

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

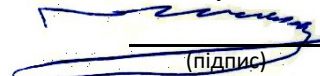
Факультет електроніки

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

УДК 621.3

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Найда С.А.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 16 ” грудня 2021
р.

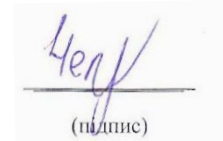
Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка

на тему: Акустичний проєкт Івано-Франківського академічного обласного музично-драматичного театру імені Івана Франка

Виконав: студент 2 курсу, групи ДГ-01мп

Чепіль Олексій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)


Керівник доц. к.т.н. доц. Богданов О. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Рецензент Головний інженер Acoustic Group Ukraine
Євгеній Володимирович Фрідліб

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

Студент 
(підпис)

Київ — 2021 року

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

Факультет електроніки

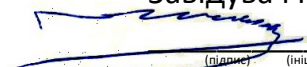
Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

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

Спеціальність 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 С. А. Найда
(підпис) (ініціали, прізвище)

«_1_»_вересня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Чепілю Олексію Володимировичу

1. Тема дисертації «Акустичний проєкт Івано-Франківського академічного обласного музично-драматичного театру імені Івана Франка»

науковий керівник дисертації Богданов Олексій Вікторович, доц. к.т.н.

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2021 р. №3666-с

2. Строк подання студентом дисертації 06 грудня 2021 р.

3. Об'єкт дослідження: Процес створення звукового поля, необхідного для забезпечення високої розбірливості мови

4. Предмет дослідження (Вихідні дані — для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Акустичні характеристики приміщення, параметри акустичної системи

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Опрацювати наукові джерела та державні стандарти з обраної теми, дослідити акустичні характеристики приміщення; дослідити необхідний рівень звукового тиску; дослідити розбірливість мови методом оцінки за коефіцієнтом STI, спроектувати акустичну систему.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 3D модель приміщення, графік нерівномірності звукового тиску, графік рівня звукового тиску в приміщенні, графік коефіцієнту розбірливості мови STI

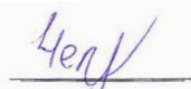
7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Дата видачі завдання 01 лютого 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Складання плану дисертації	02.2021 - 03.2021	виконано
2	Збір джерел інформації та їх огляд	04.2021 - 05.2021	виконано
3	Систематизація інформації	06.2021 — 07.2021	виконано
4	Виконання розрахункової частини	08.2021 — 09.2021	виконано
5	Проектування акустичної системи	09.2021 - 10.2021	виконано
6	Підведення підсумків та оформлення	10.2021 - 11.2021	виконано
7	Здача роботи	12.2021	виконано

Студент



(підпис)

О. В.Чепіль

Науковий керівник дисертації

О. В. Богданов

РЕФЕРАТ

Чепіль О. В. Акустичний проєкт Івано-Франківського академічного обласного музично-драматичного театру імені Івана Франка. : магістерська дис. : 171 Електроніка. / Чепіль Олексій Володимирович. — Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. — 77 с.

Актуальність теми: Більшість сучасних державних культурних закладів України не мають звукового оснащення, що відповідає світовим стандартам, зокрема щодо розбірливості мови. Івано-Франківський драмтеатр — не виключення, — він потребує комплексного акустичного проєктування приміщення.

Метою дослідження є створення проєкту акустичної системи, що забезпечує характеристики звукового поля, які відповідають європейським та світовим стандартам.

Об'єкт дослідження: Процес створення звукового поля, необхідного для забезпечення високої розбірливості мови.

Методи дослідження: Акустичний розрахунок основних характеристик приміщення, побудова 3-D моделі приміщення, підбір звукового обладнання, розрахунок характеристик звукового поля, розробка комутації обладнання.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні акустичного проєкту для Івано-Франківського обласного драматичного театру для подальшого фінансування та реалізації системи звукопідсилення.

Ключові слова: акустичний проєкт, звукопоглинання, акустичне обладнання, комутація, нерівномірність звукового поля, рівень звукового тиску сумарного звукового поля, розбірливість мови.

ABSTRACT

Chepil O. V. Acoustic project of Ivano-Frankivsk Academic Regional Music and Drama Theater named after Ivan Franko : Master's thesis : 171 Electronics. / Chepil Oleksii Volodymyrovych. — Kyiv, Igor Sikorsky KPI, 2021. — 77 p.

Relevance of the study: The majority of Ukrainian national cultural institutions are not equipped with sound equipment, which would meet European and world standards. Ivano-Frankivsk Regional Academic Music-Drama Theater is not an exception — this theater requires a complex acoustic project.

The purpose of research is to create a sound system project that would assure the characteristics of the sound field that meet European and world standards.

The object of research is the process of creating the sound field necessary for ensuring high intelligibility of language.

Research methods: acoustic calculation of the main characteristics of the room, building the 3-D model of the room, selection of sound equipment, calculation of characteristics of the sound field, equipment wiring development.

Practical significance of the obtained results is the creation of an acoustic project for the Ivano-Frankivsk Regional Drama Theater for further funding and implementation of the sound amplification system.

Keywords: acoustic project, sound absorption, acoustic equipment, equipment wiring, sound field standard deviation, sound pressure level of total sound field, speech intelligibility.

ЗМІСТ

1. ВСТУП		8
1.1	81.1 Проблематика дослідження	8
1.2	Основні цілі проектування	9
1.3	Приклади оснащення західних театрів	10
2. МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ	142.1 Акустичні характеристики приміщення та методи їх досліджень	14
2.2	Звукоізоляція приміщення	16
2.3	Метод розрахунку акустичного поля	17
2.4	Критерії якості звучання	19
2.5	Програмне забезпечення	21
2.6	Підбір акустичних систем	21
2.7	Підбір додаткового обладнання	25
2.7.1	Підсилювачі потужності	25
2.7.2	Сценічні монітори	31
2.7.3.	Мікшерний пульт, студійні монітори та стейджбокс	32
2.7.4	Мікрофони та додаткове обладнання	35
2.7.5.	Звуковий процесор та обладнання для цифрової передачі даних	37
2.7.6.	Загальний список обладнання	39
3. РЕЗУЛЬТАТИ	433.1 Параметри приміщення театру	41
3.2	Загальне поглинання	42
3.3	Звукоізоляція приміщення	44
3.4	Побудова 3-D моделі приміщення	45
3.5	Пряме звукове поле	49
3.6	Сумарне звукове поле	52
3.7	Параметри розбірливості мови	55
3.8	Комутація обладнання	58
3.8.1	Підключення акустичних систем	59

3.8.2	Комутація підсилювачів	61
3.8.3	Комутація звукового процесора	63
3.8.4	Комутація мікшерного пульта та стейджбоксу	63
3.8.5	Схема підключення мікрофонних систем	65
3.8.6	Електротехнічний розрахунок	66
4. ОБГОВОРЕННЯ	704.1 Аналіз акустичного розрахунку приміщення	68
4.2	Аналіз розрахунку звукового поля	69
4.3	Наслідки після реалізації проєкту	72
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ	775.1 Актуальність проєкту та проблеми, що він вирішує	74
5.2	Аналіз ринку	74
5.3	Споживачі, ціннісна пропозиція	75
5.4	Можливі ризики	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	79 ДОДАТКИ	79

1. ВСТУП

1.1 Проблематика дослідження

Театр, як окремий вид сценічного мистецтва, відображає життя в сценічній дії, яку виконують актори перед глядачами [1]. З плином часу, театр, як і все світове сценічне мистецтво постійно еволюціонує. До нього додаються нові елементи, спецефекти, змінюється підхід до постановок вистави, створюються нові способи для того, щоб якомога більше здивувати глядача.

З еволюцією технологій відбувалася й еволюція театральних вистав, зокрема і музичного супроводу. Зі середини ХХ ст. для аудіовізуалізації вистав у театрах почали застосовуватися системи звукопідсилення на додаток до існуючих століттями театральними оркестрами. В західних країнах до початку ХХІ ст. практично усі театри вже були оснащеними тими, чи іншими системами звукопідсилення, які у ХХІ ст. оновлювалися.

Станом на сьогодні, Івано-Франківський національний академічний обласний музично-драматичний театр імені Івана Франка, як і більшість театрів України, не має системи звукопідсилювання, яка б виконувала сучасні вимоги щодо звукового супроводу вистав. Потужними аудіосистемами, які забезпечують необхідне покриття звуком глядацького залу, рівень звукового тиску та розбірливість оснащені лише одиниці театрів України.

Лише зараз вирішення даної проблеми якось зрушилося з місця. Держава починає поступово виділяти кошти на сучасне оснащення театрів. З часом з'являються й нові компанії, що мають кваліфікованих спеціалістів, мають змогу здійснити проектування систем звукопідсилення та використовують сучасні інструменти для цього.

Івано-Франківський музично-драматичний театр є першим на Прикарпатті професійним українським театром. Він був заснований у грудні 1939 року і сьогодні є головним театром у регіоні. Не дарма 18 лютого 2019 року указом Президента України театру надано статус національного. Сучасна тенденція удосконалення оснащення театрів України не має оминати й Франківський

драмтеатр. Відповідно, для того, щоб зачепитися за дану можливість, театр потребує комплексного акустичного проектування вже зараз.

1.2 Основні цілі проектування

Дана робота має на меті спроектувати систему звукопідсилення, яка б задовольняла сучасним вимогам. Дані вимоги перш за все досягаються гарними акустичними характеристиками приміщення, а саме необхідним акустичним поглинанням, часом стандартної реверберації, звукоізоляцією приміщення.

Відповідно серед цілей можна, в першу чергу, виокремити розрахунок акустичних характеристик, що забезпечують комфортне прослуховування аудіосупроводу вистав, інакше кажучи акустичний комфорт.

Вищевказані розрахунки допоможуть досягти вимог для систем звукопідсилення. Серед вимог, зокрема, існують вимоги щодо нерівномірності звукового поля, рівня сумарного звукового поля та розбірливості мови.

Говорячи про вимоги щодо перших двох критеріїв (нерівномірність та рівень сумарного звукового поля), дослідження наведені в даному проєкті орієнтуються на роботу М.А. Сапожкова [2]. В табл. 1.1 наведені оптимальні значення параметрів звукового поля.

Таблиця 1.1 – Оптимальні значення параметрів звукового поля, дБ

Призначення установки	Номинальний рівень	Нерівномірність озвучування	Максимальне акустичне відношення
Відтворення музики та театральних ефектів	100	6	8 — 10
Відтворення музичних програм; підсилення солістів	94 — 96	6	8 — 10
Відтворення розважальних музичних програм (танці); музики та мови в шумних приміщеннях	94 — 96	8	4 — 6
Підсилення мови при низьких рівнях шуму	80 — 86	6	4 — 6
Створення музичного фону	60 — 70	8	8 — 10

Для визначення розбірливості мови та окреслення вимог щодо неї використовувався індекс передачі мови STI, мова про який йтиметься в наступному розділі.

1.3 Приклади оснащення західних театрів

У розвинених країнах проблеми, що постають в даній роботі, практично не мають місця. Абсолютна більшість театрів Європи, США, Японії, Австралії та інших країн обладнанні найновішим та найбільш технологічним оснащенням. Це стосується і акустичних систем, і способів передачі даних, і різноманітних підсилювачів, звукових процесорів, мікшерних пультів, тощо.

Більшість великих театрів обладнанні підвісними групами ідентичних акустичних систем. Такі конфігурації акустичних систем називаються лінійні масиви. Вони забезпечують перш за все покриття звуком усього глядацького залу та забезпечення високого рівня звукового тиску в приміщенні.



Рисунок 1.1 – Лінійний масив

Кількість масивів, кількість елементів в масивах, їх потужність та геометричне розташування залежать від розміру та конфігурації приміщення. У дуже великих театрах зі складною конфігурацією, на кшталт Театру Ванг (Wang Theatre) в американському Бостоні, встановлюються декілька лінійних масивів.



Рисунок 1.2 – Театр Ванг (Wang Theatre), Бостон, США

Іншим прикладом великого театру з декількома лінійними масивами є театр «Домініон», що знаходиться у Лондоні. За рахунок широкої форми глядацької зали тут застосовано чотири лінійних масиви, що покривають усю ширину зали.



Рисунок 1.3 – Театр «Домініон» (Dominion Theatre),
Лондон, Великобританія

Майданчики з менш складними конфігураціями глядацьких зал зазвичай обходяться двома лінійними масивами, що розташовані по боках сцени та працюють у стерео режимі. Гарним прикладом є оперний театр «Мадленіанум» в Белграді, один з найбільш значимих театрів південно-східної Європи. Форма даного залу подібна до Франківського драмтеатру. Тут два лінійних масиви розташовані перед порталньою аркою зліва та справа.



Рисунок 1.4 – Оперний театр «Мадленіанум» (Madlenianum Opera and Theatre), Белград, Сербія



Рисунок 1.5 – Івано-Франківський національний академічний обласний
музично-драматичний театр, Київ

Вітчизняний драматичний театр ім. Івана Франка також оснащений двома лінійними масивами. У зв'язку з тим, що в залі три яруси балконів, лінійні масиви містять велику кількість елементів. Таким чином вони забезпечують великий вертикальний кут покриття звуком.

Окрім лінійних масивів обов'язковому застосуванню підлягають й масиви сабвуферів. Вони можуть бути як навісними (Театр «Домініон», Оперний театр «Мадленіанум»), так і можуть розташовуватися на підлозі сцени під масивами. (Театр Ванг, драматичний театр ім. Івана Франка). Розташування масивів сабвуферів на підлозі в іноземній літературі називають граунд стек (англ. *ground stack* — підлоговий стек). Сабвуфери необхідні для забезпечення низькочастотних компонентів аудіо супроводу, які не можуть забезпечити лінійні масиви.

2. МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Акустичні характеристики приміщення та методи їх досліджень

Внаслідок розвитку архітектурної акустики як науки сформувалося три методи дослідження звукового поля в приміщенні — статичний, геометричний та хвильовий. При вирішенні задач будівельно-акустичного проектування в більшості випадків користуються методами статистичної і геометричної теорії.

Для дослідження оптимального часу реверберації, стандартного часу реверберації та поглинання були використані основні засади статистичного методу. Статистичний метод описання звукових полів оперує середніми значеннями густини звукової енергії в приміщенні і не претендує на визначення тисків і коливальних швидкостей в окремих його точках [3].

Оптимальний час реверберації розраховувався з допомогою формули Лівшеца для театрів [3]:

$$T_{opt} = 0.4 \lg V - 0.15,$$

де V — об'єм приміщення.

Визначення даного параметру актуальне лише для частоти 500 Гц. Для визначення оптимального часу реверберації на інших частотах використовують частотну характеристику T_{opt} за Кнудсеном [4]:

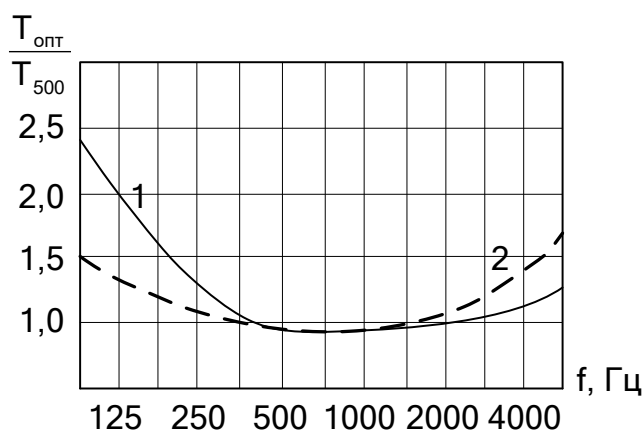


Рисунок 2.1 – Частотна характеристика оптимального часу реверберації за Кнудсеном. 1 –музика; 2 — мова

Розрахунок загального поглинання здійснюється шляхом знаходження фонду поглинання за наступною формулою [5]:

$$A_{\text{погр}} = S_{\Sigma} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{V}{S_{\Sigma}} \left(4\mu - \frac{0,164}{T_{\text{онм}}} \right) \right] \right\}.$$

В даній формулі S_{Σ} - сумарна площа оточуючих поверхонь приміщення, μ — коефіцієнт затухання звуку в повітрі, який визначають за графіком, показаним на рис. 2.2; T — стандартний час реверберації. При цьому вологість повітря приймають 60-70%.

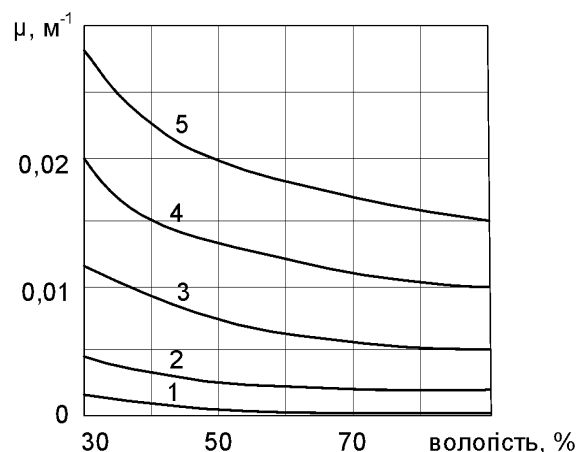


Рисунок 2.2 – Залежність коефіцієнту затухання звуку в повітрі від вологості

[5]. 1 — 1024 Гц; 2 — 2048 Гц; 3 — 600 Гц; 5 — 8192 Гц.

Для частот нижче 2000 Гц затуханням звуку зазвичай нехтують.

Розрахунок стандартного часу реверберації витікає з формули :

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

Основою досліджень в геометричній акустиці є побудова відбиттів звукових хвиль від поверхонь, завдяки яким можна побачити напрямок поширення звукової хвилі. Геометричний метод дослідження звукового поля в даній використовується при програмному розрахунку характеристики полів, тобто даним методом оперує програмне забезпечення. Програма розраховує траєкторії звукових променів від джерела звуку до поверхонь приміщення і, на основі них,

будує картини відбитих променів, які дозволяють побачити рівномірність розподілу звукової енергії в приміщенні і обчислити час запізнення одного відбиття відносно іншого.

2.2 Звукоізоляція приміщення

Серед розрахунку акустичних характеристик приміщення виділяють зокрема і звукоізоляцію приміщення. Під терміном «звукоізоляція» розуміють захист приміщень від проникнення в них звукових завад або шумів.

Джерела шумів, як і самі шуми, можуть бути різноманітними. Шуми бувають тривалими широкополосними, тривалими з певним частотним спектром, короткочасними, шуми, що викликані зовнішніми механічними струсами елементів будівель, тощо. Вони можуть проникати у приміщення шляхом повітряного переносу, через товщі перегородок, виникаючи і поширюючись у твердих тілах.

Для того, щоб розрахувати фактичний рівень шуму в приміщенні, користуються наступною формулою [5]:

$$L_{\phi} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^N S_i \cdot 10^{0.1(L_i - \sigma_i)} \right) - 10 \lg A,$$

де S_i — площі перегородок (або окремих їх ділянок), що відділяє i -те джерело шуму від приміщення; σ_i — власна звукоізоляція відповідних ділянок, L_i — рівень i -того джерела шуму; A — фонд поглинання у приміщенні. Значення L_i та σ_i є довідниковими.

Головна задача звукоізоляції приміщення — приведення фактичного рівня шуму до значення, менше за значення припустимого рівня шуму L_n , тобто має виконуватися нерівність $L_{\phi} < L_n$. Значення припустимого рівня шуму також є довідниковим та залежить від призначення приміщення. В Таблиця . 2.1 наведені значення допустимого рівня шуму для основних типів приміщень [5].

Таблиця. 2.1 – Припустимі рівні шумів для різних приміщень

Назва приміщення	Рівень шуму, дБ
Суспільні заклади	40
Лекційні зали	40
Театральні зали	30
Кінопроекційні апаратні	45
Глядацькі зали кінотеатрів	30-35
Ательє для запису музики	20-25
Ательє для запису мовлення	20-25
Апаратна звукозапису зі слуховим контролем	40
Велика і мала телестудії	30
Концертні радіомовні студії	25

2.3 Метод розрахунку акустичного поля

При проектуванні систем озвучування та звукопідсилення необхідно проводити розрахунки акустичного поля приміщення. Дані розрахунки необхідні для того, щоб проаналізувати чи буде запроєктована акустична система забезпечувати прийнятне звучання та чи буде виконувати перелік вимог, що були вже згадані в попередньому розділі.

У сучасному проектуванні систем озвучування та звукопідсилення при розрахунку акустичного поля аналізуються такі його параметри, як нерівномірність звукового поля, сумарний рівень звукового поля та параметри розбірливості.

Нерівномірність звукового поля, як було вже згадано у попередніх підрозділах, є різницею максимального та мінімального рівнів прямого звуку, що створюється системою озвучування. Відповідно, для визначення нерівномірності звукового поля необхідно провести розрахунки прямого звукового поля у приміщенні.

Пряма складова сумарного звукового поля визначається сумою рівнів кожного випромінювача [6]:

$$L_{np} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i},$$

де L_i — рівень звуку, що створюється кожним i -м випромінювачем та визначається наступним чином:

$$L_i = SPL + 10 \lg \frac{D^2(\theta_{ik}, \varphi_{ik})}{r_{ik}^2},$$

де SPL — рівень звуку, що створюється випромінювачем на відстані 1 м; $D(\theta_{ik}, \varphi_{ik})$ - характеристика спрямованості випромінювача, r_{ik}^2 — відстань між акустичним центром i -го випромінювача та k -ою точкою спостереження.

Сумарне звукове поле містить в собі пряму L_{np} та дифузну L_d складові. Визначається ж воно за наступною формулою:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0.1L_{np} + 0.1L_d}).$$

Дифузна складова визначається наступним чином:

$$L_d = 10 \lg(1 + N),$$

де N — акустичне відношення, що розраховується наступним чином:

$$N = \frac{16\pi r^2(1 - \alpha_{\text{сеп}})}{\alpha_{\text{сеп}} S_{\Sigma} \Omega_{\text{в}} D_{\text{в}}^2(\varphi, \vartheta)}.$$

В вищенаведеній формулі r — відстань між джерелом звуку та приймачем; $\alpha_{\text{сеп}}$ - середній коефіцієнт поглинання, S_{Σ} — загальна площа огорожуючих поверхонь; $\Omega_{\text{в}}$ — коефіцієнт вісьової концентрації випромінювача; $D_{\text{в}}(\varphi, \vartheta)$, — характеристика спрямованості випромінювача.

Як було зазначено раніше, оптимальні значення параметрів звукового поля залежать зокрема від типу програм, що проводяться у приміщенні. Так, наприклад, для музичних програм необхідний більший рівень звукового поля, аніж для мовних програм. Проте, наприклад, нерівномірність є досить

стандартизованою величиною та бажане її значення є однаковим для більшості випадків.

Інша ситуація існує з параметрами розбірливості, мова про які йде у наступному підрозділі.

2.4 Критерії якості звучання

Очевидно, що суб'єктивні параметри якості звучання мови (відсоток артикуляції) та музики (лункість, повнота звуку, теплота, яскравість, тощо) неможливо оцінити аналітично. Ці параметри визначаються суто суб'єктивною оцінкою слухачів.

Тому існують такі критерії якості звучання, які, на відміну від вищезгаданих, можливо визначити на етапі проектування або перепроєктування приміщення. Дані критерії базуються на понятті ранніх відбиттів. Відомо, що відбиття, які приходять до слухача через 50 мс після прямого сигналу сприяють підвищенню розбірливості мови. Для музичних програм корисною вважається енергія, що прийшла у перші 80 мс. На основі цих міркувань були введені такі критерії, як чіткість звучання (для мови) та ясність звучання (для музики) [3].

В свою чергу основним параметром розбірливості мови, на який опираються закордоном є індекс передачі мовлення STI (Speech Transmission Index). Значення STI варіюється від 0 (повністю незрозумілий) до 1 (ідеальна розбірливість).

При розрахунку параметру мова моделюється спеціальним тестовим сигналом з характеристиками, подібними до мовлення. Дотримуючись концепції, що мова може бути описана як основна форма сигналу, яка модулюється низькочастотними сигналами, STI використовує складну схему амплітудної модуляції для генерування тестового сигналу. На приймальному кінці системи зв'язку глибина модуляції прийнятого сигналу порівнюється з глибиною модуляції тестового сигналу в кожній із кількох смуг частот. Зменшення глибини модуляції пов'язане з втратою розбірливості.

Розбірливість мови розраховується програмно, за допомогою спеціального програмного забезпечення. Цим самим програмним забезпеченням розраховуються і характеристики акустичного поля в приміщенні.

Відповідність приміщення критеріям розбірливості мови за індексом STI визначається міжнародним стандартом IEC 60268-16 [7]. Згідно даного стандарту приміщення діляться на категорії згідно значень індексу передачі мови, що проілюстровано в табл. 2.2.

Таблиця . 2.2 – Класифікація приміщень за індексом розбірливості мови STI згідно стандарту IEC 60268-16 [7]

Клас приміщення	Діапазон STI	Тип повідомлення	Приклади	Коментарі
A+	>0,76		Студія звукозапису	Відмінна розбірливість, рідко досяжна в більшості приміщень
A / B	0,74 / 0,7	Складні повідомлення, незнайомі слова	Театри, лекторські аудиторії, парламент, суди	Висока розбірливість мови
C	0,66	Складні повідомлення, незнайомі слова	Театри, лекторські аудиторії, парламент, суди зали для телеконференцій	Висока розбірливість мови
D	0,62	Складні повідомлення, знайомі слова	Театри, лекторські аудиторії, класні кімнати, концертні зали	Висока розбірливість мови
E	0,58	Складні повідомлення, знайомі слова	Концертні зали, сучасні церкви	РА система вищої якості
F	0,54	Складні повідомлення, знайомі слова	РА в торгових центрах, станціях, вокзалах, офісах, системи оповіщення	РА система гарної якості
G	0,5	Складні повідомлення, знайомі слова	РА в торгових центрах, станціях, вокзалах, офісах, системи оповіщення	Цільове значення для системи оповіщення
H	0,46	Прості повідомлення, знайомі слова	Системи оповіщення та РА системи у складних акустичних умовах	Мінімальний ліміт для системи оповіщення
I	0,42	Прості повідомлення, знайомі слова	Системи оповіщення та РА системи у дуже складних акустичних умовах	Не можна використовувати в якості РА систем та систем оповіщення
J	0,38		Не прийнятно для РА систем	Не можна використовувати в якості РА систем та систем оповіщення
U	<0,36		Не прийнятно для РА систем	Не можна використовувати в якості РА систем та систем оповіщення

2.5 Програмне забезпечення

Побудова 3-D моделі для даного проєкту виконувалася за допомогою програмного забезпечення SketchUp. Дане ПЗ є одним з найзручніших інструментів для побудови 3-D моделей приміщення, а також за допомогою спеціального плагіну воно дає змогу задавати коефіцієнти поглинання для оточуючих поверхонь.

Найпопулярнішою та найбільш функціональною програмою для підбору акустичних систем та розрахунку акустичного поля є EASE Focus. В даному програмному забезпеченні присутній найбільший перелік акустичних систем і воно має найширші можливості з-поміж конкурентів.

Проте серйозним недоліком цієї програми є її складність та дуже велика тривалість розрахунків, що значно затримує проєктування. В даній роботі для виконання задач з розрахунку звукового поля та підбору обладнання використовувалось програмне забезпечення Modeler. Ця програма є набагато більш наочною та простішою у використанні аніж EASE, а також вона легко інтегрується зі SketchUp.

2.6 Підбір акустичних систем

Перед початком підбору варто пам'ятати про те, що акустична система має забезпечувати необхідний рівень звукового тиску та розбірливість, що відповідає стандарту IEC60268-16.

Як було сказано раніше, для великих площадок, таких як театр, в якості акустичної системи застосовують лінійні масиви з групи гучномовців. Вони необхідні для покриття великої кількості площі та забезпечення достатнього рівня звукового тиску. Також для покриття приміщення низькочастотним діапазоном звуку необхідне застосування масивів сабвуферів. В даному проєкті ці масиви розташовані на підлозі для створення додаткових низькочастотних відбиттів звуку від підлоги, які підвищують сумарний рівень звукового поля.

Точки розміщення акустичних систем визначають шляхом підбору та аналізом поля прямого звуку, що будується одразу після зміни розташування акустичної системи, кута її повороту, тощо.

Як вже було зазначено в першому розділі, в театрах зазвичай застосовуються лінійні масиви гучномовців, що доповнюються стеками із сабвуферів. Для даного приміщення використання масиву з більш ніж 4-ма елементами на кожную сторону буде недоречно у зв'язку з надлишковою потужністю. Через ту ж причину варто також обмежити кількість сабвуферів до двох з кожної сторони.

Враховуючи вищевказані міркування пропонується наступна конфігурація акустичної системи від виробника BOSE:

- два лінійних масиви по 4 елементи в кожному масиви: 2 елементи BOSE ShowMatch SM10 (кути розкриття 10° по вертикалі та 100° по горизонталі), по одному елементу BOSE ShowMatch SM5 (кути розкриття 5° по вертикалі та 70° по горизонталі) та BOSE ShowMatch SM20 (кути розкриття 20° по вертикалі та 120° по горизонталі); висота підвісу масивів — 6,4 м; кути повороту масивів — 6,5° по вертикалі, 20° по горизонталі;
- два масиви сабвуферів з 2 елементів в кожному масиві: BOSE SMS118;
- чотири фронтфіли BOSE AMU208.

Вибір акустики компанії BOSE пов'язаний з тим, що ця компанія пропонує комплексні рішення для різноманітних задач. Окрім акустичних систем, вона є виробником різноманітних звукових процесорів, підсилювачів потужності, аудіоматриць, що дає змогу конфігурувати усю систему звукопідсилення в найрізноманітніших варіаціях та, при цьому, забезпечувати широкий функціонал. Акустичними системи даної компанії обладнанні зокрема Театр Ванг та Бостонська опера.

Для озвучення перших рядів партеру до застосування пропонуються чотири гучномовці-фронтфіли, що розташовуються на підлозі сцени та направлені до глядачів.

Frequency Range (-10 dB)

70 Hz to 16 kHz

Frequency Response (+/-3 dB)

80 Hz to 16 kHz

Power Handling, long-term continuous

300 W

Nominal Coverage Pattern (H x V)

90° x 60°

Sensitivity

94 db Free Field

Power Handling, peak

1200W



Рисунок 2.3 – Характеристики BOSE AMU208

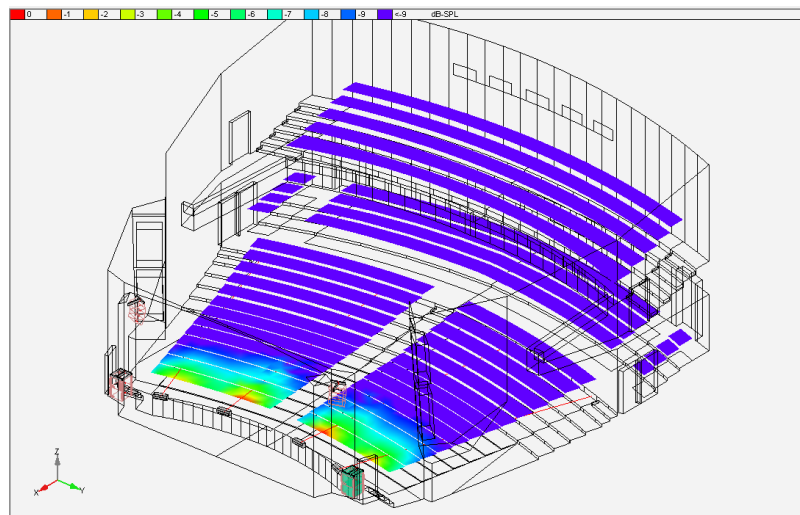


Рисунок 2.4 – Покриття прямого звуку фронтфілами

Лінійний масив складається з елементів виробництва компанії BOSE, та який є запатентованою технологією ShowMatch DeltaQ. У лінійному масиві найнижчим є елемент SM20 з широким кутом розкриву по горизонталі, який покликаний забезпечити покриття середніх рядів партеру. Елементи вище є більш вузьконаправленими та мають на меті озвучити віддалені ділянки партеру, а також балкон.



ShowMatch™ DeltaQ™ array loudspeaker

Frequency Response (-3 dB)

69 Hz - 16 kHz

Frequency Range (-10 dB)

59 Hz - 18 kHz

Nominal Coverage Pattern (H x V)

100° H x 20° V (includes waveguides for 70° H x 20° V)

Long-Term Power Handling

Low Frequency: 450 W (1800 W peak)

High Frequency: 100 W (400 W peak)

Sensitivity (SPL / 1 W @ 1 m)

Low Frequency: 94 dB

High Frequency: 105 dB

Maximum SPL @ 1 m

Low Frequency: 121 dB

High Frequency: 125 dB

Calculated Maximum SPL @ 1 m, peak

Low Frequency: 127 dB

High Frequency: 131 dB

Рисунок 2.5 – Характеристики BOSE ShowMatch DeltaQ array

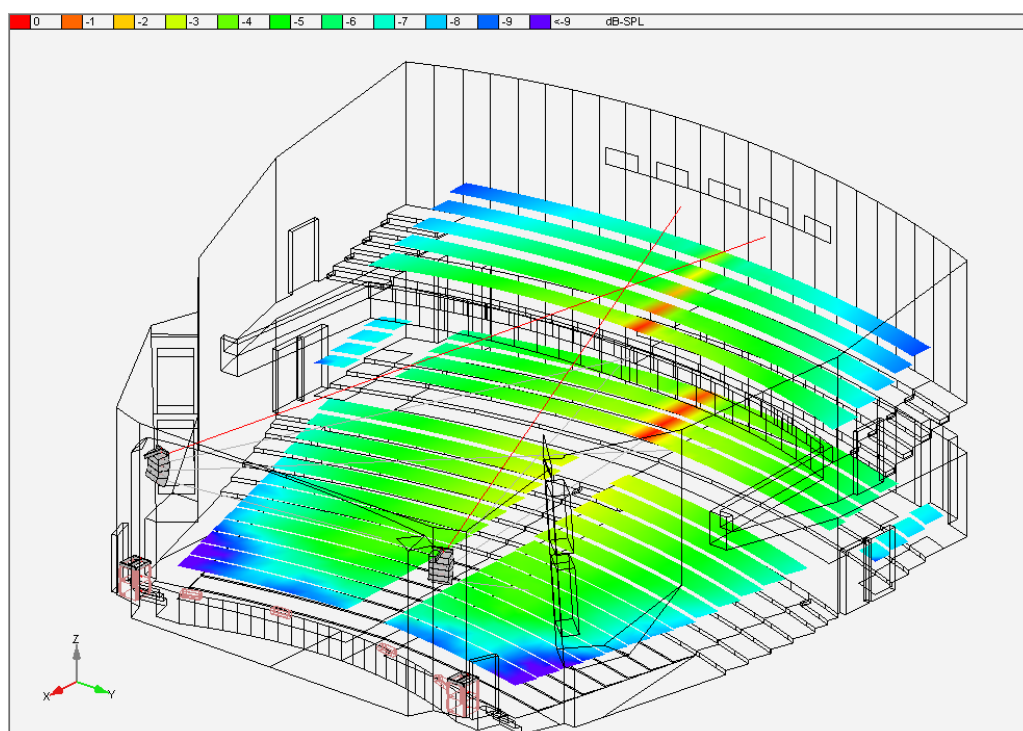


Рисунок 2.6 – Покриття лінійними масивами прямим звуком

Як бачимо вище, лінійні масиви не покривають перші декілька рядів партеру. Цю проблему можна вирішити додатковими елементами, проте це економічно не вигідно. Саме тому пропонуються фронтфіли, які були описані раніше.

2.7 Підбір додаткового обладнання

Великі складні акустичні інсталяції не можуть існувати без підсилювачів потужності, мікшерних пультів, процесорів, матриць і т.д. Даний проєкт не виключення і потребує застосування додаткового звукового обладнання, мова про яке піде далі.

2.7.1 Підсилювачі потужності

Перш за все необхідно визначитися з підсилювачами потужності. Для цього необхідно визначити потужність акустичних систем. Потужність каналу підсилювача завжди має бути більшою за потужність акустичної системи підключеної на нього. Варто зазначити, що для визначення необхідної потужності потрібної для підсилення акустичних систем варто брати також звертати увагу на пікову потужність, для того, щоб мати запас потужності підсилювача. Для пошуку необхідних даних звернемося до технічної документації.

Technical Specifications

SINGLE MODULE PERFORMANCE				
Frequency Response (+ / -3 dB) ⁽¹⁾	69 - 16,000 Hz			
Frequency Range (-10 dB)	59 - 18,000 Hz			
Recommended High-Pass Protection Filter	70 Hz with minimum 12-dB / octave filter			
Nominal Coverage Pattern	100° H x 10° V (includes waveguides for 70° H x 10° V)			
Recommended Crossover	750 Hz (acoustic; requires active, 2-way crossover in DSP)			
	Bose extended-lifecycle test ⁽⁴⁾		AES transducer test ⁽⁵⁾	
	Low Frequency	High Frequency	Low Frequency	High Frequency
Power Handling, long-term continuous	450 W	100 W	600 W	125 W
Power Handling, peak	1800 W	400 W	2400 W	500 W
Sensitivity (SPL/ 1W @ 1 m) ⁽²⁾	94 dB	106 dB	94 dB	106 dB
Calculated Maximum SPL @ 1 m ⁽³⁾	121 dB	126 dB	122 dB	127 dB
Calculated Maximum SPL @ 1 m, peak	127 dB	132 dB	128 dB	133 dB
TRANSDUCERS				
Low Frequency	2 x Bose SMB neodymium 8-inch woofers (3-inch voice coil)			
High Frequency	4 x Bose EMB2S extended-HF neodymium compression driver (2-inch voice coil)			
Nominal Impedance	8 ohms + 6 ohms (LF/HF)			
PHYSICAL				
Enclosure Material	Baltic birch plywood			
Finish	Two-part spray polyurethane coating, black			
Grill	16-gauge (1.5 mm) perforated steel, powder-coated finish, black			
Environmental	IPx4			
Connectors	2 x Neutrik® NL4 wired parallel			
Suspension / Mounting	integrated 3-point quick-pin rigging			
Dimensions (H x W x D)	11.1" x 31.2" x 18.3" (282 x 793 x 465 mm) / W: 29.8" (757 mm) side guards removed			
Net Weight	65.5 lbs (29.7 kg)			
Shipping Weight	75 lbs (34.0 kg)			
Accessories	rigging frames, pullback bar, waveguides, ground stack bracket, short quick pins			

Рисунок 2.7 – Технічна документація елемента масиву BOSE SM10 [8]

Елементи масивів мають НЧ динаміки — два 8-дюймові вуфери, та СЧ-ВЧ динаміки - чотири рупорні гучномовці. Потужність НЧ складової кожного елемента згідно документації становить 450 Вт (пікова 1800 Вт); СЧ-ВЧ складова —

100 Вт (пікова – 400 Вт). Відповідно НЧ та СЧ-ВЧ динаміки потребують два окремих канали (рис. 2.7).

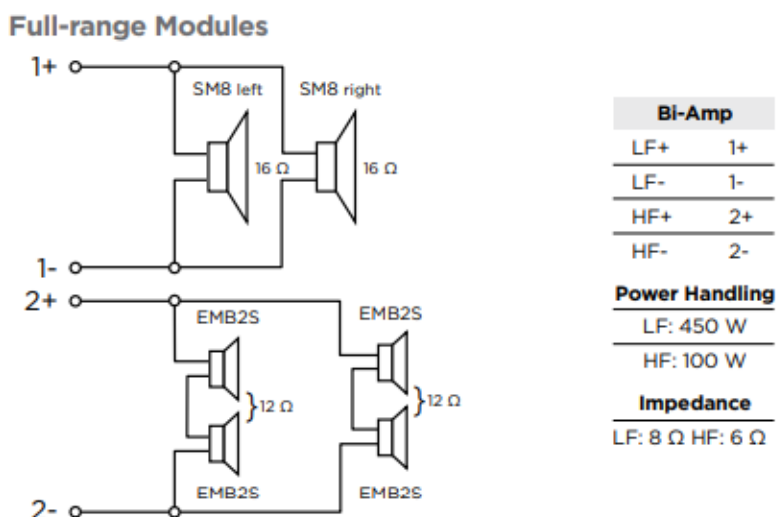


Рисунок 2.8 – Електрична схема під'єднання гучномовців елемента лінійного масиву

Також важливим параметром підбору підсилювачів є опір гучномовців. Опір на виході каналу підсилювача має бути обов'язково не більше за опір навантаження, під'єданого до нього. Дана умова необхідна для виключення утворення короткого замикання на лінії між підсилювачем та гучномовцем.

Також важливим фактором вибору підсилювача є наявність попередніх налаштувань для конкретної моделі гучномовця. Такий набір налаштувань називається пресетом. Пресети встановлюють лімітування сигналу, еквалізацію для тої чи іншої акустичної системи та обмеження потужності сигналу.

Беручи до уваги вищесказані тези оберемо підсилювач потужності для лінійних масивів. Найкращим варіантом для даної конфігурації системи звукопідсилення є підсилювач потужності Powersoft X8 Dante.



Рисунок 2.9 – Підсилювач потужності Powersoft X8 Dante

Channel Handling		AC Mains Power	
Number of output channels	8 mono bridgeable per ch. pair	Single Phase	
Number of input channels:		Nominal Voltage	100 - 240 V @ 50/60Hz
Analog	8 (8x XLR)	Operating Range	90 - 264 V from DC to 200 Hz
AES3	8 (4x XLR)	Power Factor	>0.9
Dante™*	16 (2x RJ45)	Current Draw	32 A _{rms} @100V 18 A _{rms} @240V
		1/8 Maximum Output Power ¹	
		Suggested circuit breaker	C32
		Three Phase	
		Nominal Voltage	173Y / 100 - 416Y / 240 V
			3~, 3W+N+PE / 3W+PE
		Current Drawn from Each Single Phase	12 A _{rms} @ 173Y 6 A _{rms} @ 416Y
		1/8 Maximum Output Power ¹	
		Suggested circuit breaker (per phase)	C16
		Idle Consumption (all AC MAINS cases)	< 200 W
		Max consumption (all AC MAINS cases)	< 5000 W
Output Stage			
Maximum output power per channel @ 8 Ω	1600 W		
Maximum output power per channel @ 4 Ω	3000 W		
Maximum output power per channel @ 2.7 Ω	4000 W		
Maximum output power per channel @ 2 Ω	5200 W		
Maximum output power @ 8 Ω Bridged	6000 W		
Maximum output power @ 4 Ω Bridged	10400 W		
Peak total output, all channels driven	40000 W		
Maximum unclipped output voltage	175 V _{peak}		
Maximum output current	130 A _{peak}		

Рисунок 2.10 – Технічні характеристики підсилювача [9]

Powersoft X8 має 8 каналів, кожен з яких може забезпечити потужність 1600 Вт при під'єднанні на навантаження з опором 8 Ом.

Маємо два лінійних масиви по 4 елементи в кожному масиві. Отже загалом 8 елементів масиву. Також пам'ятаємо, що для підсилення одного елементу потрібно два канали — для НЧ та СЧ-ВЧ.

Вдамося до паралельного з'єднання двох елементів масиву — ВЧ частини будуть паралельно з'єднанні між собою, СЧ-ВЧ будуть з'єднуватися між собою. Загальна потужність ВЧ при паралельному підключенні розраховуватиметься за формулою:

$$W = \sum_{n=0}^n W_n,$$

де W_n - потужність кожного окремо взятого елемента. Відповідно загальна потужність ВЧ буде становити $W = 900$ (пікова потужність 3600 Вт). Опір буде розраховуватися за формулою:

$$\frac{1}{R} = \sum_{n=0}^n \frac{1}{R_n},$$

та буде становити $R = 4$ Ом.

Відповідно потужність СЧ-ВЧ частини за формулою становитиме 200 Вт при опорі $R = 3$ Ом.

Згідно технічної документації (рис. 2.10) вихідна потужність каналу підсилювача при опорі навантаженні 4 Ом буде становити 3000 Вт, при опорі 2.7 Ом — 4000 Ом. Відповідно даний тип підключення задовольняє нашим вимогам, а саме те, що вихідна потужність каналу підсилювача є більшою за навантаження підключене на нього.

Сабвуфери моделі BOSE SMS 118 мають потужність 750 Вт (пікова потужність 3000 Вт) та опір 4 Ом (рис. 2.12).



Рисунок 2.11 — Сабвуфер Сабвуфер BOSE SMS118 [10]

Technical Specifications

SINGLE MODULE PERFORMANCE				
Frequency Response (-3 dB) (1)	32 - 250 Hz			
Frequency Range (-10 dB)	29 - 300 Hz			
Recommended High-Pass Protection Filter	30 Hz with minimum 12-dB / octave filter			
Nominal Coverage Pattern	omni with cardioid array configurations			
Recommended Crossover	60-100 Hz (requires active crossover in DSP)			
	Bose extended-lifecycle test ⁽⁴⁾		AES transducer test ⁽⁵⁾	
	Array (free field)	Ground Stack (half space)	Array (free field)	Ground Stack (half space)
Power Handling, long-term continuous	750 W	750 W	1250 W	1250 W
Power Handling, peak	3000 W	3000 W	5000 W	5000 W
Sensitivity (SPL/ 1W @ 1 m) (2)	92 dB	98 dB	92 dB	98 dB
Calculated Maximum SPL @ 1 m (3)	121 dB	127 dB	123 dB	129 dB
Calculated Maximum SPL @ 1 m, peak	127 dB	133 dB	129 dB	135 dB
TRANSDUCERS				
Low Frequency	1 x Bose LF18 neodymium 18-inch, high-excursion woofer (4.5-inch voice coil)			
Nominal Impedance	4 ohms			

Рисунок 2.12 – Технічні характеристики BOSE SMS118 [10]

Для підсилення масивів сабвуферів використовуємо 4-ьох каналний підсилювач Powersoft X4 Dante.



Рисунок 2.13 – Підсилювач потужності Powersoft X4 Dante

Channel Handling		AC Mains Power	
Number of output channels	4 mono bridgeable per ch. pair	Single Phase	
Number of input channels:		Nominal Voltage	100 - 240 V @ 50/60Hz
Analog	4 (4x XLR)	Operating Range	90 - 264 V from DC to 200 Hz
AES3	4 (2x XLR)	Power Factor	>0.9
Dante™*	16 (2x RJ45)	1/8 Maximum Output Power ¹	
		Current Draw	18 A _{rms} @100V
		1/8 Maximum Output Power ¹	9 A _{rms} @240V
		Suggested circuit breaker	C16
		Three Phase	
Maximum output power per channel @ 8 Ω	1600 W	Nominal Voltage	173Y / 100 - 416V / 240 V
Maximum output power per channel @ 4 Ω	3000 W		3~, 3W+N+PE / 3W+PE
Maximum output power per channel @ 2.7 Ω	4000 W		
Maximum output power per channel @ 2 Ω	5200 W	Current Drawn from Each Single Phase	6 A _{rms} @ 173Y
Maximum output power @ 8 Ω Bridged	6000 W	1/8 Maximum Output Power ¹	3 A _{rms} @ 416V
Maximum output power @ 4 Ω Bridged	10400 W	Suggested circuit breaker (per phase)	C10
Peak total output, all channels driven	20000 W	Idle Consumption (all AC MAINS cases)	< 100 W
Maximum unclipped output voltage	175 V _{peak}	Max consumption (all AC MAINS cases)	< 3000 W
Maximum output current	130 A _{peak}		

Рисунок 2.14 – Технічні характеристики [11]

Кожен канал даного підсилювача при опорі навантаження 4 Ом генерує вихідну потужність 3000 Вт. Як наслідок, це дає нам можливість під'єднати кожен сабвуфер на окремий канал підсилювача.

Фронтфіли моделі BOSE AMU208 характеризуються потужністю 300 Вт (при піковій потужності 1200 Вт) та опором 8 Ом.

Technical Specifications

Single Module Performance				
Frequency Response (-3 dB) ¹	80 Hz to 16 kHz			
Frequency Range (-10 dB)	70 Hz to 18 kHz			
Nominal Coverage Pattern (H × V)	90° × 60° (rotatable high-frequency horn)			
Recommended High-pass Filter	70 Hz with minimum 12-dB / octave filter			
Crossover	passive; separate bandpass filters per transducer (200 Hz and 1.2 kHz)			
70/100V transformer tap settings	70V: 5, 10, 20, 40, 80 W; 100V: 10, 20, 40, 80 W			
	Bose Extended Lifecycle Test ²		AES Transducer Test ³	
Power Handling, long-term continuous	300 W		400 W	
Power Handling, peak	1200 W		1600 W	
	Free field	Wall/Ceiling	Free field	Wall/Ceiling
Sensitivity (SPL / 1W @ 1 m) ⁴	95 dB	97 dB	95 dB	97 dB
Calculated Maximum SPL @ 1 m ⁵	120 dB	122 dB	121 dB	123 dB
Calculated Maximum SPL @ 1 m, peak	126 dB	128 dB	127 dB	129 dB

Рисунок 2.15 – Технічні характеристики BOSE AMU208 [12]

Для підсилення даних акустичних систем використаємо 8-ми каналний підсилювач BOSE PowerMatch PM8500N.



Technical Specifications

PowerRating	2 Ω	4 Ω	8 Ω	70 V	100 V
THD for Power Rating	< 0.1 %	< 0.1 %	< 0.1 %	1 %	1 %
Mono Mode	450 W	500 W	300 W	See footnote 3	See footnote 3
V-Bridge Mode	450 W ²	1000 W	1000 W	800 W	1000 W
I-Share Mode	1000 W	500 W ²	300 W ²	Not available	Not available
Quad Mode	1000 W ²	2000 W	1000 W ²	1600 W	2000 W
Maximum Rated Power	4000 W (500 W x 8 channels at 4 ohms)				
Peak Output Voltage	71 / 142 V (Mono / V-Bridge, I-Share, and Quad modes)				
Voltage Gain	36 / 42 / 36 / 42 dB (Mono / V-Bridge / I-Share / Quad modes)				

Рисунок 2.16 – Підсилювач потужності PM8500N і його технічні характеристики [13]

Бачимо, що при опорі навантаження 8 Ом вихідна потужність каналу підсилювача є рівною робочій потужності акустичної системи. Тому в даному випадку необхідно застосувати мостовий режим підключення (V-Bridge mode). Даний тип підключення полягає у тому, що акустична система під'єднується до плюсу (+) одного каналу та до мінусу (-) іншого каналу, тим самим збільшуючи вихідну потужність. Таким чином два канали підсилювача працюють як один.

Якщо поглянути на технічну документацію підсилювача (рис. 2.16), бачимо що у мостовому режимі при опорі навантаження 8 Ом він забезпечує 1000 Вт. Відповідно всі чотири фронтфіли можна під'єднати до цього підсилювача за допомогою мостового з'єднання.

2.7.2 Сценічні монітори

Сьогодні кожен великий театр чи концертна зала має бути укомплектована системами сценічного моніторингу. Для виконання задач

сценічного моніторингу були винайдені спеціальні підлогові активні акустичні системи, що мають похилу форму для передачі звуку виконавцю.

Для нашого в якості сценічних моніторів для проєкту оберемо модель dB Technologies FMX15.



Рисунок 2.17 – Сценічний монітор dB Technologies FMX15

ACOUSTICAL SPECIFICATIONS

Frequency response [- 6 dB]:	65 - 16.5 kHz [10] / 56 - 15.5 kHz [12] / 50 - 15.5 kHz [15]
Frequency response [- 10 dB]:	57 - 19 kHz [10] / 52 - 19 kHz [12] / 46 - 19 kHz [15]
Max SPL (1 m):	125 dB [10-12] / 128 dB [15]
HF:	1" (V.C.: 1") [10] / 1" (V.C.: 1.3") [12-15] -
LF:	10" - 12" - 15" (V.C.: 2")
Crossover frequency:	1800 Hz [10] - 1740 Hz [12-15]
Coverage:	60° x 90°

AMPLIFIER

Amplification class:	Class D
Amplification power (Peak)	800 W [10] - 1200 W [12-15]
Amplification power (RMS):	400 W [10] - 600 W [12-15]
Cooling technique:	Convection

Рисунок 2.18 – Технічні характеристики dB Technologies FMX15 [14]

З-поміж своїх конкурентів є достатньо недорогою і при цьому має гарні акустичні властивості, зокрема досить високу робочу та пікову потужність.

2.7.3. Мікшерний пульт, студійні монітори та стейджбокс

Невід'ємною частиною будь-якої великої інсталяції є мікшерний пульт. Він виконує маршрутизацію сигналів, змінює їх параметри та виконує моніторинг усього звукового супроводу. Основними вимогами до мікшерного пульта є:

- пульт має бути цифровим;
- повинен мати 48 вхідних каналів;
- не менше 16 AUX шин;
- не менше 32 моторизованих фейдерів;
- 16 аналогових виходів.

Враховуючи вимоги був обраний Yamaha TF5.



		TF5
Описание		
Конфигурация фейдеров		32 + 1 (Master)
Возможности микширования	Входные каналы	48 (40 mono + 2 stereo + 2 return)
	Шины Aux	20 (8 mono + 6 stereo)
	Сtereo шины	1
	Шины Sub	1
Функции входных каналов		8 DCA Groups
Входы/выходы	Входы	32 mic/line (XLR/TRS combo) + 2 stereo line (RCA pin)
	Выходы	16 (XLR)
	Слоты расширения	1
Встроенные процессоры	DSP-процессор	8 Effects + 10 GEQ

Рисунок 2.19 – Yamaha TF5 та його основні характеристики [15]



		HS8
General specifications		
Speaker type		2-way bi-amp powered studio monitor
Frequency range (-10dB)		38Hz - 30kHz
Components	LF	8" cone
	HF	1" dome
Crossover		2kHz
Output power		120W (LF:75W, HF:45W)
I/O connectors		XLR3-31 type (balanced), PHONE (balanced)
Power consumption		60W

Рисунок 2.20 – Монітори Yamaha HS8 та їх технічні характеристики [16]

Дана модель гарно зарекомендована серед звукорежисерів та виділяється широким функціоналом. Вибір також здійснювався з економічних міркувань.

Додатково, для моніторингу звукорежисером музичного супроводу вистави необхідні монітори — акустичні системи, що під'єднуються до моніторного виходу мікшерного пульта та дають змогу звукорежисерові чути те, що відбувається в глядацькому залі.

В якості цих моніторів була обрана модель Yamaha HS8. Дана модель також широко зарекомендована звукорежисерами. Ще однією перевагою є те, що вона має спільного виробника з мікшерним пультом, що робить їх спільну роботу більш якісною.

Для підключення інструментів та сценічних моніторів на сцені необхідний стейджбокс. Стейджбокс — це сценічний комутаційний блок, що спрощує підключення більшості обладнання та допомагає мінімізувати витрати на прокладання додаткових кабелів в залі.

Головним критерієм вибору стейджбоксу це його сумісність з мікшерним пультом. Стейджбокс є умовним зовнішнім блоком розширення мікшерного пульта, тому до певної моделі пульта виробник пропонує застосування того чи іншого стейджбоксу.

В нашому випадку до мікшерного пульта TF5 компанія Yamaha пропонує модель Yamaha Tio1608-D.



Рисунок 2.21 – Стейджбокс Yamaha Tio1608-D

Даний стейджбокс має 16 аналогових входів та 8 виходів. З мікшерним пультом він комутується через кабель витії пари за допомогою цифрового протоколу Dante.

2.7.4 Мікрофони та додаткове обладнання

Театр також має бути оснащеним достатньою кількістю мікрофонних систем. Найбільш зручними не інструментальними мікрофонами є бездротові мікрофонні системи. Зручні вони тим, що актору не заважають кабелі, що йдуть від мікрофону. Натомість на акторові закріплений передавач, що передає сигнал на віддалену мікрофонну базу. Сама ж база вже під'єднується до мікшерного пульта.

Дані радіомікрофонні системи оснащуються різними типами мікрофонів для використання у різних випадках. Так, зазвичай, театри щонайменше оснащують радіомікрофонними системами з ручними мікрофонами, головними мікрофонами та петличними мікрофонами.

В даному театрі пропонується використання мікрофонних систем виробника Sennheiser, зокрема моделі Sennheiser EW 100 G4-945-S-E, Sennheiser EW 100 G4-ME4, Sennheiser EW 100 G4-CI1 та Sennheiser HSP 4-EW-3 Beige.



Рисунок 2.22 – Sennheiser G4-945-S-E



Рисунок 2.23 – Sennheiser G4-ME4



Рисунок 2.24 – Sennheiser EW 100
G4-CI1



Рисунок 2.25 – Sennheiser HSP 4-
EW-3 Beige

Компанія Sennheiser визнаний у всьому світі флагман у сфері виробництва аудіотехніки і вважається виробником одних із найякісніших мікрофонів.

Мікрофонні бази комутуються безпосередньо у мікшерний пульт, відповідно розташовуються вони у безпосередній близькості до пульта в рубці звукорежисера. У цьому випадку сигнал з передавачів на сцені не буде досягати приймачі на мікрофонних базах. Щоб вирішити цю проблему необхідно встановити радіочастотні мікрофонні антени та сплітер.

Сигнал з передавачів буде прийматись антенами, що винесені у глядацькому залі. Ці антени під'єднуються до сплітера, який виконує функцію розділення сигналу з антен та направлення його на декілька приймачів багатоканальної мікрофонної системи.

Радіочастотні антени бувають активні — ті, що підсилюють прийнятий сигнал, та пасивні — ті, що працюють без підсилення. Підсилення сигналу необхідне коли відстань між винесеними антени та сплітером є достатньо великою (> 10 м), відповідно коли затухання у цьому каналі є дуже великим. У нашому випадку винесення антен пропонується здійснити на зовнішню сторону рубки звукорежисера, тому довжина кабелю не буде становити більше 10 м.

Враховуючи вищесказане є можливість обмежитися пасивними антенами Sennheiser A-1031-U та двома сплітерами Sennheiser ASA 214.



Рисунок 2.27 – Sennheiser ASA 214

Рисунок 2.26 – Sennheiser

A-1031-U

2.7.5. Звуковий процесор та обладнання для цифрової передачі даних

Також у подібних проектах необхідністю є використання звукових процесорів. Дані пристрої використовуються для маршрутизації сигналів, розподілення різних полос частот сигналу між акустичними системами, синхронізації затримок різних акустичних систем, тощо. Також він дозволяє налаштувати АЧХ акустичної інсталяції для зменшення до мінімуму небажаного впливу архітектурних особливостей приміщення.

В даному проекті акустичні системи та підсилювач є плодом виробництва компанії BOSE. Очевидно, що в даному випадку рекомендується використання звукового процесору цього ж виробника. Для поставлених задач найкращим вибором буде звуковий процесор BOSE ESP-880AD.



Рисунок 2.28 – Звуковий процесор BOSE ESP-880AD

Серед його основних характеристик є наявність 8 аналогових виходів, 8 аналогових входів, наявність фантомного живлення, підтримка Dante протоколу, підтримка віддаленого контролю.

У сучасних інсталяціях існує практика використання цифрових каналів передачі зв'язку. Найбільшим недоліком аналогових каналів зв'язку є велика кількість кабелів, що є менш вигідно економічно, а також додає в об'ємі робіт. Цифрові способи передачі інформації ж дозволяють передавати до 64 каналів лише одним кабелем виті пари.

Тим не менш, у режимі живого виступу цифрова апаратура має вразливість до перебоїв у роботі, що може загрожувати зривом вистави чи концерту. Тому сьогодні інженери-проектувальники при залученні цифрових каналів зв'язку також прораховують резервні аналогові канали. Така ж конфігурація пропонується і для даного проекту.

У звуковій індустрії передача даних цифровим шляхом відбувається з допомогою протоколу Dante. Суть цифрової передачі звукових даних полягає у створенні двох локальних мереж Primary та Secondary. Мережа Primary є основною мережею, та при неполадках у її роботі передача даних відбувається по резервній мережі Secondary.

Всі пристрої, що приймають та передають цифрові сигнали мають підтримувати вищевказаний протокол. Для цього існують карти розширення, що вставляються у передбачені для цього слоти на пристроях.

В цьому проекті підсилувачі потужності від PowerSoft мають вбудовані карти розширення та не потребують додаткових витрат. Те ж саме стосується й цифрового процесора. Для підсилувача BOSE необхідна мережева карта розширення.



Рисунок 2.29 – Мережева карта PowerMatch Dante network card

Окрім карт розширення також необхідні два мережевих комутатори для двох локальних мереж — Primary та Secondary.

Також для комутації усього обладнання необхідні роз'єми типу speakON, XLR, патч-корди XLR (мама) — XLR (тато), патч-корди Ethernet, кабель 4x4 мм², кабель 2x4 мм², мікрофонний кабель, кабель витої пари, електромонтажні матеріали.

2.7.6. Загальний список обладнання

Беручи до уваги підібрану апаратуру, можна підбити підсумки, об'єднавши все необхідне обладнання у наступну таблицю.

Таблиця 2.3 – Список необхідного обладнання

№ з/п	Опис	К-ть
<i>Акустичні системи</i>		
1	Bose ShowMatch SM5. Акустична система	2
2	Bose ShowMatch SM10. Акустична система	4
3	Bose ShowMatch SM20. Акустична система	2
4	Bose SMAFP. Кріплення для акустичної системи	2
5	Bose AMU208. Акустична система	4
6	Bose SMS118. Сабвуфер	4
7	dB Technologies FMX15. Акустична система	4
<i>Звукопідсилення, обробка, мікрофони</i>		
8	PowerSoft X8 Dante. Підсилювач потужності	1
9	PowerSoft X4 Dante. Підсилювач потужності	1
10	Bose PowerMarch PM8500N. Підсилювач потужності	1
11	Bose Dante network card. Карта розширення	1
12	Bose ESP-880AD. Звуковий процесор	1
13	Yamaha TF5. Мікшерний пульт	1
14	Yamaha NY64-D. Карта розширення	1
15	Yamaha Tio1608-D. Стейджбокс	1
16	Yamaha HS8. Активний монітор (пара)	1
17	Sennheiser EW100 G4-945-S-E. Радіомікрофонна система з ручним мікрофоном	2
18	Sennheiser EW100 G4-ME4. Радіомікрофонна система з петличним мікрофоном	2
19	Sennheiser EW100 G4-CI1. Радіомікрофонна система	4
20	Sennheiser HSP EW-3 Biege. Головні мікрофони	4
21	Sennheiser A 1031-U. Пасивна радіоантена	2
22	Sennheiser ASA 214. Антенний сплітер	2
23	Мережевий комутатор	2
<i>Матеріали</i>		

24	Neutrik NL4FX. Роз'єм типу speakON	26
25	Neutrik NC3FXX. Роз'єм XLR-мама	2
26	Neutrik NC3MXX. Роз'єм XLR-тато	3
27	Кабель ВВГнгд 4х4 мм ²	400
28	Кабель ВВГнгд 2х4 мм ²	400
29	Кабель типу вита пара F/UTP cat.5e	350
30	Sennheiser GZL 1019-A10. Коаксіальний кабель 10м	2
31	Патч-корд XLR-мама - XLR-тато 3м	10
32	Патч-корд XLR-мама - XLR-тато 5м	4
33	Патч-корд XLR-мама - XLR-тато 10м	2
34	Патч-корд Ethernet 2м	8
35	Мікрофонний кабель	300
36	Автоматичний вимикач 3р 32А	1
37	Автоматичний вимикач 3р 16А	1
38	Автоматичний вимикач 1р 16А	3
39	Шина нульова	1

3. РЕЗУЛЬТАТИ

3.1 Параметри приміщення театру

Досліджуване приміщення є місцем проведення вистав та спектаклів, тобто театральною залою.

Форма приміщення є доволі складною. Тут присутні нерівномірності та стінах, стелі та насамперед на підлозі, оскільки глядацька зала виконана у формі амфітеатру. Також в залі присутній балкон. Площа приміщення становить приблизно 560 м^2 . Об'єм приміщення — близько 6000 м^3 . Виходячи з цього, можна стверджувати, що дане приміщення потребує проектування системи звукопідсилення (с.20). Кількість сидячих місць становить 730 осіб, на одну особу припадає порядку 8.2 м^3 об'єму приміщення. За санітарними нормами це цифра має становити $4.5 — 5 \text{ м}^3$ [5].

Загальна картина оточуючих поверхонь у залі Івано-Франківського національного академічного драматичного театру виглядає наступним чином:

- стеля — гіпсова штукатурка, площа — 1010 м^2 ;
- підлога в глядацькому залі — ковролін, площа — 284 м^2 (виключаючи площу з сидячими місцями);
- підлога сцени — паркет — 454 м^2
- стіни оздоблені фанерною обшивкою, площа — 878 м^2 ;
- вікна — 7.8 м^2 ;
- двері — соснові — 15 м^2 ;
- стільці — напівм'які — 730 шт (площа — 365 м^2).
- площа стін за сценічним порталом - завіси та декорації - 903 м^2 .

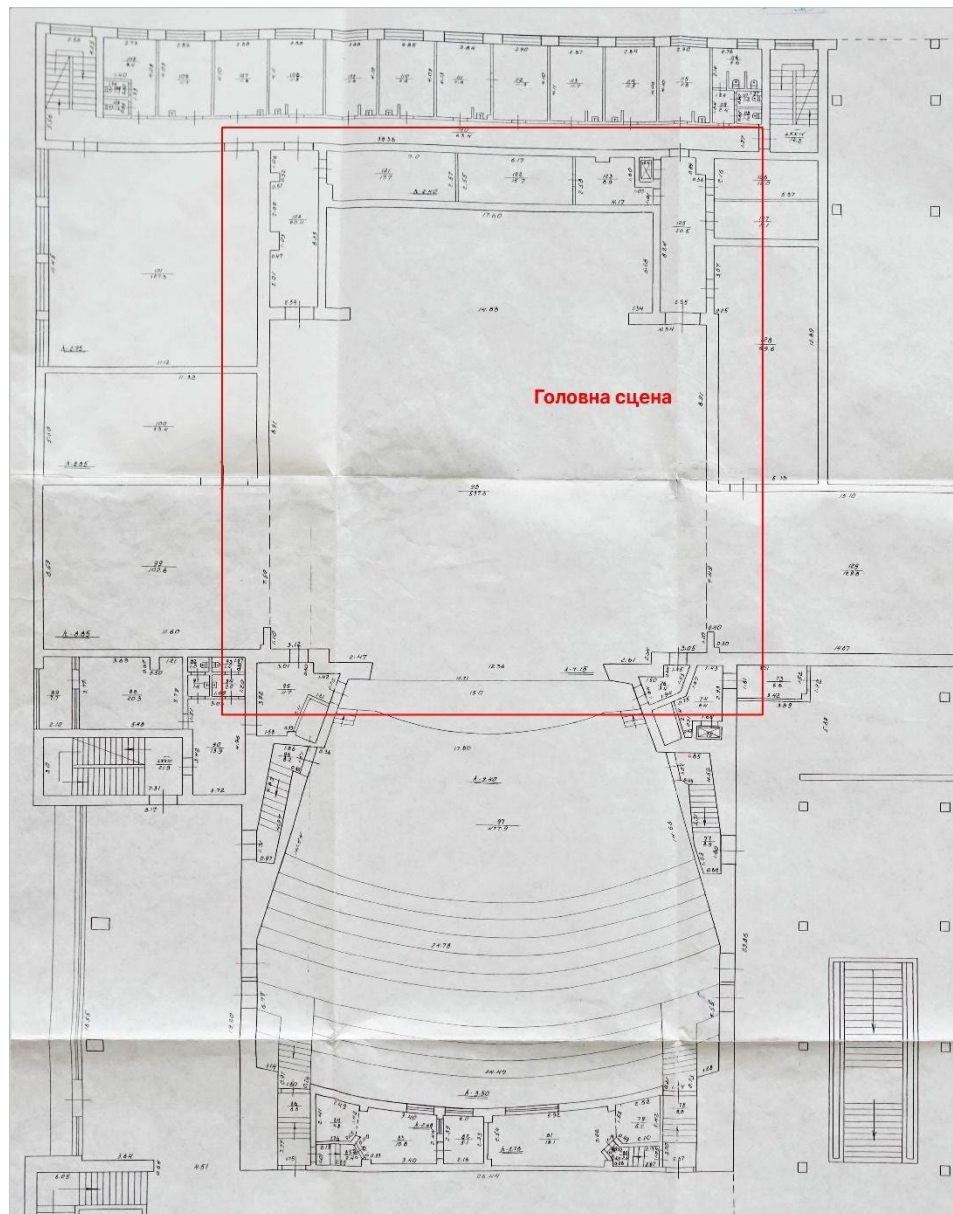


Рисунок 3.1 – План приміщення театральної зали

3.2 Загальне поглинання

Оптимальний час реверберації, розрахований за формулою та становитиме $T_{opt} = 1,36$ с. Потрібні значення оптимуму реверберації на необхідних частотах знаходяться з добутку відповідних значень з рис. 2.1 на час, знайдений з формули (1.1). Розраховані значення оптимального часу реверберації наведені в табл. 3.1.

В табл. 3.1. також наведені результати розрахунку результати необхідного поглинання. Вони включають зокрема й розрахунок область припустимих значень

A_{min} і A_{max} . При підстановці в формулу для визначення $A_{потр}$ значень $T_{max}=1,1T_{опт}$ і $T_{min}=0,9T_{опт}$ отримуються значення A_{min} і A_{max} для розрахункового ряду частот.

Таблиця . 3.1 – Результати розрахунку необхідного звукопоглинання

Позначення одиниці	Частота, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{опт}, с$	1.838	1.429	1.361	1.362	1.429	1.906
$T_{min}=0,9T_{опт}, с$	1.654	1.287	1.225	1.226	1.289	1.715
$T_{max}=1,1T_{опт}, с$	2.022	1.572	1.497	1.498	1.572	2.096
$\alpha_{сер}=A_{потр}/S_{\Sigma}$	0.185	0.231	0.241	0.237	0.213	0.132
$A_{потр}, Себ$	484.4	605.6	631.9	622.8	558.9	347.1
$A_{min}, Себ$	532.4	663.6	692	683.1	618.2	396.4
$A_{max}, Себ$	444.3	556.9	581.4	572	509	306

Загальний фонд поглинання можна умовно розділити на дві частини: основний фонд поглинання (ОФП) і додатковий (ДФП). До ОФП відносять звукопоглинання, що здійснюється предметами, людьми і поверхнями, які з необхідності повинні знаходитись в приміщенні в типовій для нього ситуації. До ДФП відносять поглинання додаткових спеціальних матеріалів і предметів, які розміщують для досягнення в ньому оптимальних акустичних умов.

У додатку А наведений основний фонд поглинання. Тут також наведений брак поглинання. Але як можемо бачити деякі значення браку поглинання є від'ємними, тобто поглинання є навіть більшим ніж потрібно. Відповідно застосування додаткових звукопоглинаючих матеріалів є непотрібним і навіть небажаним.

Після розрахунку загального поглинання розрахуємо за формулою :

Таблиця 3.2 – Стандартний час реверберації, с

125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц
1.83	1.2	1.6	1.65	1.57	1.6

3.3 Звукоізоляція приміщення

Суть розрахунку звукоізоляції приміщення в даному проєкті полягає в тому, щоб перевірити, чи існуючий рівень акустичних шумів відповідає припустимому, який для даного типу приміщень становить $L_{\text{п}} = 30$ дБ [5]. Для оцінки фактичного рівня шуму $L_{\text{ф}}$ у приміщенні будемо користуватись формулою .

Перш ніж приступити до розрахунків, визначимось із середовищами, що межують зі огороженнями приміщення, типами огорожень, їхніми значеннями власної звукоізоляції та занесемо отримані дані у табл. 2.3.

Усі стіни являють собою несучими бетонними конструкціями товщиною від 50 см. Стеля та підлога є плоскими перекриттями по металевих балках. Бокові стіни глядацької зали межують з фойє театру, до якого можна потрапити через дерев'яні двері. Також, ближче до сцени, з обох боків існують входи до технічних приміщень. Під балконом задня стіна межує з звуко- та світло-режисерською приміщеннями. Задня стіна на балконі межує з операторською та технічними приміщеннями. На ній також розташовані маленькі віконця. Зі сторони сцени, за ар'єрсною знаходяться службові приміщення. Під приміщенням глядацької зали знаходяться вестибюль, а над стелею — горище.

В результаті розрахунків були отримані наступні значення:

- для 125 Гц рівень шуму $L_{\text{ф}} = 36$ дБ;
- для 500 Гц рівень шуму $L_{\text{ф}} = 32$ дБ;
- для 4 кГц рівень шуму $L_{\text{ф}} = 30$ дБ.

Таблиця 3.3 – Звукоізоляція приміщення

Назва перегородки	Джерело шуму	Рівень джерел L_i , дБ	Площа перегородки S_i , м ²	Власна звукоізоляція σ , дБ		
				125 Гц	500 Гц	4000 Гц
Стіна	фойє	65	325	48	60	71
Стіна	технічні приміщення	60	341	48	60	71
Стіна	службові приміщення	55	295	48	60	71
Стеля	горище	55	904	42	56	68
Підлога	вестибюль	80	850	47	59	70
Двері	фойє	75	15	14	16	20
Двері	технічні приміщення	60	9	14	16	20
Вікна	технічні приміщення	60	8	27	26	27

3.4 Побудова 3-D моделі приміщення

Побудова моделі приміщення, як вже зазначалось, відбувалася у програмному забезпеченні SketchUp.

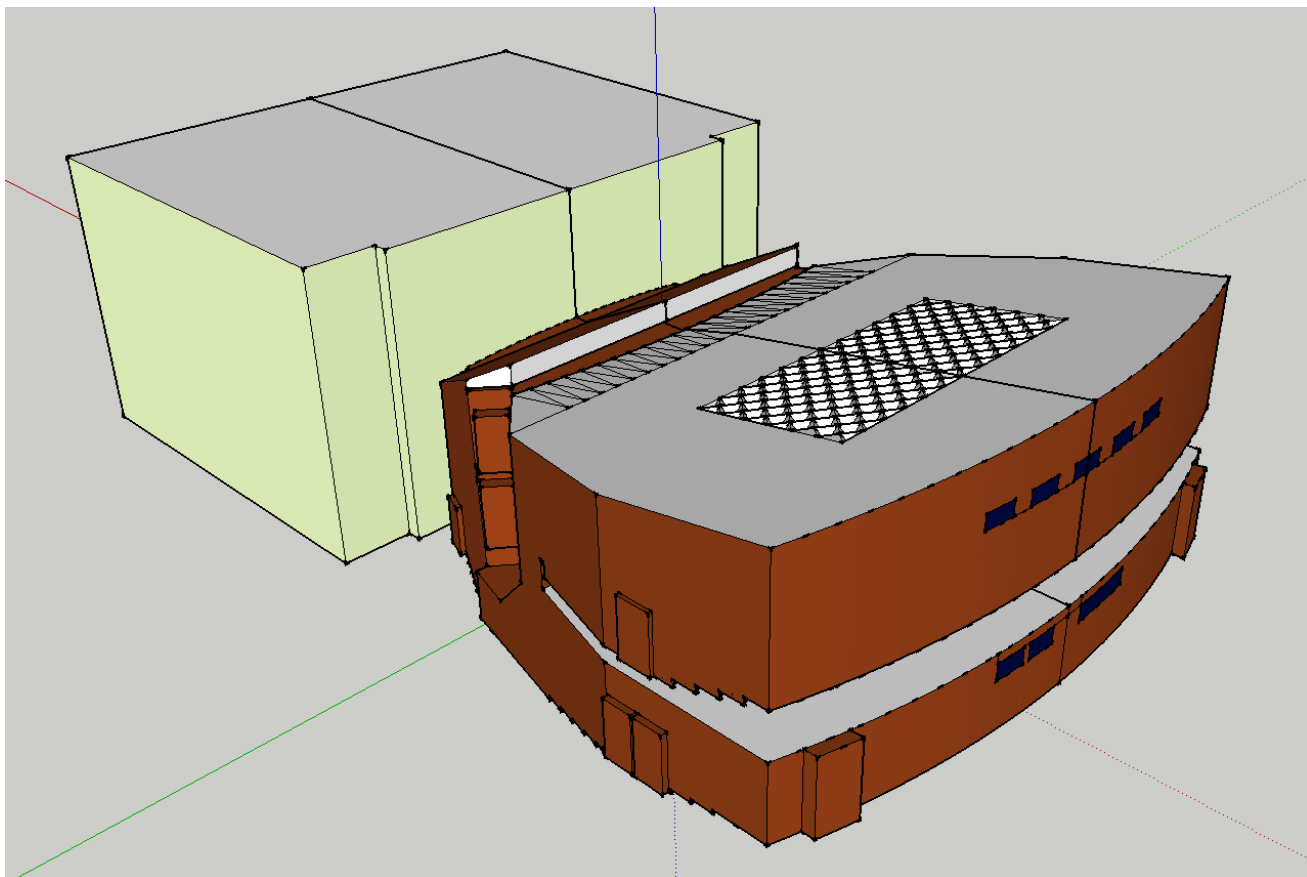


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд моделі

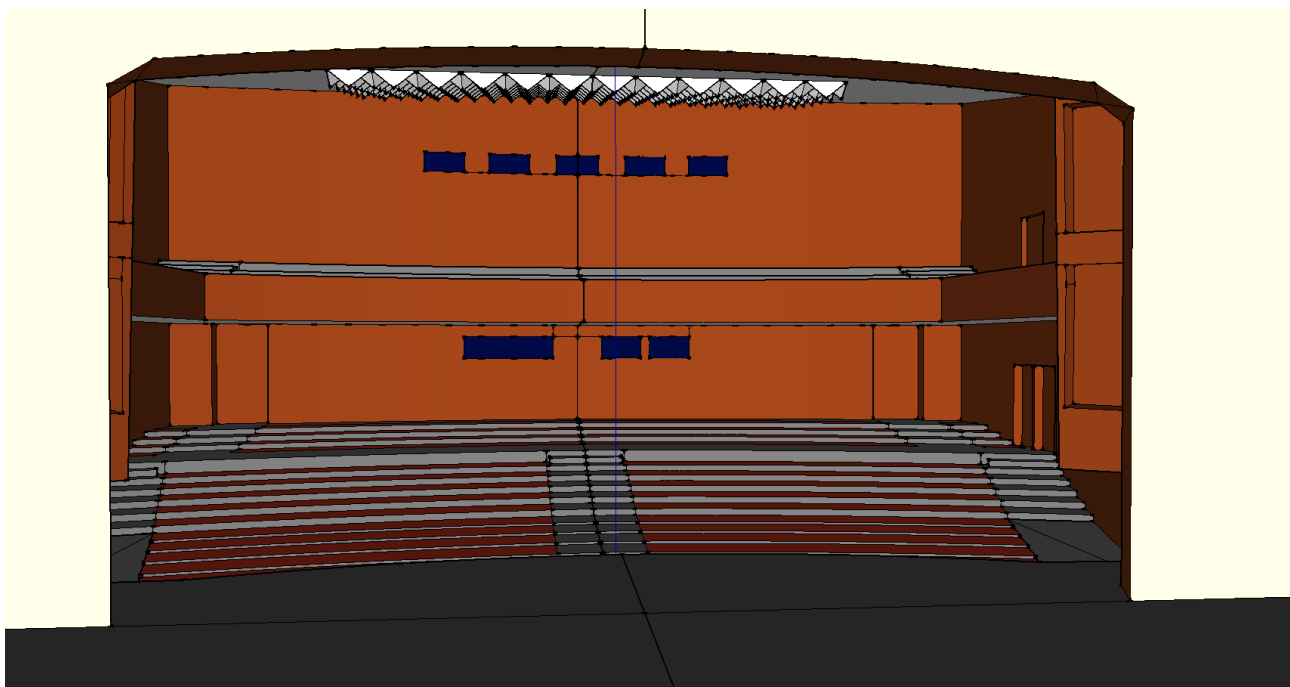


Рисунок 3.3 – Вид на глядацькі місця зі сцени

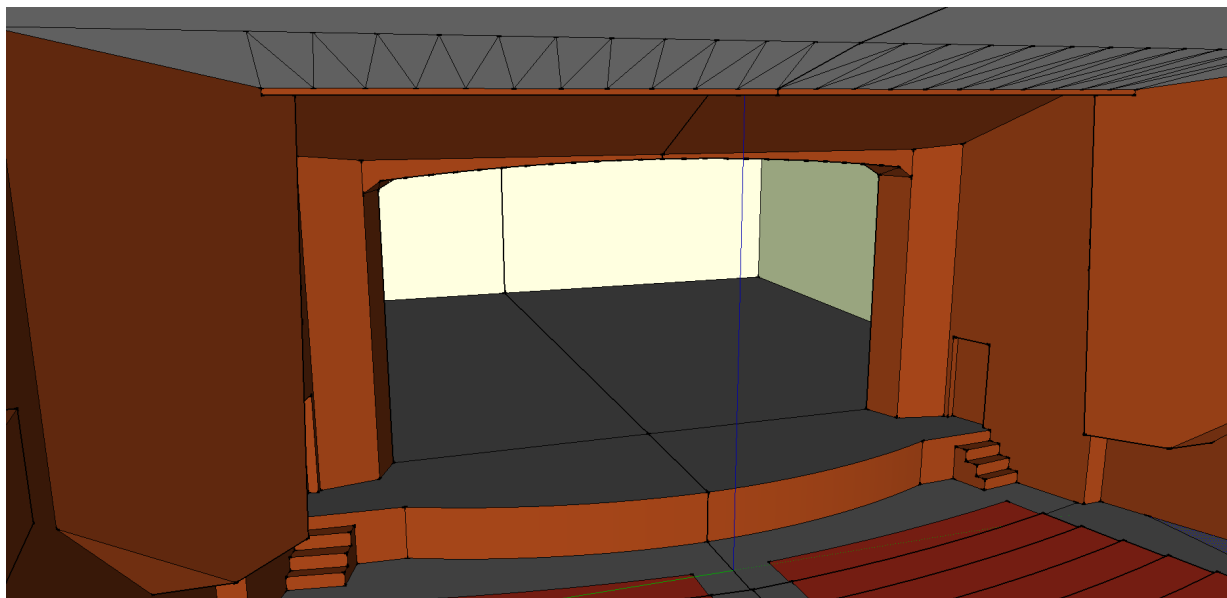


Рисунок 3.4 – Вид на сцену з балкону

Для кожної з поверхонь задані свої коефіцієнти поглинання. Задані програмно коефіцієнти повторюють коефіцієнти з додатку.

Model material browser												
8	Carpet - heavy on concrete	0.02	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65	0.65	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Glass - double pane	0.25	0.25	0.25	0.10	0.07	0.06	0.04	0.02	0.02	0.02	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Gypsum Board - 1/2" suspended ceiling grid	0.15	0.15	0.15	0.11	0.04	0.04	0.07	0.08	0.08	0.08	<input checked="" type="checkbox"/>
11	jean blue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
12	Linoleum on wood floor	0.20	0.20	0.20	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Material1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>
14	Plywood 1/8" over 2" Air Space	0.09	0.09	0.09	0.45	0.25	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Seat - Theater - Padded	0.55	0.55	0.55	0.68	0.70	0.77	0.75	0.66	0.66	0.66	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Stage Proscenium	0.25	0.25	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.75	0.75	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 3.5 – Матеріали, що присутні у моделі

У таблиці, наведеній вище варто зазначити, що матеріали з назвами “jean blue” та “Material1” є матеріали, що програма використовує за замовчуванням та вони не представлені в моделі.

Розрахунки звукового поля проводилися в програмі Modeler. В ній же відбувався підбір акустичних систем.

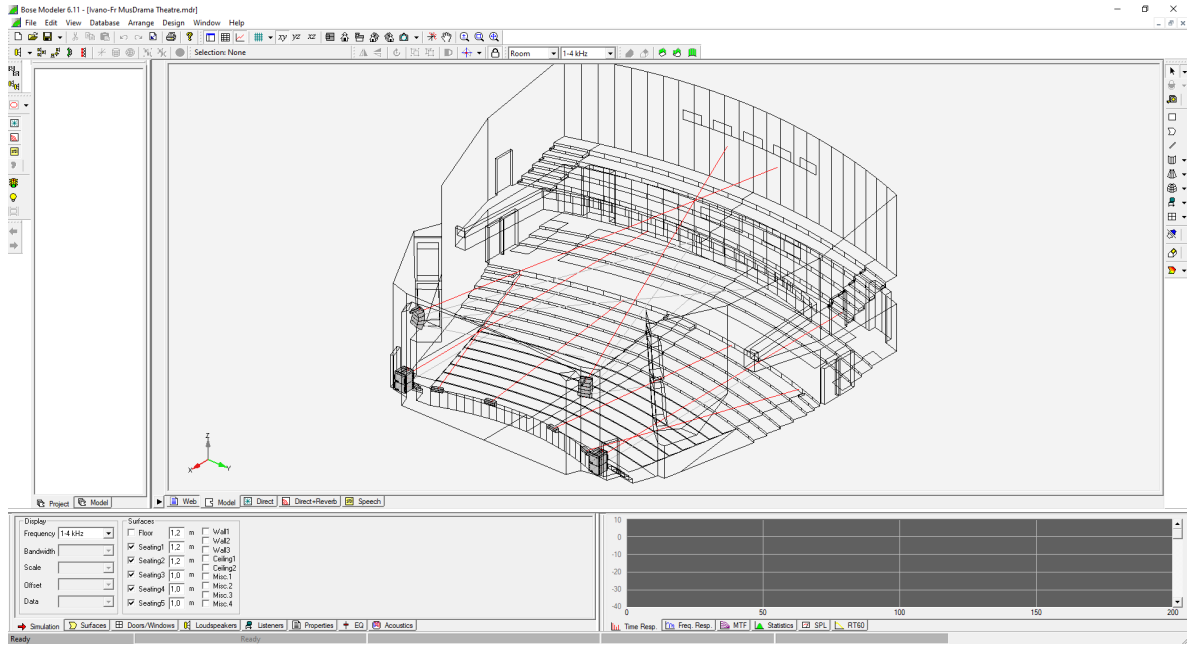


Рисунок 3.6 – Інтерфейс програми Modeler

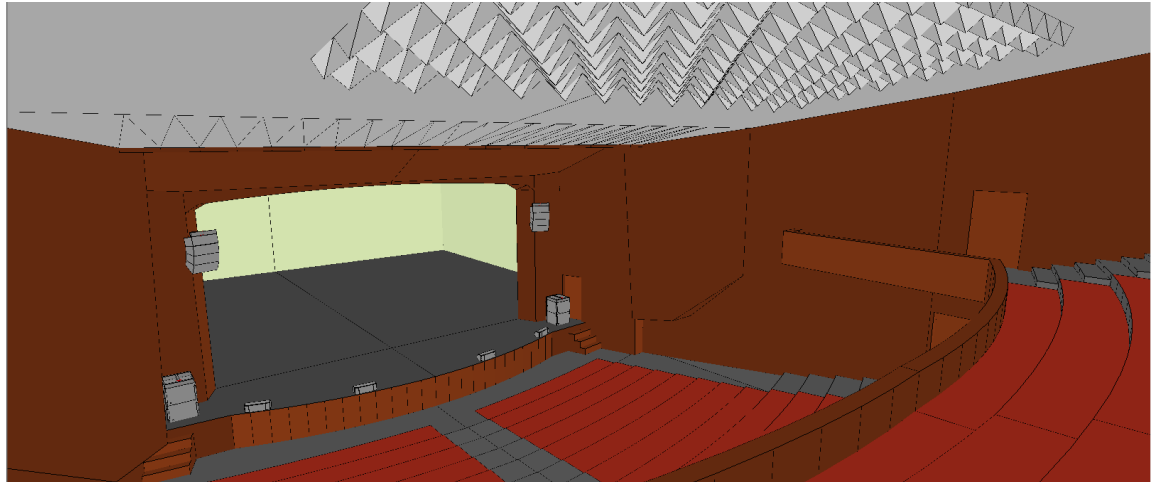


Рисунок 3.7 — Модель фронтальної частини приміщення з підібраним акустичним обладнанням

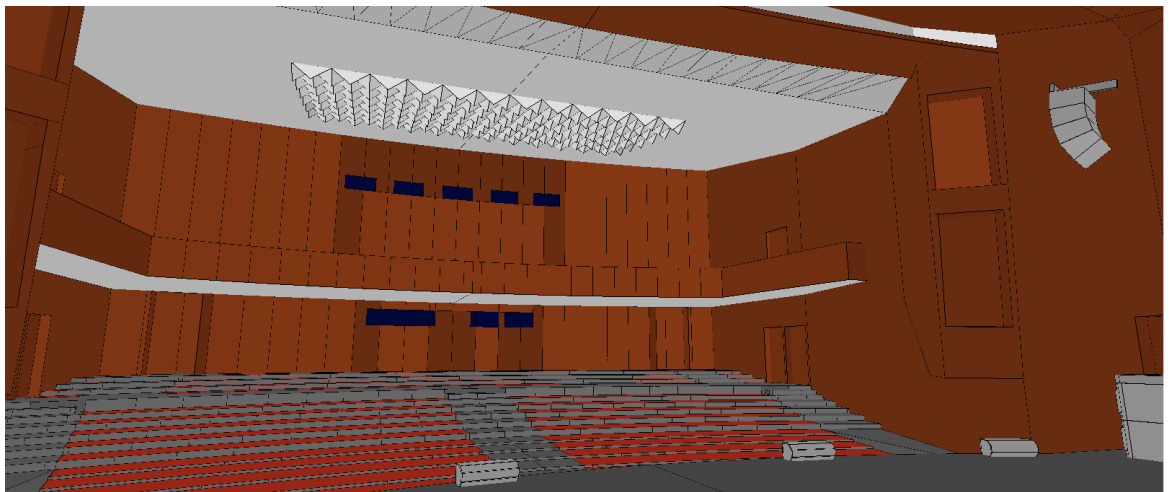


Рисунок 3.8 – Модель залу з підібраним акустичним обладнанням

3.5 Пряме звукове поле

Як анонсувалося в попередньому розділі, усі розрахунки параметрів звукового поля відбувалися за допомогою програмного забезпечення Modeler. Дана програма виконує математичні розрахунки самостійно, тим самим даючи можливість легко отримати необхідні дані та результати розрахунків у наочному вигляді. В якості вхідних параметрів, окрім власне самої моделі, інженер-проектувальник визначає конфігурацію акустичної системи, її геометричне положення у моделі приміщення та її потужність.

В програмі існує база з великою кількістю акустичних систем. При виконанні розрахунків, такі характеристики, як діаграма спрямованості, максимальна потужність, КВК визначає з цієї бази. Робота інженера в даному випадку полягає у виборі гучномовців з даної бази та їх конфігурації.

Першим параметром, який будемо розглядати — нерівномірність звукового поля. Для цього необхідно провести розрахунки прямого звукового поля.

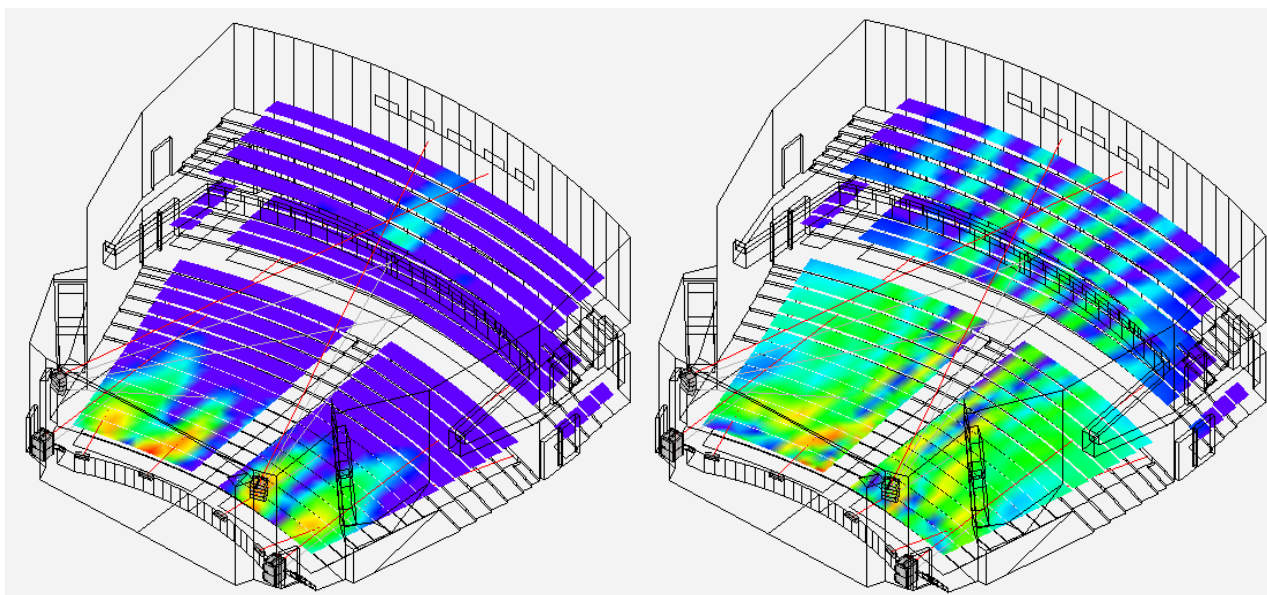


Рисунок 3.9 Розрахунок
прямого поля для 125 Гц

Рисунок 3.10 — Розрахунок
прямого поля для 250 Гц

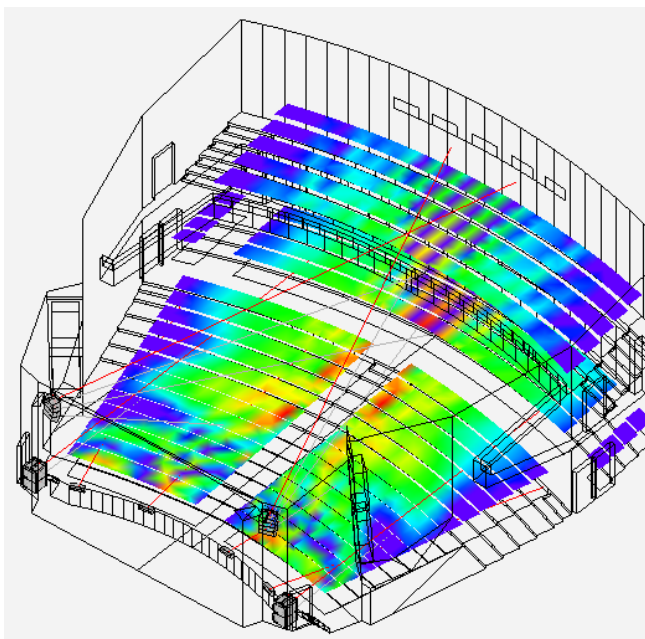


Рисунок 3.11 — Розрахунок
прямого поля для 500 Гц

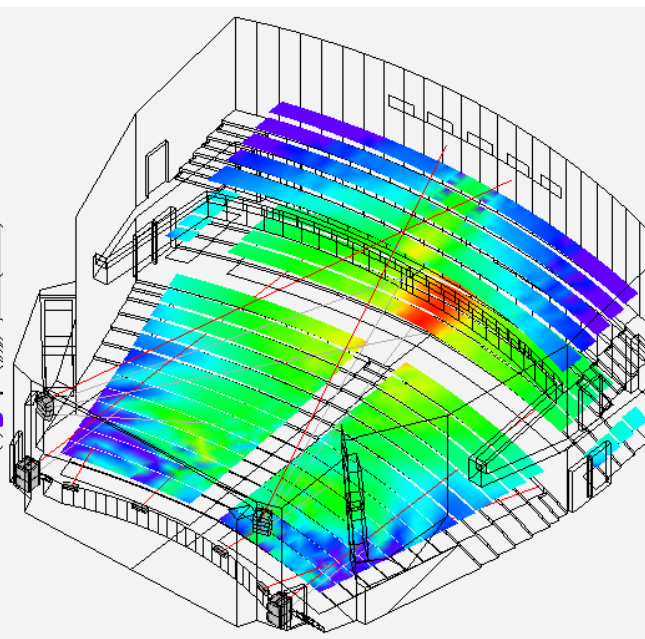


Рисунок 3.12 — Розрахунок
прямого поля для 1 кГц

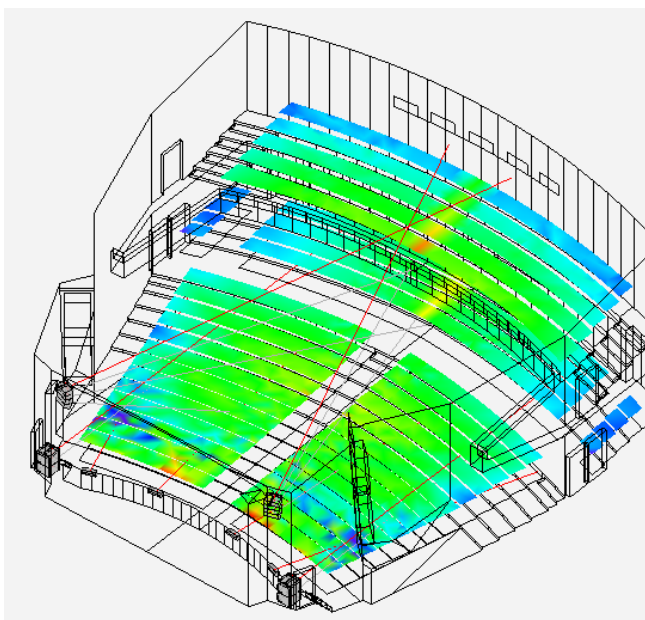


Рисунок 3.13 — Розрахунок
прямого поля для 2 кГц

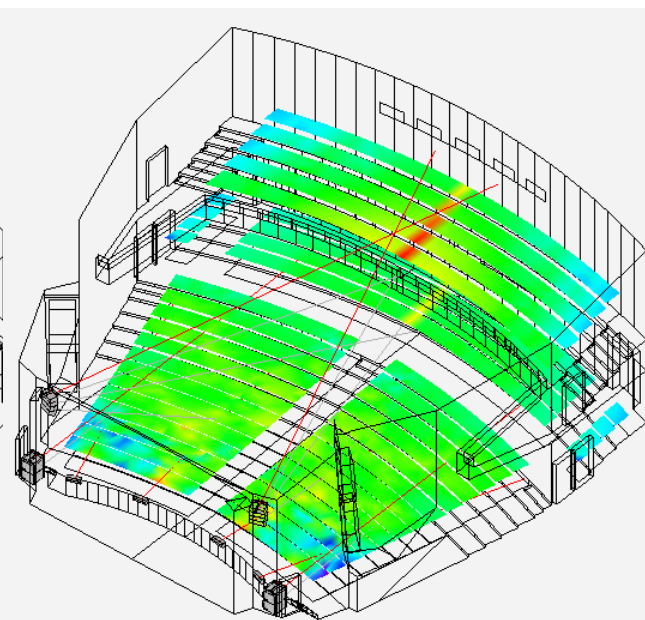


Рисунок 3.14 — Розрахунок
прямого поля для 4 кГц

Для аналізу нерівномірності звукового поля наведемо загальну картину прямого звукового поля у залі.

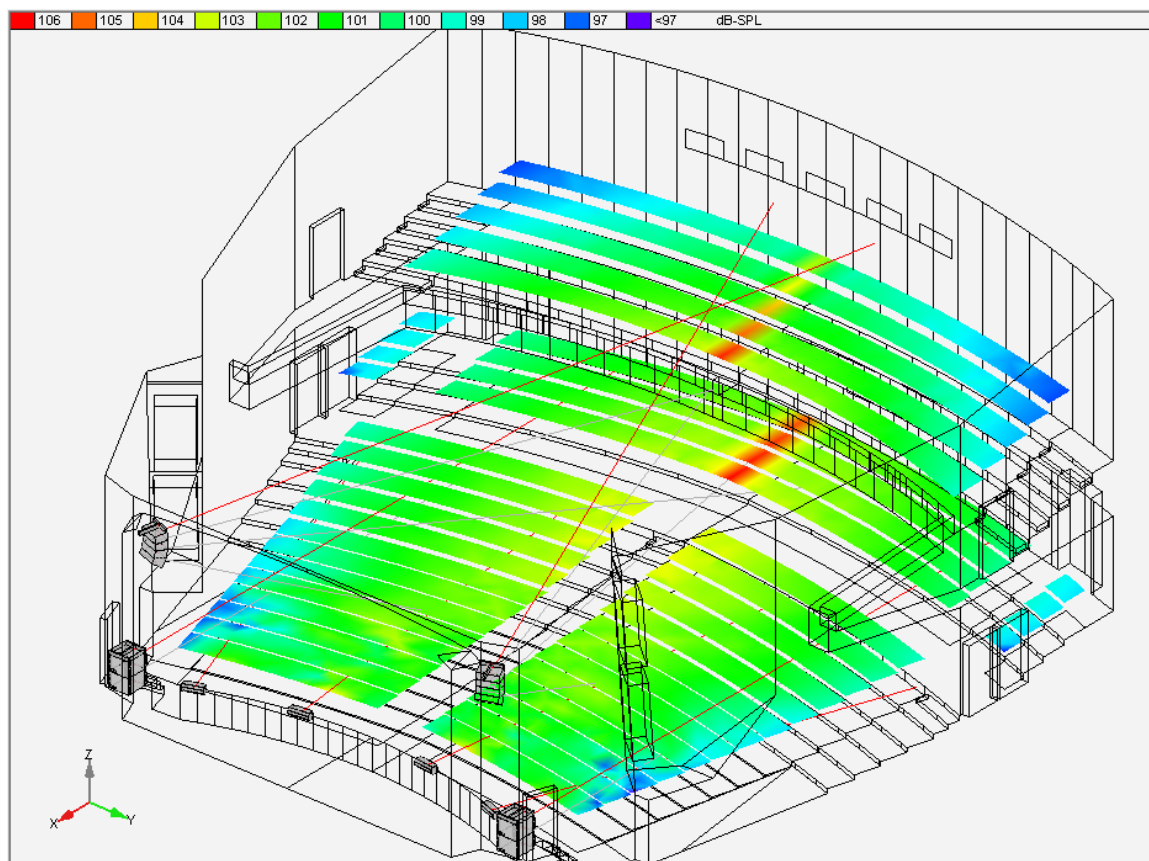


Рисунок 3.15 — Розрахунок прямого звукового поля в діапазоні 1 - 4 кГц

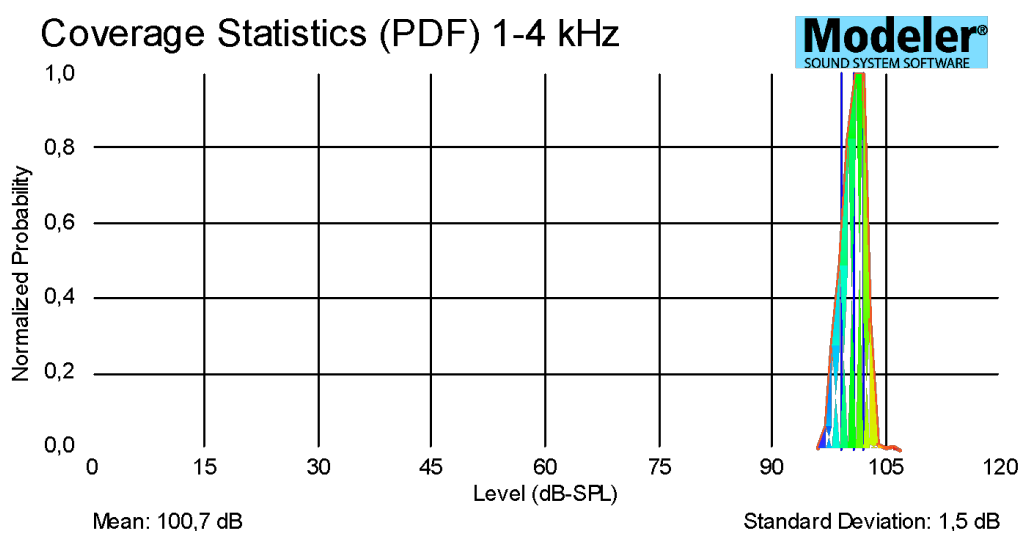


Рисунок 3.16 — Статистичний розподіл акустичних рівнів

Розрахунок наведений у смузі частот 1 — 4 кГц, оскільки у даній смузі частот відбувається передача 80% корисного сигналу.

Для оцінки нерівномірності поглянемо на графік, наведений на рис. 3.16. Усереднений рівень прямого звукового поля в приміщенні становить 100,7 дБ.

Параметр Standard Deviation, або стандартне відхилення, вказує на максимальне відхилення від даного рівня в меншу чи більшу сторону. Оскільки стандартне відхилення становить 1.5 дБ, рівень прямого звукового поля у 95% точках приміщення буде входити у діапазон 99,2 - 102,2 дБ. Відповідно, нерівномірність звукового поля у приміщенні буде становити подвійне значення стандартного відхилення, тобто 3 дБ.

3.6 Сумарне звукове поле

Сумарне звукове поле являє собою суму прямого звукового поля та дифузного (якщо йдеться мова про інтенсивності). Значення рівня сумарного звукового поля можна визначити за формулою .

Рівень сумарного звукового поля є основним параметром, на який інженер-проектувальник звертає увагу при розрахунку сумарного звукового поля. Аналізуючи цю характеристику можна дійти до певних висновків щодо забезпечення необхідним рівнем гучності у глядацькому залі. Виходячи з цієї інформації стає зрозуміло чи вистачає потужності акустичної системи для досягнення вимог щодо рівня звукового поля.

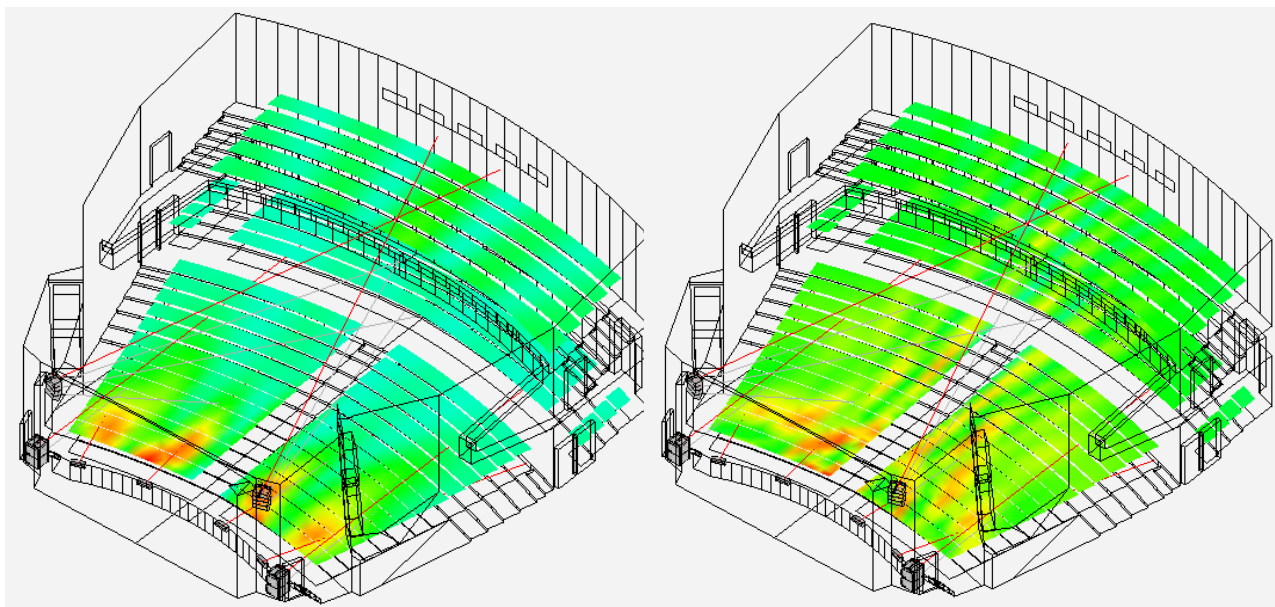


Рисунок 3.17 — Розрахунок сумарного поля на частоті 125 Гц Рисунок 3.18 — Розрахунок сумарного поля на частоті 250 Гц

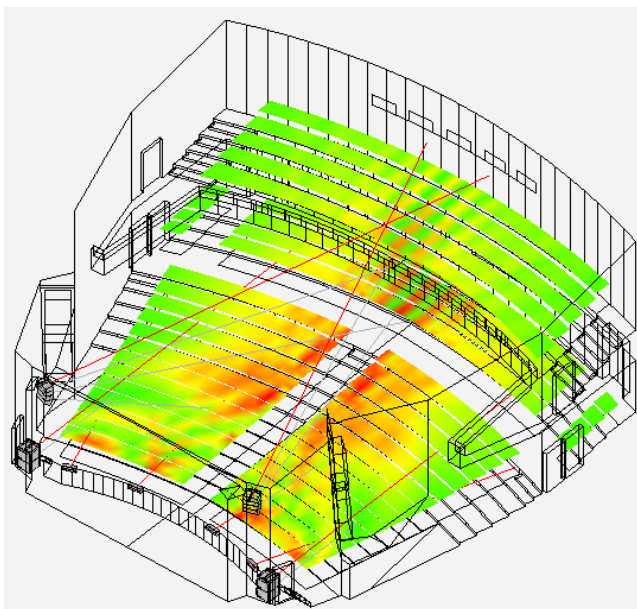


Рисунок 3.19 —Розрахунок сумарного поля на частоті 500 Гц

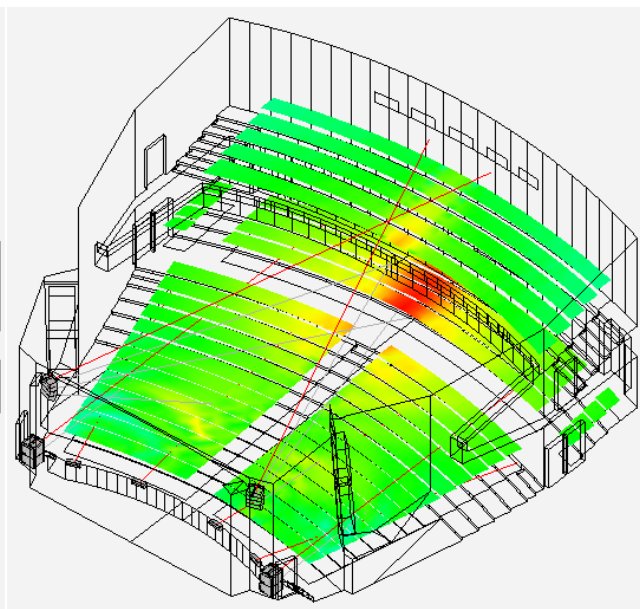


Рисунок 3.20 —Розрахунок сумарного поля на частоті 1 кГц

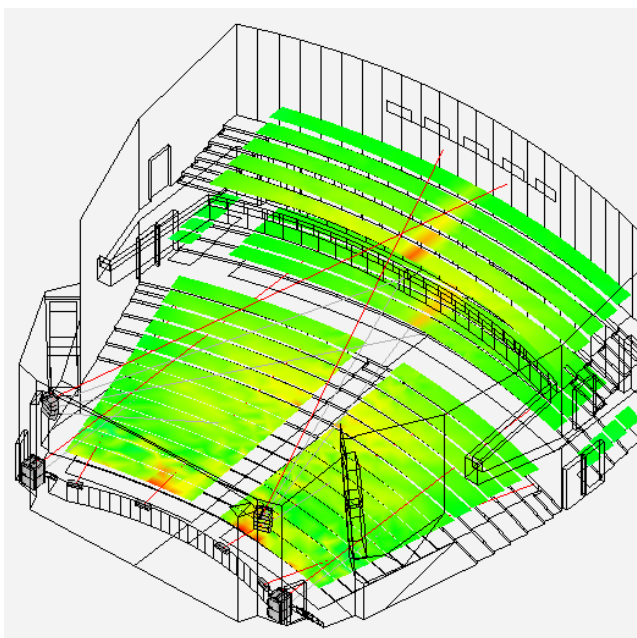


Рисунок 3.21 —Розрахунок сумарного поля на частоті 2 кГц

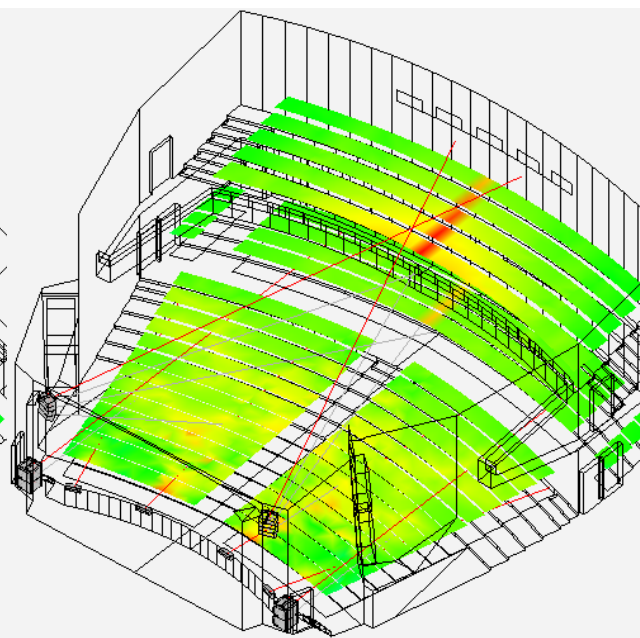


Рисунок 3.22 —Розрахунок сумарного поля на частоті 4 кГц

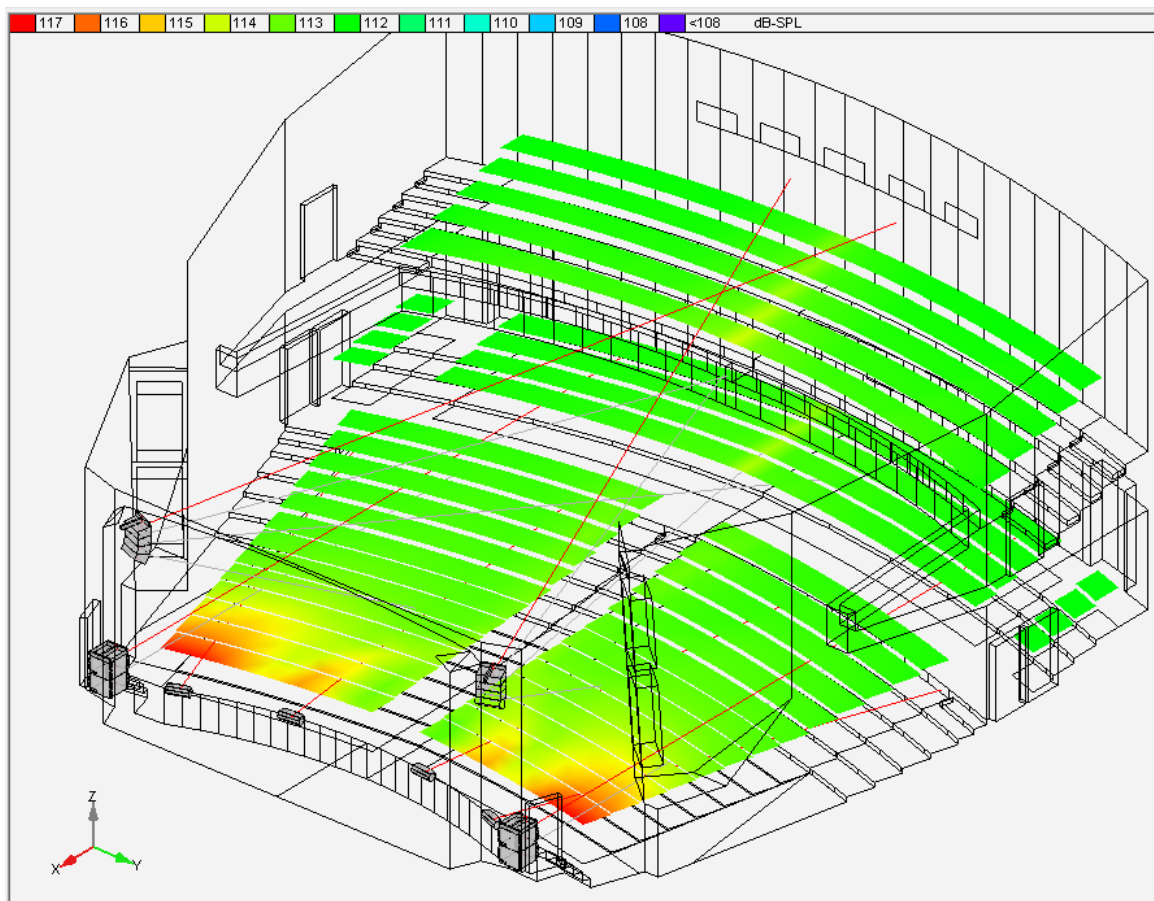


Рисунок 3.23 — Розрахунок сумарного звукового поля

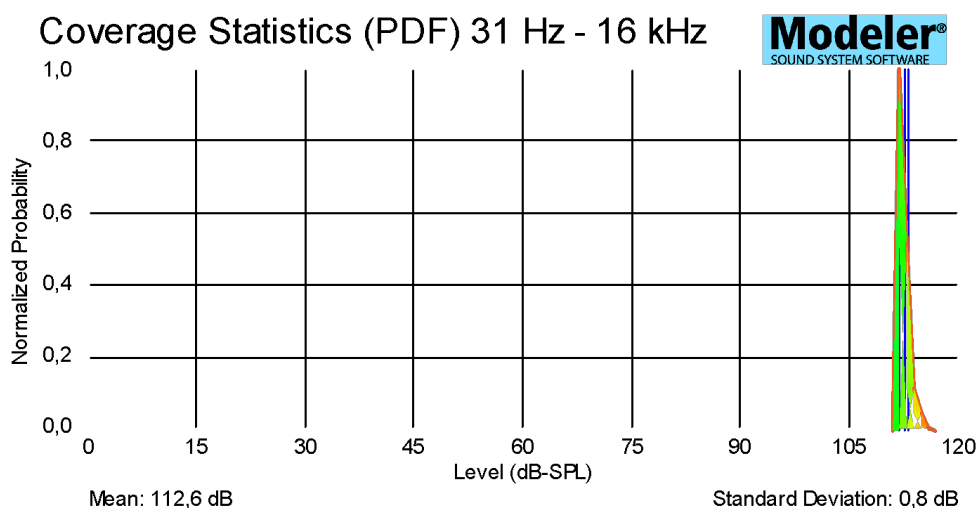


Рисунок 3.24 — Статистичний розподіл рівнів сумарного звукового поля

З графіку на рис. 3.24. можна побачити, що усереднений рівень звукового тиску сумарного поля в приміщенні становить 112,6 дБ. Дане значення є значно більшим за оптимальне значення рівня звукового тиску для театрів, яке згідно табл. 1.2 становить 100 дБ. Однак необхідно брати до уваги те, що розраховане

значення відповідає рівню звукового тиску створюваного акустичною системою при максимальному навантаженні. Крім того, в даному розрахунку враховувалась й еквалізація звукової системи (рис. 3.25)

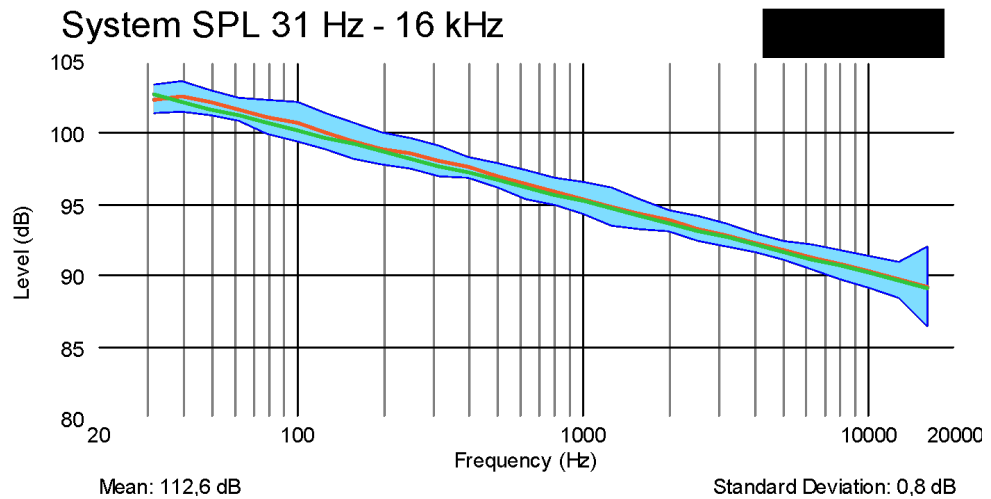


Рисунок 3.25 – Рівень звукового тиску в логарифмічному діапазоні (30 Гц - 16 кГц) створюваним еквалізованою акустичною системою

Рівень 112,5 дБ є переведена в логарифмічне значення сума абсолютних значень звукового тиску на частотах від 30 Гц до 16 кГц.

3.7 Параметри розбірливості мови

У будь-якому проектуванні акустичних інсталяцій необхідно розраховувати розбірливість мови. Як вже було сказано в попередніх розділах, сучасні західні інженери в якості параметра розбірливості мови використовують індекс передачі мови STI. Відповідно і в цьому проєкті в якості показника розбірливості був взятий параметр STI. Тим більше програмне забезпечення Modeler дає змогу розрахувати даний індекс для кожної точки приміщення.

В даному розрахунку вже немає жодних прив'язок до частотних діапазонів. Параметр розбірливості залежить виключно від загального поглинання та направленості акустичних систем у глядацькому залі.

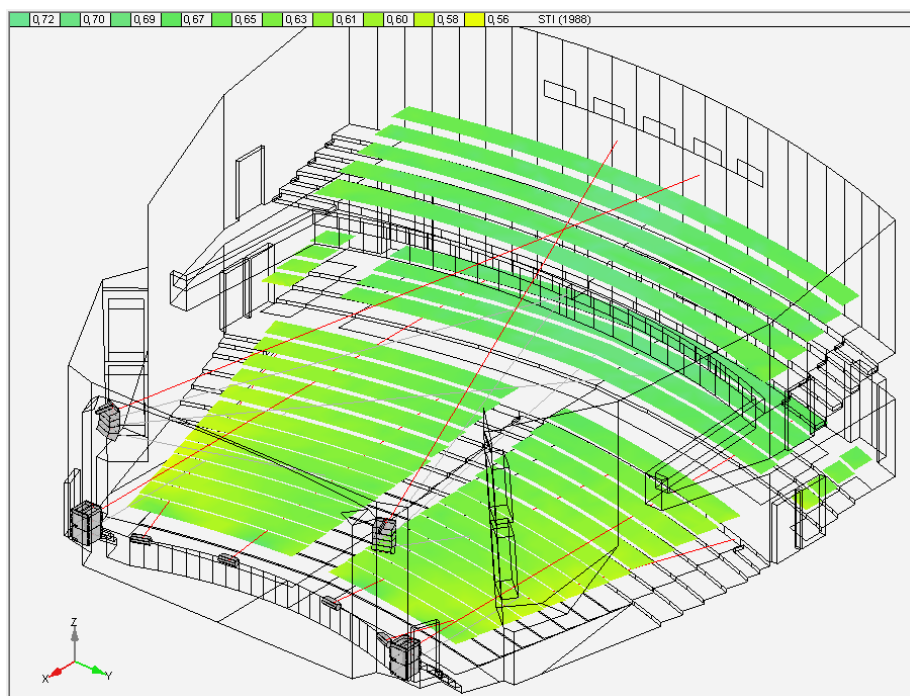


Рисунок 3.26 — Розрахунок параметру STI (пуста зала)

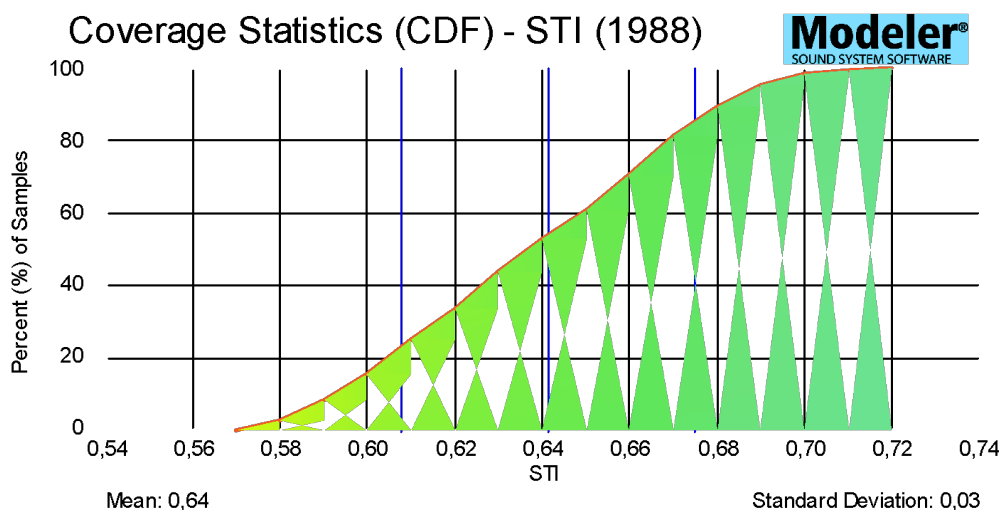


Рисунок 3.27 — Статистичний розподіл параметру STI (пуста зала)

Вищенаведений розрахунок здійснювався за відсутності глядачів, тобто при нульовій заповненості зали.

Згідно стандарту IEC 60268-16 (табл. 2.2) найменш допустимим значенням STI для театрів є значення 0,62, що відповідає класу приміщень D. Для приміщення нашого театру розрахований усереднений індекс STI становить 0,64, що відповідає класу приміщень D та відповідно відповідає стандарту IEC 60268-16.

Розрахуємо параметр STI при 50% заповненості глядацької зали або при наявності 365 глядачів.

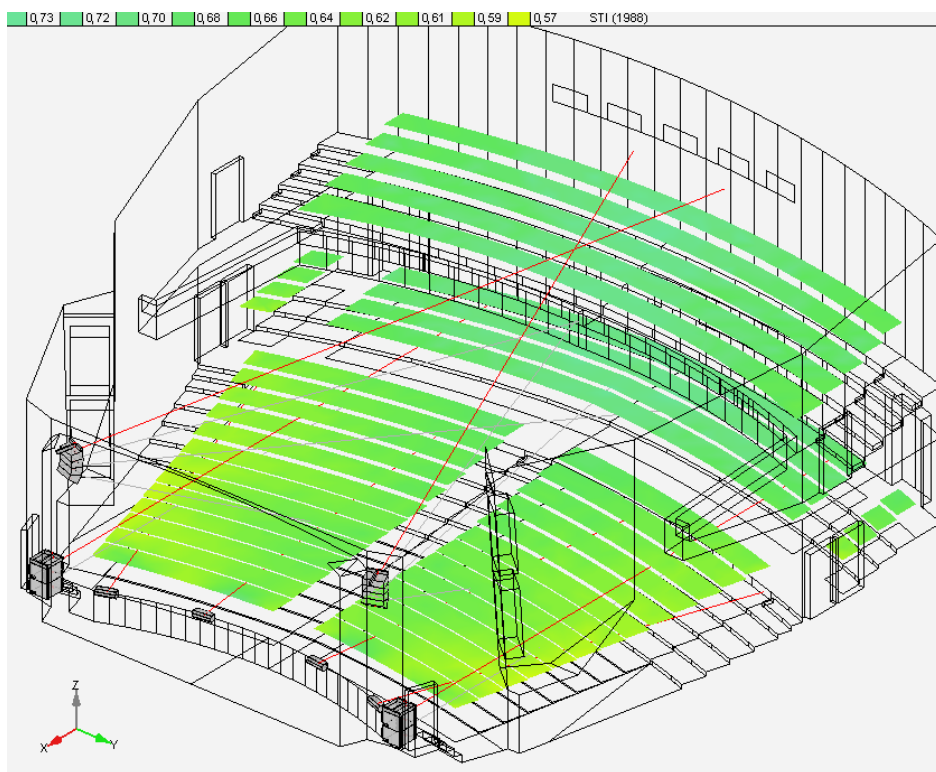


Рисунок 3.28 — Розрахунок параметру STI (50% заповненості)

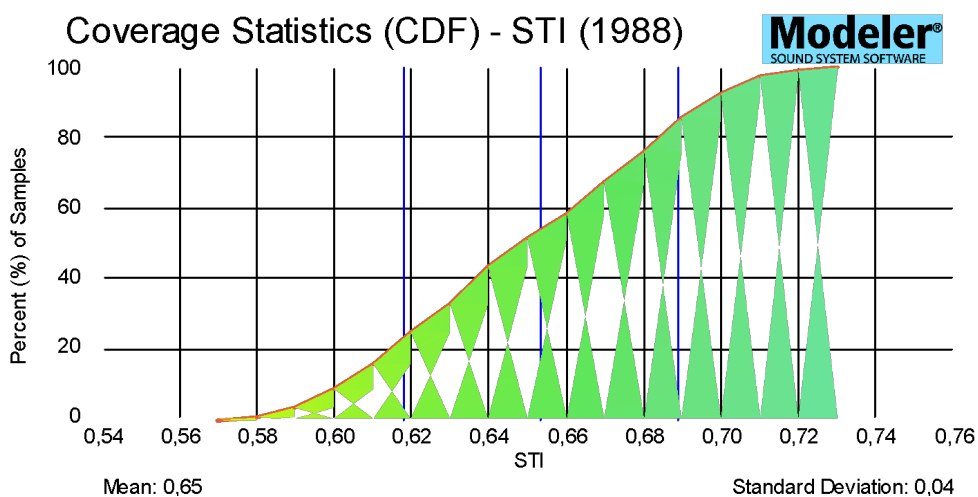


Рисунок 3.29 — Статистичний розподіл параметру STI (50% заповненості)

При значення параметру STI підвищиться до 0,65, що на 0,01 більше аніж за відсутності глядачів.

Наведемо також розрахунки STI для заповненості залу у 80% (584 глядача).

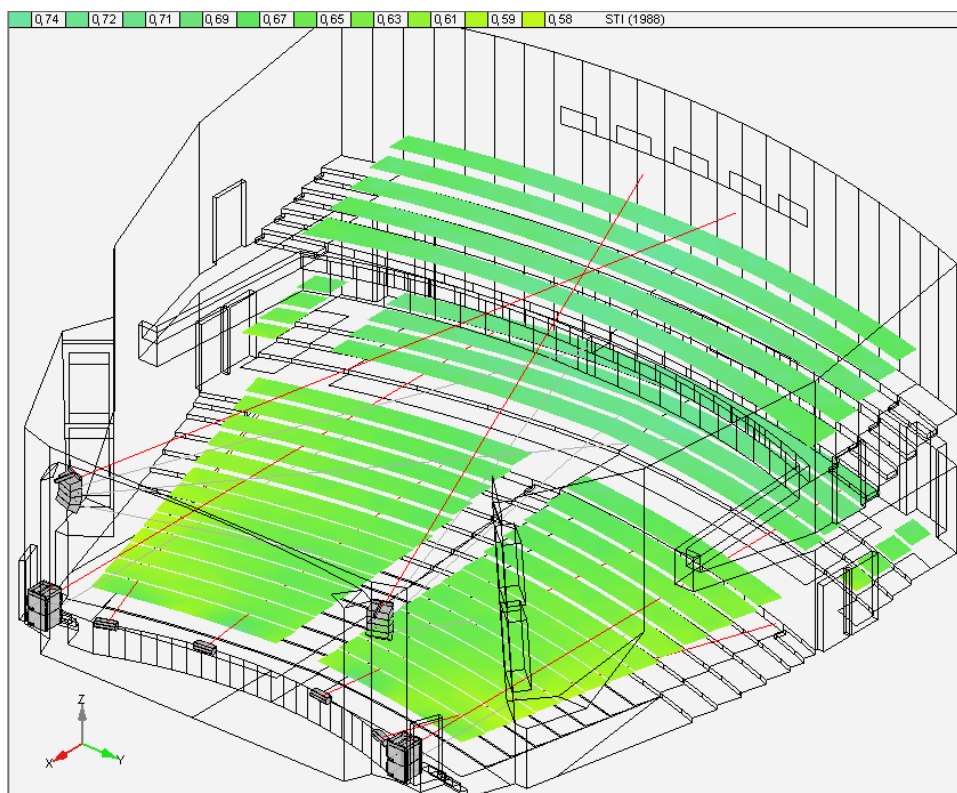


Рисунок 3.30 – Розрахунок параметру STI (80% заповненості)

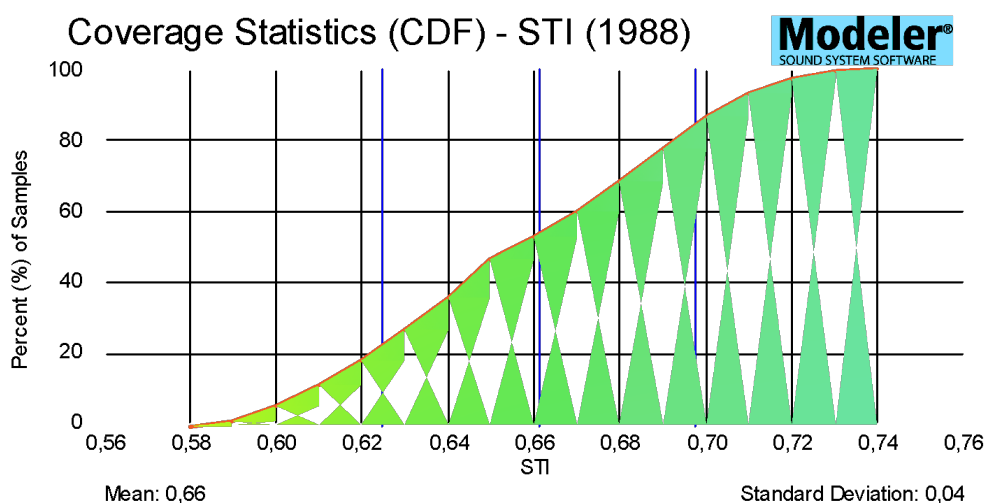


Рисунок 3.31 – Статистичний розподіл параметру STI (80% заповненості)

При 80% заповненості глядацької зали STI підвищився ще на 0,01 до значення 0,66.

3.8 Комутація обладнання

Комутація даного роду проектів вимагає прискіпливості на пильної уваги. Помилка при прорахунку усіх необхідних кабельних трас та схем підключення

може мати велику ціну. Наприклад, якщо інженер-проектувальник забув прорахувати який-небудь кабель, і при цьому всі кабельні траси вже зашиті чи знаходяться в замуrowаній штробі, прокладка цього кабелю понесе додаткові витрати.

Ще більшою відповідальністю є електротехнічний розрахунок для рекової апаратури, оскільки помилка може коштувати не лише фінансової складової, а й безпеки людей.

Тому прорахунок комутації обладнання є одним з найбільш важких та відповідальних етапів проектування систем звукопідсилення.

Зі структурної схемою комутації для даного проекту можна ознайомитися в додатку Б. Нижче наведено пояснення до цієї структурної схеми стосовно під'єднання окремого обладнання один до одного.

3.8.1 Підключення акустичних систем

Про підключення акустичних систем дещо було сказано раніше при підборі апаратури, зокрема у розділі 2.6.1.

Зокрема, було згадано про паралельне підключення окремих елементів масивів до підсилювача Powersoft X8 Dante. Дані елементи під'єднуються до підсилювача за допомогою 4-жильного кабелю ВВГнгд зі площею поперечного перерізу у 4 мм^2 . Поперечний переріз кабелю розраховується на основі довжини кабельної траси, опору навантаження та робочої потужності гучномовців. Для цих розрахунків використовувався спеціалізований калькулятор [17].

Для під'єднання кабелю до підсилювача та акустичних систем використовується роз'єм типу speakON.

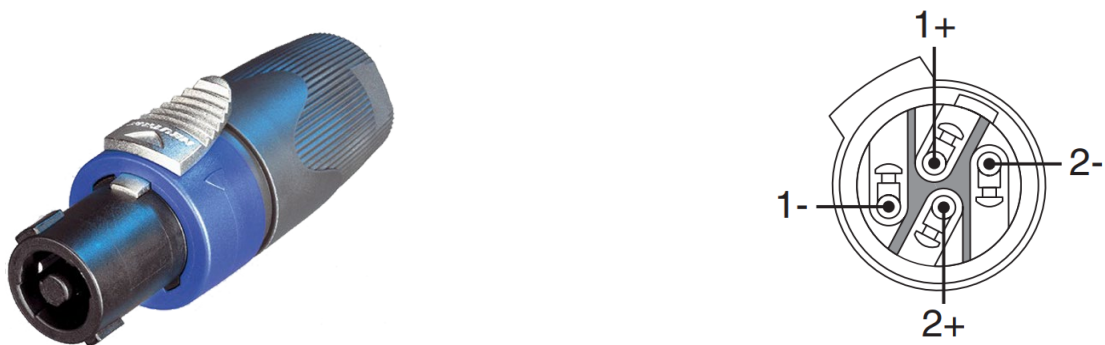


Рисунок 3.32 – Роз’єм типу speakON

Чотири жили кабелю під’єднуються до чотирьох контактів роз’єму — 1+, 1-, 2+ та 2-. Контакти 1+ та 1- йдуть на підсилення НЧ драйверів елементів масиву, контакти 2+ та 2- - на підсилення СЧ та ВЧ складових.

Паралельне підключення елементів масиву здійснюється через перемичку з кабелю ВВГнгд 4x4 мм². На кожному елементі масиву знаходяться по два входи для роз’єму speakON, які паралельно з’єднані між собою. Таким чином один з цих входів працює як вихід та під’єднується перемичкою на вхід до іншого елемента.

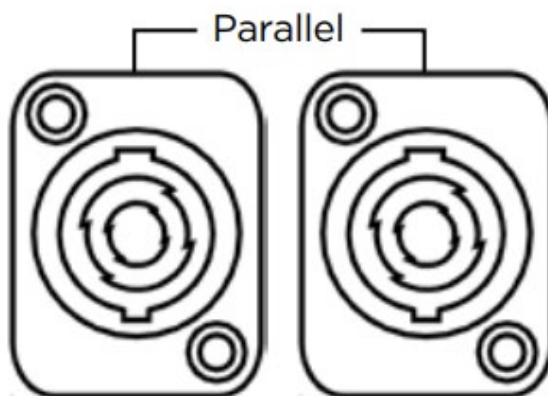


Рисунок 3.33 – Два паралельні входи speakON

Тим часом одним роз’ємом speakON здійснюється з’єднання до одночасно двох каналів підсилювача. Відтак контакти 1+ та 1- - перший канал, 2+ та 2- - другий канал.

Підключення сабвуферів до підсилювача Powersoft X4 Dante здійснюється двох жильним кабелем ВВГнгд зі площею поперечного перерізу 4 мм². Зі сторони підсилювача до одного роз’єму (який забезпечує роботу двох каналів) під’єднуються два кабелі. Таким чином двома роз’ємами відбувається

підключення чотирьох кабелів до чотирьох каналів підсилювача — по одному кабелю на канал.

Кожен кабель під'єднується до окремого сабвуфера через speakON — одна жила - 1+, друга жила — 1-.

Під'єднання фронтфілів до підсилювача відбувається кабелем ВВГнгд 2х4 мм². Підключення кабелю до гучномовців відбувається через клемну колодку, що встановлена безпосередньо на гучномовці AMU208. Підключення до підсилювача здійснюється через роз'єм типу Euroblock.



Рисунок 3.34 – Роз'єм Euroblock

Як вже було згадано, фронтфіли під'єднуються до підсилювача мостовим підключенням. Схема підключення наведена на рис. 3.31.

V-Bridge mode

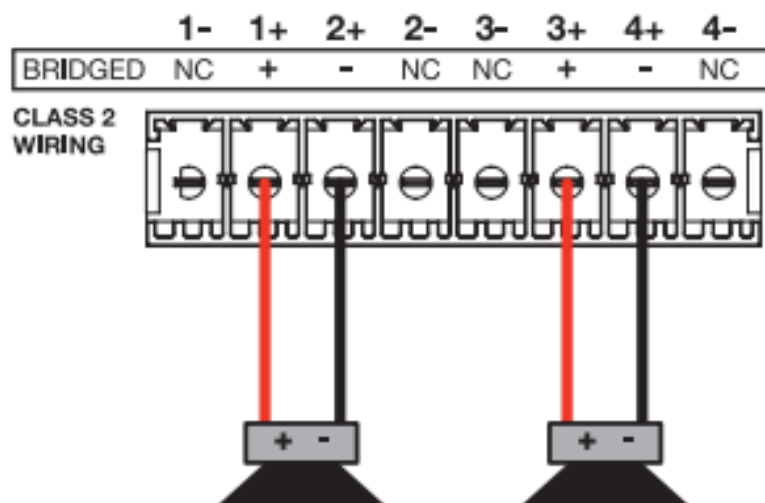


Рис 3.35 – Мостове підключення

3.8.2 Комутація підсилювачів

Всі три підсилювачі мають два варіанти отримання вхідних сигналів — цифровий та аналоговий канали.

Аналогові сигнали підсилювачі приймають від процесору ESP-880AD через мікрофонний кабель. До підсилювача X8, що живить лінійні масиви, на вхід (Analog Input 1 - 2) підведено два стерео-канали — лівий та правий. Відповідно два лінійних масиви працюють у стерео режимі.



Рисунок 3.36 – Задня частина Powersoft X8 Dante

До підсилювача X4, що підсилює сабвуфери, на вхід подається один моно-канал. Всі аналогові підключення до підсилювачів Powersoft відбуваються через роз'єми XLR.

Цифрова передача даних відбувається шляхом створення двох локальних мереж — Primary та Secondary. Для створення локальної мережі та підключення до неї декількох пристроїв застосовуються два мережевих комутатори.

На підсилювачах Powersoft наперед змонтована карта розширення для роботи з протоколом Dante. На карті розширення розташовані два Ethernet входи — Primary та Secondary, що патч-кордом підключаються до відповідних комутаторів.

До підсилювача фронтфілів Bose PM8500N на вхід (Input A) через мікрофонний кабель та роз'єм Euroblock підводиться один моно аналоговий канал. Також в даний підсилювач монтується зовнішня карта розширення Bose Dante network card, з допомогою якої відбувається цифрова передача даних.



Рисунок 3.37 – Задня частина підсилювача Bose PowerMatch PM8500N

3.8.3 Комутація звукового процесора

Звуковий процесор Bose ESP-880AD, окрім виконання своїх прямих функцій, в даному проєкті грає роль певного «трансферу» між мікшерним пультом та підсилювачами.



Рисунок 3.38 – Задня частина процесору Bose ESP-880AD

Від мікшерного пульту до процесору підводиться два мікрофонних кабелі зі стереофонічним сигналом, що під'єднуються через роз'єм Euroblock на вхід Input 1 — 2. Комутація процесору з підсилювачами відбувається через виходи Output 1 — 2, Output 3 - 4. Також в процесорі присутні два входи Ethernet, за допомогою яких процесор під'єднується до локальних мереж Dante.

3.8.4 Комутація мікшерного пульту та стейджбоксу

Мікшерний пульт являє собою центральний елемент в усій системі звукопідсилення. Він є зв'язковою ланкою між акустичними системами, мікрофонами, стейджбоксом, до якого можуть під'єднуватися музичні інструменти та сценічні монітори, та зовнішніми джерелами звуку. За допомогою мікшерного пульту звукорежисер і керує усією звуковою інсталяцією.



Рисунок 3.39 – Входи та виходи мікшерного пульта Yamaha TF5

На XLR-входи (Input) мікшерного пульта, перш за все, під'єднуються мікрофонні бази. Також сюди можна під'єднати зовнішні джерела звуку, наприклад зовнішню аудіокарту для ноутбуку.

На XLR-виходи Output під'єднується два кабелі, що прямують до звукового процесору. Цих два канали формують глобальний Master-канал та передають змікшований сигнал на процесор.

Також до виходу під'єднуються два студійних монітори Yamaha HS8, які здійснюють моніторинг для звукорежисера.

У слот розширення вставляється карта аудіоінтерфейсу NY64-D, яка дає можливість працювати зі стейджбоксом за протоколом Dante. Передача даних між стейджбоксом та мікшерним пультом відбувається лише одним каналом Primary (або Secondary). Відповідно від мікшерного пульта на сцену прокладається лише один кабель витвої пари.

В свою чергу до XLR-виходів стейджбоксу під'єднуються чотири сценічних монітори FMX15. Монітори можна підключати як на чотири вихідних окремих канали (для можливості керування кожним монітором окремо), так і на один єдиний канал, залінкувавши їх один з одним (підключивши їх паралельно).



Рисунок 3.40 – Стейджбокс Yamaha T101608-D

На входи стейджбоксу можна підключати різноманітні музичні інструменти, додаткові мікрофони чи інші джерела. Також є можливість під'єднати ще один такий самий стейджбокс через патч-корд, якщо цього виявиться замало.

3.8.5. Схема підключення мікрофонних систем

В систему приймального тракту, що приймає голосовий сигнал, перетворює його на радіо-, а потім на електричний сигнал, входять мікрофони, передавачі, антени, спліттери та мікрофонні бази.

Актор на сцені говорить у мікрофон, який перетворює акустичний сигнал в електричний та передає його на радіопередавач. Радіопередавач перетворює електричний сигнал на радіосигнал та передає його на виносні антени на певній радіочастоті. Антени передають через коаксіальний кабель радіочастотний електричний сигнал на спліттер. Спліттери виконують функцію розділення сигналу з двох радіочастотних антен та направлення його на декілька приймачів багатоканальної мікрофонної системи. Далі, приймачі, які являють собою мікрофонні бази, передають сигнал на мікшерний пульт шляхом підключення до відповідних XLR-виходів.

Загальна схема комутації даної багатоканальної системи наведена на рис. 3.41. Оскільки в нашому проєкті довжина коаксіального кабелю не передбачає довжину більше 10 м, антенні бустери, що зображені на рис. 3.41, застосовуватися не будуть.

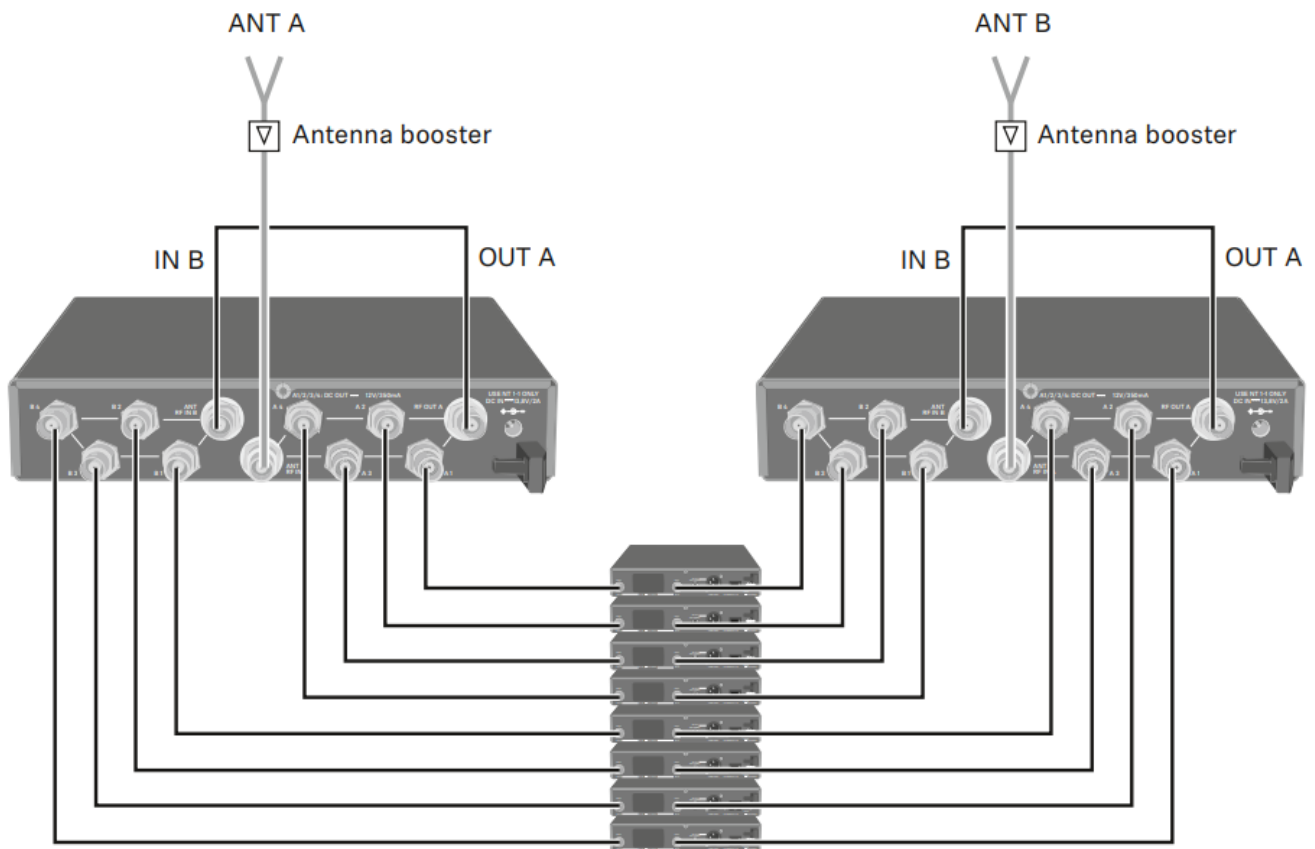


Рисунок 3.41 – Комутація багатоканальної мікрофонної системи з восьми приймачами [18]

3.8.6. Електротехнічний розрахунок

РЕКове обладнання, до якого входять підсилювачі потужності, процесор, комутатори потребує електротехнічного прорахунку. Основними споживачами електроенергії є підсилювачі потужності. Вони потребують великих енерговитрат та мають високу споживчу потужність. Розглянемо кожен з них по черзі.

Найбільш енерговитратним підсилювачем є Powersoft X8. Його максимальна споживча потужність згідно технічної документації (рис. 2.10) становить 5 кВт. Для його живлення рекомендується трифазне підключення та застосування трьохполюсного автоматичного вимикача класу С з номінальним струмом 16 А.

Підсилювач Powersoft X4 має максимальну споживчу потужність 3 кВт та може обмежитися однофазним підключенням та застосування однополюсного автоматичного вимикача з номінальним струмом 16 А.

Такий самий вимикач необхідний і для підсилювача Bose PM8500N. Його максимальна споживча потужність становить 3.5 кВт.

Процесор, у порівнянні з підсилювачами потужності, практично не споживає електроенергії — його максимальна споживча потужність становить 37 Вт.

Підсилювачі Powersoft X4 та Bose PM8500N підключаються на окремі фази. Підключення їх на одну й ту ж саму фазу є недопустимим та може спровокувати перекіс фаз. Процесор варто підключити на третю, окрему від підсилювачів, фазу хоча його енергозатрати практично не відіграватимуть жодної ролі у електроспоживанні усієї рекової шафи.

Загальна споживча потужність усіх приладів становитиме трохи більше 11.5 кВт, тобто трохи менше ніж 4 кВт на кожну фазу. Розрахуємо силу електричного струму для трифазної мережі за наступною формулою:

$$I = \frac{P}{1,73 \cdot \cos \varphi \cdot 380V},$$

де P — споживча потужність, $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності, що відображає відношення активної та реактивної складової опору навантаження та становить в даному випадку $\cos \varphi = 0,9$.

Внаслідок розрахунку отримаємо силу струму номіналом 19,4 А. Відповідно необхідно встановити вхідний трьохполюсний автоматичний вимикач класу С з номінальним струмом 25 А. На рис. 3.42 наведена електрична схема щодо підключення РЕКового обладнання.

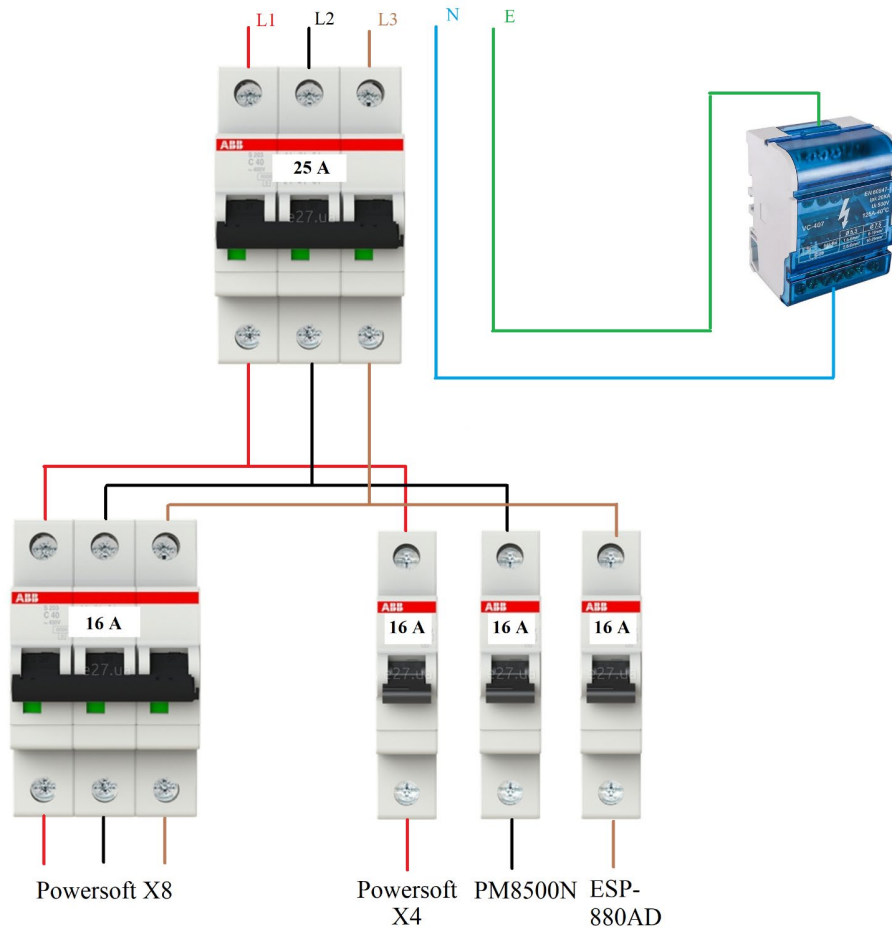


Рисунок 3.42 – Електрична схема розключення обладнання

4. ОБГОВОРЕННЯ

4.1 Аналіз акустичного розрахунку приміщення

Метою акустичного розрахунку приміщення було впевнитися, що приміщення глядацької зали Франківського драмтеатру володіє прийнятними акустичними характеристиками приміщення для створення в ньому комфортного акустичного середовища. В разі невідповідності тих чи інших параметрів було б необхідне внесення пропозицій щодо покращення цих характеристик. Однак приміщення відповідає має гарні акустичні характеристики та практично не потребує удосконалення.

Розрахунок загального поглинання показав, що оптимальні значення фонду поглинання практично ідентичні реальному. На деяких частотах спостерігаються навіть від'ємні значення додаткового фонду. Це означає, що на деяких частотах поглинання навіть більше, ніж потрібно.

Програма Modeler з-поміж всього іншого дала можливість дослідити стандартний час реверберації, що був розрахований програмно. Це значення можна порівняти з розрахованим у розділі 2.2, тим самим перевіряючи розрахунки.

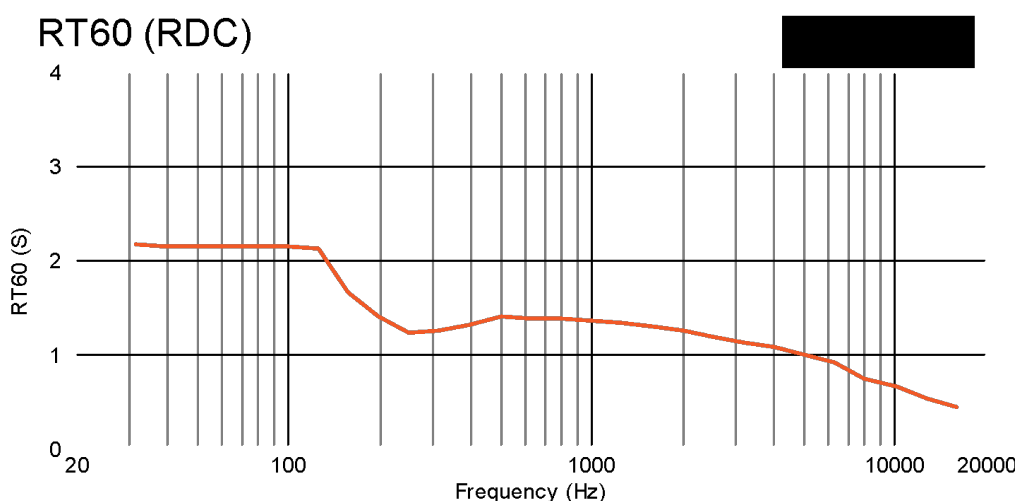


Рисунок 4.1– Графік стандартного часу реверберації в залежності від частоти

Порівнюючи даний графік з результатами з табл. 3.2 можна сказати, що розраховані та експериментальні значення є справді схожими. Єдиної відмінністю

є дещо те, що експериментальні значення є дещо більшими за розраховані. Однак форми графіків є практично ідентичними.

Розрахунок звукоізоляції продемонстрував можливе перевищення допустимого рівня шуму до 6 дБ. Дана невідповідність насправді не є значною. Тим не менш, встановлення більш звукоізолюваних дверей наблизила б показник рівня шуму в приміщенні до рекомендованого.

Шлях вирішення проблеми може також полягати в удосконаленні вже існуючих дверей шляхом обшивки або оббивки звукоізолюючими матеріалами (синтепон, поролон, вата) та перекриття дерев'яною обшивкою з метою декорування. Дана процедура дещо матиме дешевшу вартість, аніж встановлення нових важких дверей.

Велику роль в звукоізоляції даної глядацької зали відіграє високий коефіцієнт поглинання звуку оточуючих поверхонь. Таким чином, ті звукові хвилі, що проникли в приміщення, не «гуляють» по залу, а втрачають значну частку інтенсивності внаслідок перевідбиття.

Загалом, необхідно відзначити, що при проектуванні театрів, зокрема і цього, до звукоізоляції глядацького залу приділялася велика увага. Тому, зазвичай, в уже побудованих театрах практично не спостерігається значних проблем зі звукопоглинанням чи звукоізоляцією. Тим не менш, певні відхилення від допустимих норм мають право на існування.

4.2. Аналіз розрахунку звукового поля

Виходячи з результатів розрахунку звукового поля одразу можна сказати, що підібрана акустична система задовольняє усі вимоги щодо нерівномірності, рівня звукового тиску та розбірливості.

Аналізуючи розрахунки прямого звукового поля можна виділити декілька моментів. Перш за все, варто зазначити, що для різних частот ми спостерігаємо різні картини. Так, низькочастотна складова звукового поля (125 Гц) переважає у

ділянці поблизу сцени, саме там, де відстань до сабвуферів найменша. Зі збільшенням частоти покриття звуком приміщення стає кращим і нерівномірність звуку стає меншою.

З рис. 3.9 — 3.14, у СЧ діапазоні, ми можемо побачити роль фронтфілів у даній конфігурації системи звукопідсилення. У випадку їх відсутності зона перших декількох рядів мала б «провал» у СЧ — ВЧ діапазонах. Фронтфіли й були покликані заповнити даний «провал» та зробити звукове поле більш рівномірним.

На графіках для 1 кГц, 2 кГц та 4 кГц ми можемо спостерігати червону продовговату пляму посередині залу, яка вказує на дещо підвищений рівень звуку на цій ділянці. Цю пляму також видно на рис. 3.15. Даний сплеск рівня звукового тиску виникає через інтерференцію звуку, що виникає внаслідок роботи двох масивів гучномовців. В свою чергу інтерференція пояснюється через абсолютну симетричність глядацького залу та симетричним розташуванням акустичних систем відносно центру залу. Дану проблему можна вирішити створенням асиметричності стін. Проте це економічно необґрунтовано, в свою чергу через те, що в сумарному звуковому полі інтерференція не матиме великого впливу на загальну картину. Крім того, людина не має змоги явно розрізнити прямий звук від відбитого під час відтворення музичних чи мовних програм у глядацькому залі.

Нерівномірність звукового поля в результаті роботи системи звукопідсилення становить 3 дБ. Порівнюючи це значення з табл. 1.1 можна сказати, що воно є удвічі меншим за максимально допустиме (6 дБ), що задовольняє вимогам.

Аналізуючи результати розрахунку сумарного звукового поля, варто звернути увагу, що інтерференція на певних частотах присутня також і тут. Тим не менш, загальна картина (рис. 3.23) доводить нам, що насправді даний сплеск практично не буде відчуватися слухачами.

Крім того, на графіках сумарного поля ми маємо змогу споглядати різне покриття звуком глядацького залу на різних частотах. Так, наприклад, ми

продовжуємо спостерігати над більшим рівнем НЧ складової на перших декількох рядах відносно усього іншого простору залу. При збільшенні частоти дана нерівномірність зникає.

Акустична система, забезпечуючи необхідний рівень звукового тиску на рівні 100 дБ, матиме значний запас потужності та не буде знаходитися у перенавантаженні, що є необхідною умовою при проектуванні.

Окрім того, можна звернути увагу й на нерівномірність сумарного звукового поля. Так, згідно вищенаведених даних, рівень сумарного звукового поля у 95% точках приміщення буде входити у діапазон 111,8 — 113,4 дБ. Відповідно нерівномірність буде становити 1.6 дБ.

Результатом розрахунків індексу розбірливості STI є розраховане значення параметру $STI = 0,64$. Воно відповідає класу приміщень D стандарту IEC 60268-16. Дане значення актуальне для пустої зали без глядачів.

При наявності глядачів розбірливість буде трохи кращою завдяки додатковому поглинанню, що створюється людьми та їх одягом. У випадку 50% заповненості значення параметру STI підвищиться до 0,65, що на 0,01 більше ніж за відсутності глядачів.

Підвищення насправді не є значним та не буде значно помітним. Це пояснюється тим, що у театрі встановлені м'які глядацькі крісла, які мають високий коефіцієнт поглинання. Коефіцієнт поглинання глядачів не є суттєво більшим, тому відповідно і розбірливість не буде сильно відрізнятися.

При 80% заповненості глядацької зали STI підвищився до значення 0,66. Таким чином різниця розбірливості мови в пустому залі та практично повному становить 0,02, що не є дуже значною зміною.

Іншим цікавим фактом є те, що ближче до стін розбірливість дещо падає. Це можна пояснити тим, що вздовж стін вплив дифузного звукового поля є більшим у порівнянні з іншими ділянками глядацької зали. Саме з огляду на цей факт рекомендують встановлювати глядацькі місця не менше ніж за 1.5 м від стін.

4.3. Наслідки після реалізації проєкту

Перш за все, реалізація проєкту дала б змогу створити в Франківському драмтеатрі систему звукопідсилення, яка б відповідала вимогам європейського та світового рівня. При проєктуванні, в першу чергу, враховувалися іноземні рекомендації щодо розбірливості мови, що є найважливішою ознакою якісної системи озвучення або звукопідсилення. Також, велика увага приділялася й вибору апаратури, яка включає продукти всесвітньо відомих компаній, які відомі якістю своєї продукції. Важливим було й застосування нових технологій, як наприклад цифрова передача звукових даних. Як результат, ми б отримали ще один український театр з новітнім звуковим оснащенням.

Реалізація системи звукопідсилення для Франківського драмтеатру забезпечить нові враження для відвідувачів, оскільки вони матимуть змогу не лише бачити виставу очима, а ще слухати аудіосупровід вистави. Також реалізація призведе до появи нових можливостей постановки вистав для режисерів. Постановники зможуть вносити нові елементи з використанням аудіо спецефектів для додаткового враження.

Окрім того, проєкт передбачає застосування обладнання, що дозволяє проводити виступи з живою музикою. Мова йде про насамперед різноманітні концерти з використанням електроінструментів. При бажанні, існує й можливість проведення різноманітних конференцій та презентацій. Відповідно Івано-Франківський драматичний театр зможе проводити нетипові заходи перш за все заради додаткового фінансування.

Іншою важливою метою реалізації було створити прецедент для інших театрів. Втілення в життя проєкту показало б не лише б теоретичну можливість оновлення технічного оснащення українських театрів, а й було б чудовим прикладом. Виділення коштів на реалізації таких проєктів створили б у свою чергу створення нових профільних компаній та виробників акустичного обладнання, що б породило конкуренцію та удосконалення інструментів розрахунку.

Проте, перш за все, від застосування нової системи звукопідсилення виграли б люди — відвідувачі, акторський склад, режисери-постановники, музиканти. Гості театру мали б змогу насолоджуватися якісними музичними та мовними програмами, що б спонукало їх частіше відвідувати театр. Мікрофонні системи, що прораховані в рамках проєкту, значно полегшили б життя акторам. Режисери б мали більше варіативності при постановці вистав та могли вносити нові цікаві елементи. Виграв би й сам театр, оскільки в такому випадку він мав би змогу належати до когорта найбільш технологічно оснащених театрів України.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ

Стартап проєкт — компанія, що спеціалізується у вирішенні задач розробки систем звукопідсилення та озвучування будь-якої складності, а також акустичного проєктування приміщень.

5.1 Актуальність проєкту та проблеми, що він вирішує

Актуальність даного стартап проєкту впливає з наступних тез:

- більшість державних театрів та палаців культури потребують комплексної розробки систем звукопідсилення;
- розважальний бізнес в Україні демонструє стрімкий ріст;
- вітчизняні виробники акустичної техніки в Україні монополізують ринок;
- відсутня конкуренція серед існуючих подібних компаній.

Проблеми, що вирішує компанія — стартап:

- створення проєктів систем звукопідсилення для державних культурних установ;
- реалізація систем звукопідсилення за розробленими проєктами;
- створення попиту на акустичні системи та звукове обладнання, створення умов для появи нових компаній — виробників акустичного обладнання в Україні;
- працевлаштування молодих спеціалістів — звукових інженерів;
- створення конкуренції та підвищення планки технічного оснащення та інструментів розробки проєктів;
- збільшення відвідуваності.

5.2 Аналіз ринку

В Україні ринок розробки акустичних проєктів не є потужним. Існує невелика кількість компаній що займаються акустичним проєктуванням

приміщень та детальним розрахунком усіх акустичних характеристик. Проекти по розробці систем звукопідсилення та озвучування розробляють лише дві компанії в Україні.

В Україні немає жодної компанії, яка мала б комплексний підхід до вирішення задач акустичного комфорту та звукофікації приміщення водночас. Даний проєкт покликаний заповнити цю нішу та створити конкуренцію існуючим компаніям.

5.3 Споживачі, ціннісна пропозиція

Споживачами є державні та недержавні культурні та розважальні установи, торгові центри, ресторани, конгресно-виставкові центри, спортивні установи, офісні простори. Кінцевими споживачами є відвідувачі вищезгаданих місць.

Ціннісна пропозиція полягає у:

- створенні проєктів зі сучасним звуковим обладнанням та передовими технологіями;
- забезпеченні акустичного комфорту у приміщеннях;
- можливості створення різноманітних конфігурацій для проведення різних типів заходів;
- створення візитівки закладів.

Для просування маркетингової продукції будуть використовуватися наступні заходи та способи:

- виставки;
- акустичні конференції;
- залучення підтримки від виробників звукового обладнання;
- проведення заходів для актуалізації питання технічного оснащення вітчизняних культурних об'єктів.

5.4 Можливі ризики

Можливі ризики для компанії можуть бути внутрішніми, тобто ризики, що створюються у процесі функціонування компанії, та зовнішніми — ризики, що впливають із зовнішніх факторів.

Таблиця 5.1 – Класифікація ризиків для компанії — стартап - проекту

№	Об'єкт	Визначення	Приклад
1.	<i>Внутрішні ризики</i>		
1.1	<i>Досвід</i>	На перших етапах функціонування компанії можуть виникати проблеми з пошуком оптимальних рішень та відповідно зменшенням довіри з боку клієнтів	При розробці проекту згідно ТЗ застосоване неоптимальне рішення
2.	<i>Зовнішні ризики</i>		
2.1	<i>Держава</i>	Фінансові ризики, політичні ризики	Держава не має коштів для реалізації проекту звукопідсилення для державного театру
2.2	<i>Корупція</i>	Ризики пов'язані з нечесними способами конкуренції	Компанія-конкурент підкуповує потенційного клієнта, здобуваючи таким чином його лояльність
2.3	<i>Людський ресурс</i>	Відсутність кваліфікованих спеціалістів	Молоді кваліфіковані спеціалісти не бажають влаштуватися в компанію у зв'язку з відсутністю перспективи росту
2.4	<i>Контрагент и</i>	Ризики, пов'язані з невиконанням умов договору однієї із сторін	Виробник не виконує умов договору щодо поставки акустичного обладнання для реалізації проекту

Перелік посилань

- [1] «Театр,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%B0%D1%82%D1%80>.
- [2] М. Сапожков, Звукофикация помещений: Проектирование и расчёт, Москва: Связь, 1979.
- [3] В. Дідковський, С. Луньова та Б. О.В., Акустична техніка, т. 13, Київ: НТУУ "КПІ", 2012.
- [4] В. Кнудсен, Архитектурная акустика, Харьков: ГНТИ Украины, 1936.
- [5] С. Луньова та В. Б. О. Заець, Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи "Акустичний проєкт приміщення" з курсу "Прикладка акустика", Київ: НТУУ "КПІ", 2015.
- [6] Л. Папернов, М. Н.Т. и М. Г.М., Расчёт и проектирование систем озвучивания в закрытых помещениях, Москва: Связь, 1970.
- [7] «IEC 60268-16:2020,» 25 09 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://webstore.iec.ch/publication/26771>.
- [8] Bose Corporation, «TECHNICAL DATA. ShowMatch SM10 DeltaQ array loudspeaker,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://assets.bose.com/content/dam/Bose_DAM/Web/pro/global/products/loudspeakers/ShowMatch_SM10/Downloads/Technical%20Data%20Sheet/tds_ShowMatch_SM10_Letter.pdf.
- [9] Powersoft, «X8 Datasheet,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.powersoft.com/wp-content/uploads/2018/04/Powersoft_X8_DS_EN_WEB.pdf.
- [10] Bose Corporation, «TECHNICAL DATA ShowMatch SMS118 DeltaQ array subwoofer,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://assets.bose.com/content/dam/Bose_DAM/Web/pro/global/products/loudspeakers/ShowMatch_SM118_Subwoofer/Downloads/Technical%20Data%20Sheet/tds_ShowMatch_SMS118_Letter.pdf.
- [11] Powersoft, «X4 Datasheet,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.powersoft.com/wp-content/uploads/2018/04/Powersoft_X4_DS_EN_WEB.pdf.
- [12] Bose Corporation, «TECHNICAL DATA ArenaMatch Utility AMU208,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://assets.bose.com/content/dam/Bose_DAM/Web/pro/global/products/loudspeakers/ArenaMatch_AMU208/Downloads/technical_data_sheet/tds_a_renamatch_utility_amu208_en.pdf.
- [13] Bose Corporation, «TECHNICAL DATA PowerMatch PM8500N,» [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://assets.bose.com/content/dam/Bose_DAM/Web/pro/global/products/

[amplifiers/PowerMatch_PM8500_PM8500N/Downloads/Technical_data_sheet/tds_pm8500n_ltr.pdf](#).

- [1
4] dB Technologies, «FMX series,» [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: https://www.dbtechnologies.com/docs/299/5481/FMX-series_MAN_REV.1.0.pdf.
- [1
5] Yamaha Corporation, «Серия TF - Спецификации,» [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://ru.yamaha.com/ru/products/proaudio/mixers/tf/specs.html#product-tabs>.
- [1
6] Yamaha Corporation, «HS Series - Specs,» [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: https://usa.yamaha.com/products/proaudio/speakers/hs_series/specs.html#product-tabs.
- [1
7] Electro-Voice, «Cableloss Calculator,» [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.notion.so/Cable-Calculator-dab5186edab843618469985a905eb56e#0f2edafd68be4d26b2b2a1293752c600>.
- [1
8] Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, «ASA 214 Quick Guide,» [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/9960/ASA_214_Quick_Guide_03_2018.pdf.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Основний фонд поглинання

Загальна назва поглинача	Площа або кількість осіб	Коефіцієнти поглин. / фонди поглин. на розрах. частотах					
		125	250	500	1000	2000	4000
1. Стеля, гіпсова штукатурка	1010 м ²	0.15 / 152	0.11 / 111	0.04 / 40	0.04 / 40	0.07 / 71	0.08 / 81
2. Підлога, ковролін	284 м ²	0.02 / 85	0.06 / 17	0.14 / 40	0.37 / 105	0.6 / 170	0.65 / 185
3. Підлога, стільці м'які	365 м ²	0.55 / 201	0.68 / 248	0.7 / 255	0.77 / 281	0.75 / 274	0.66 / 241
3. Стіни, фанерна обшивка	878 м ²	0.09 / 79	0.45 / 395	0.25 / 220	0.15 / 132	0.1 / 88	0.1 / 88
4. Вікна, скло одинарне	8 м ²	0.35 / 2.8	0.25 / 2	0.18 / 1.4	0.12 / 1	0.07 / 0.5	0.04 / 0.5
5. Двері соснові	15 м ²	0.1 / 1.5	0.11 / 1.6	0.1 / 1.5	0.08 / 1.2	0.08 / 1.2	0.11 / 1.5
Загальне поглинання:		531	847	595	583	618	605
Брак поглинання:		-46	-241	36	39	-60	-257

Додаток Б. Схема комутації звукового обладнання

