0,71	I
Задовільно	З напруженням уваги, без перепитувань	76-85	0,7-0,51	II
Погано	З напруженою увагою, з перепитуваннями	61-75	0,5-0,21	III
Незадовільно	З напругою уваги, з перепитуваннями і	45-60	<0,2	IV

	повтореннями			
--	--------------	--	--	--

Табл. 3.8

3.2. Розрахунок приміщення з акустичним залом

3.2.1. Геометричні розміри приміщення

Приміщення залишається таким самим, як у п. 3.1.1, а тому й у розрахунках площ основних елементів та побудові креслень приміщення відсутня необхідність.

3.2.2. Розрахунок часу реверберації та загального фонду поглинання приміщення з акустичним залом

У даному випадку залишимо значення розрахованого теоретичного часу реверберації незмінним.

$$T_{\text{опт}} = 0,3 \lg V - 0,05 = 0,3 \lg 72 - 0,05 \approx 0,5 \text{ с} \quad (3.12)$$

Для середніх та високих частот приймемо значення знайдене значення $T_{\text{опт}}$, а для низьких - значення поступово збільшимо у півтора рази. Значення T_{min} та T_{max} розрахуємо за наступними формулами: $T_{\text{min}} = 0,9 \cdot T_{\text{опт}}$ та $T_{\text{max}} = 1,1 \cdot T_{\text{опт}}$, проте, оскільки домашньому кінотеатру приманний перегляд музичних програм, збільшимо межі проміжку $[T_{\text{min}}; T_{\text{max}}]$ завдяки зменшенню значення T_{min} на низьких частотах.

Табл. 3.9

$f, \text{ Гц}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{опт}}, \text{ с}$	0.75	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
$T_{\text{min}}, \text{ с}$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
$T_{\text{max}}, \text{ с}$	0.83	0.66	0.55	0.55	0.55	0.55

Створимо комфортні умови для перебування у приміщенні домашнього кінотеатру шляхом підбору необхідного значення основного фонду

звукопоглинання. Проведемо всі необхідні розрахунки у табл. 3.10.

Табл. 3.10. Розрахунок основного фонду звукопоглинання

Матеріал поглинач	Площа або кількість осіб	Частота, Гц											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
Килимове покриття	23.7	0.08	1.9	0.08	1.9	0.2	4.7	0.26	6.2	0.27	6.4	0.37	8.8
Пластик	9.6	0.03	0.3	0.04	0.4	0.05	0.5	0.05	0.5	0.08	0.8	0.05	0.5
Міжкімнатні двері з цілісного масиву	2	0.14	0.3	0.1	0.2	0.06	0.1	0.08	0.16	0.1	0.2	0.1	0.2
ДСП	76.4	0.01	0.76	0.09	6.9	0.09	6.9	0.09	6.9	0.09	6.9	0.14	10.7
Крісло обтягнене шкірою	1	0.1	0.10	0.12	0.12	0.17	0.17	0.17	0.17	0.12	0.12	0.1	0.1
Слухачі	3	0.17	0.51	0.36	1.08	0.47	1.4	0.52	1.56	0.5	1.5	0.46	1.38
Бетон пофарбований олійною фарбою	76.4	0.01	0.76	0.01	0.76	0.01	0.76	0.01	0.76	0.02	1.5	0.02	1.5
Плита «Гиптон Планк Бейз 33» (на стелі)	16	0.62	9.9	0.37	5.9	0.3	4.8	0.22	3.5	0.13	2.08	0.01	0.16
Загальне поглинання		14.5		17.3		19.5		19.75		19.5		23.3	

Розрахуємо значення T (табл. 3.11) за формулою:

$$T = \frac{0,164V}{-S_{\Sigma} \ln\left(1 - \frac{A_0}{S_{\Sigma}}\right) + 4\mu V} \quad (3.12)$$

де μ - коефіцієнт затухання звука в повітрі, значенням яким нехтуємо, оскільки об'єм приміщення менше 300 м³.

Таб

$f, \text{Гц}$	125	250	500	1000	2000	4000
$T, \text{с}$	0.75	0.62	0.55	0.54	0.55	0.45
$T_{min}, \text{с}$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
$T_{max}, \text{с}$	0.83	0.66	0.55	0.55	0.55	0.55
$A_{\text{потр}}, \text{Сєб}$	14.5	17.3	19.5	19.75	19.5	23.3
$A_{min}, \text{Сєб}$	13.33	16.49	19.47	19.47	19.47	19.47
$A_{max}, \text{Сєб}$	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
$\alpha_{\text{сер}}$	0.14	0.16	0.18	0.18	0.18	0.22
$\varepsilon, \%$	-0.18	2.78	10.21	8.16	9.99	-10.08

л.

3.11

·

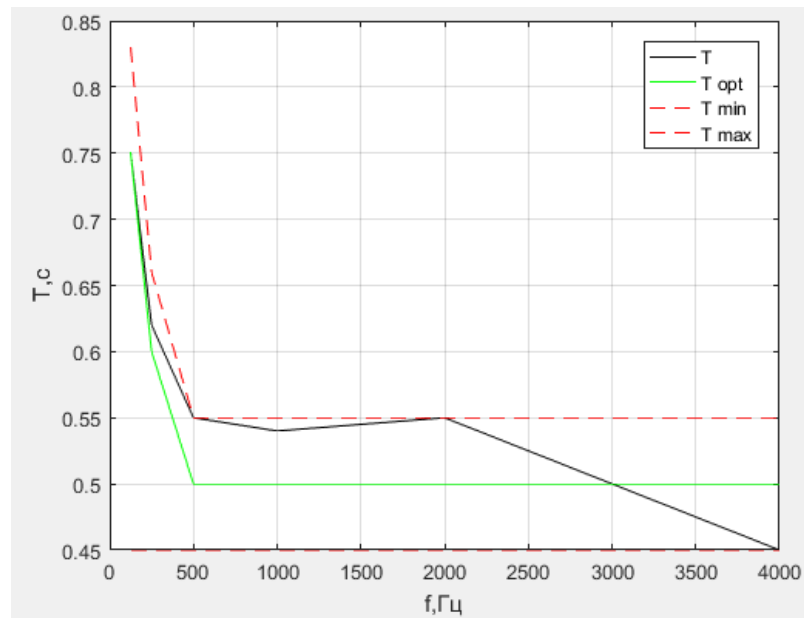


Рис. 3.15. Залежність часу реверберації від частоти

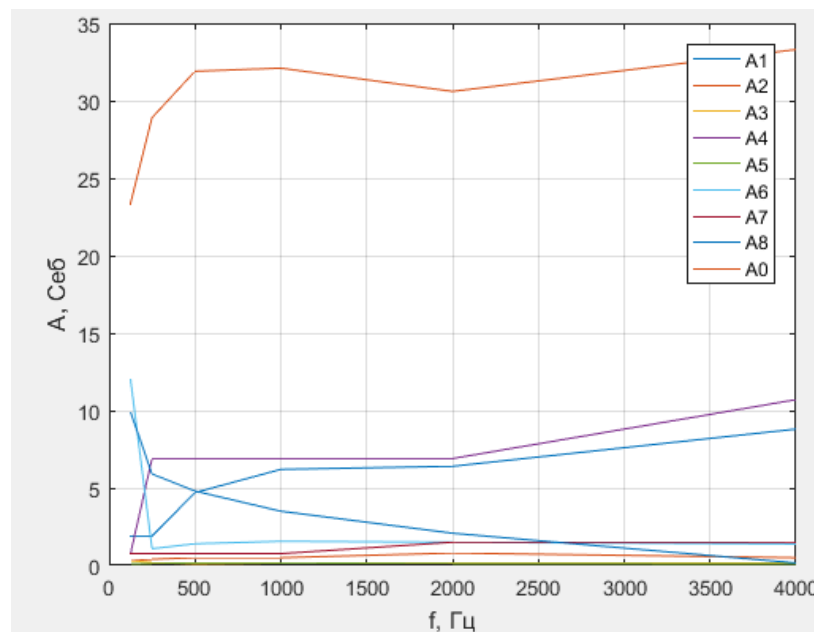


Рис. 3.16. Графік частотної залежності звукопоглинання

3.2.3. Розрахунок звукоізоляції приміщення з акустичним залом

Розташовані поряд з приміщення джерела шумів змінювати не будемо та залишимо, як у п. 3.1.3.

В табл. 3.12 зазначимо значення коефіцієнтів звукоізоляції перегородки.

Табл. 3.12

Назва перегородки	Рівень джерела L_i	Площа перегородки S_i	Власна звукоізоляція σ_i	$S_i \cdot 10^{0,1(L_i - \sigma_i)}$
Ліва, права та передні стіни-залізобетонна панель	50	40	44	159,24
Нижня стіна – залізобетонна панель	70	18	51	1429,8

Табл. 3.12. (продовження)

Стеля – залізобетонна панель	50	24	46	60,28
Двері – з чотирма стулками 7 мм., загальної товщини 300 мм. з ущільненням	50	2	46	5,024

За формулою (3.6) $L_{\phi} = 19$ дБ.

Оскільки приміщення домашнього кінотеатру розташоване у житловому приміщенні, а в даному типі приміщень допустимий рівень шуму в денний час складає 40 дБ, а в нічний час – 30 дБ, тому приймемо за максимально допустиме

значення сумарного рівня шуму значення 30 дБ. Тоді: $L_n - 3 = 30 - 3 = 27$ дБ \Rightarrow
 $\Rightarrow L_\phi < L_n - 3$.

Розраховане значення рівню сумарного шуму є задовільним.

3.2.4. Побудова площадок перших та других відбиттів

Геометричні розміри приміщення та його форма не були змінені, тому побудовані площадки перших та других відбиттів не будуть відрізнятися від площадок, побудованих у п.3.1.4.

3.2.5. Розрахунок часової послідовності відбиттів

Задамо координати (у мм) точки С (3000;2300;1300) (рис. 3.13).

За відомими координатами в змозі розрахувати величини табл. 3.13.

Табл. 3.13.

№	Найменування сигналу	r_n , м	t_n , мс	J_n , Вт/м ²	L_n , дБ
1	Джерело – Слухач	2.6	8	1	0
2	Дж. – Передня стінка – Сл.	3.6	11	0.48	-3.2
3	Дж. – Стеля – Сл.	4.52	13.3	0.21	-6.8
4	Дж. – Задня стінка – Сл.	4.56	13.4	0.3	-5.3
5	Дж. – Бічна стінка – Сл.	5.9	17	0.18	-7.5
6	Дж. – Ст. – Зад. стінка – Сл.	5.9	17	0.18	-7.5
7	Дж. – Ст. – Біч. стінка – Сл.	6.9	20	0.1	-10.5

Рис. 3.17. Часова залежність відбиттів

Проведемо розрахунок значення коефіцієнту чіткості D для 12 мс.

$$D = \frac{I_{\text{сум}}}{I_{\text{пр}}} ; I_{\text{пр}} = 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

За формулами (3.8), (3.9), (3.10), (3.11):

$$P_{\text{акуст}} = 4,86 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

$$I_0 = \frac{4,86 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot \pi \cdot 2,6^2} \approx 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$I_{\text{сум}} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 2,45 = 0,49 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$\frac{I_{\text{сум}}}{I_{\text{пр}}} = \frac{0,49 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}} = 0,49$$

Для 12 мс це дуже гарне значення, проте підтвердимо якісну розбірливість у приміщенні розрахунком коефіцієнту складової розбірливості та перетворенням його значення у відсоток складової артикуляції: $k_s = \sqrt[5]{D}$

$$k_s = \sqrt[5]{D} = \sqrt[5]{0,49} \approx 0,87 \Rightarrow A = 87\%.$$

Згідно табл. 3.8, (ГОСТ 16600-72) приміщення належить до I класу, оцінка розбірливості – «добре», якість розуміння – без ускладень.

Висновки:

Було створено креслення приміщення, яке призначене для домашнього кінотеатру з допустимими геометричними розмірами.

В першому акустичному проекті приміщення було проведено одноразово проведений розрахунок елементів приміщення, у другому проекті дана інформація не дублювалася. Був представлений основний фонд поглинання приміщення першого проекту у табл. 3.3, частотні залежності теоретичного та експериментального часів реверберації на рис. 3.5. Для заглушеного приміщення (перший проект) були обрані найбільш звукоізоляційні матеріали на двері, стіни, міжповерхневі перекриття для досягнення сумарного рівня шуму приблизно 9 дБ. Були побудовані площадки перших та других відбиттів та надані значення точки D (диктору), у другому проекті креслення не дублювалися, оскільки форма приміщення та основні геометричні розміри не змінювалися. Розраховане значення відсотку складової артикуляції довело, що приміщення першого проекту має «добру» розбірливість мови та належить до I класу.

Основний фонд поглинання приміщення другого проекту представлений у табл. 3.10, частотна залежність часів реверберації зображена на рис. 3.15, сумарний рівень шуму склав допустиме значення 19 дБ.

Значення відношення розрахованого значення k_s першого проекту до розрахованого значення k_s другого проекту складає

$$\frac{k_{s1}}{k_{s2}} = \frac{0,86}{0,87} = 0,988,$$

що є доволі близьким до одиниці за причиною того, що не було внесено доволі важливих кардинальних змін. Природа зміни значення цього відношення, орієнтуючись на значення, які представлені у табл. 7, лежить у зміні звукопоглинаючих матеріалів на стені та лівій бічній стіні приміщення.

Слід відмітити, що завдяки зміні звукопоглинаючих матеріалів на стелі та бічній стіні значення L_n змінилися, що помітно під час порівняння табл. 3.7 та табл. 3.13.

ВИСНОВКИ

В першому розділі були проаналізовані три теоретичні позиції щодо звукових процесів у приміщенні: статистична теорія, геометрична (променева) теорія та хвильова теорія. Були описані особливості звукового поля домашнього кінотеатру, проаналізована електроакустична апаратура домашнього кінотеатру та вказаний процес побудови площадок перших та других відбиттів.

У другому розділі був проведений аналіз звукопоглинаючих матеріалів, які використовуються при створенні акустичних проектів, та вказані особливості при побудові домашніх кінотеатрів.

У третьому розділі були проведені розрахунки двох приміщень домашнього кінотеатру. Першим акустичним проектом було заглушене приміщення зі значенням сумарного рівню шуму 9 дБ, а час реверберації при частоті $f = 500$ Гц склав 0,3 с. Другим акустичним проектом було приміщення для домашнього кінотеатру з акустичним полем залу, значення сумарного рівню шуму якого склало 19 дБ, що є допустимим порівняно з суспільними закладами у нічний час, а час реверберації при частоті $f = 500$ Гц склав 0.5 с.

Вибір варіанту приміщення залежить від вибору системи озвучування. При чому, зниження часу реверберації досягається простими методами. У випадку роботи з простими системами, можна використовувати акустичний зал. Якщо вибір зупинився на складній акустичній системі з великою кількістю гучномовців, де акустичне поле утворюється системою, то нам необхідно створити більш заглушене приміщення. Це можна зробити за допомогою вибору матеріалів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. – Москва: Стройиздат., 1986. – 173 с.: ил.
2. Беляев С. В. Акустика помещений. – Ленинград; Москва: Государственное научно-техническое издательство строительной индустрии и судостроения, 1933. – 132 с.
3. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. – С.-П.: Композитор, 2006.- 719 с.
4. Электроакустика и звуковое вещание / под ред. Ю.А. Ковалгин. – М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. – 872 с.
5. Луньова С.А., Дідковський В.С. Основи архітектурної та фізіологічної акустики.-К.: Постприм, 2001. – 420 с.
6. Набокова Я.С. Эффективные строительные материалы и способы возведения зданий // Инженерный вестник Дона, 2008, №4.
7. Кочкин А.А. Шашкова Л.Э. О повышении звукоизоляции ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. №3. – 199с.
8. Лунева С. А. Акустическое оформление домашних кинотеатров / С. А. Лунева, А. В. Ворона, А. И. Орланова. // ТВ-технологии. 2010. – №2.
9. Савинов В. Кино без билета // Stereo & Video. 1997. – №3
10. Виды инсталляций домашних кинотеатров [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <https://karma.digital>
11. Создание домашнего кинотеатра [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <https://echoslayer.ru>
12. Хороший вопрос: Как выбрать комнату для кинотеатра [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <https://www.houzz.ru>
13. Изоляционные материалы [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <http://strport.ru>
14. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи «Акустичний проект приміщення» з курсу «Архітектурна акустика» / Укл: Луньова С.А., Богданов О.В., Заєць В.П. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 48 с

15. Акустика: Учебник вузов / Ш.Я. Вахитов, Ю. А. Ковалгин, А. А. Фадеев, Ю. П. Щевьев; Под ред. профессора Ю. А. Ковалгина. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. – 660 с.:ил.