

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіо технологій і технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження системи озвучування приміщень типу амфітеатр

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи СТМм-22-2

Віталій СЕРГЄЄВ

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма системи, технології

і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва освітньої програми)

Керівник професор Вікторія УСИК

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Володимир КАРТАШОВ

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіо технологій і технічного захисту інформації

Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«___» _____ 2024

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Сергеєву Віталію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження системи озвучування приміщень типу амфітеатр

затверджена наказом по університету від " 20 " 11 2023 р. № 1371 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Приміщення Харківського державного цирку та його основні параметри
2. Існуюча система звукопідсилення 3. Програмне забезпечення для моделювання акустичних умов -
Ease 4.3.. 4. Запропонувати систему звукопідсилення для створення оптимальних акустичних умов в
приміщенні типу амфітеатр 5.Провести моделювання та аналіз основних характеристик звукового
поля (електроакустичний розрахунок)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Акустика приміщень.

2. Особливості проектування приміщень типу амфітеатр

3. Модель діючого підзвучення амфітеатру на прикладі Харківського державного цирку

4. Запропонована модель озвучення амфітеатру на прикладі Харківського державного цирку

Висновки

Перелік посилань

Додатки


5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 1. Мета та задачі дипломної роботи (1 аркуш А4) 2. Амфітеатр. Переваги та недоліки (1 аркуш А4). 3. Цирк, як приклад приміщення типу амфітеатр (1 аркуш А4). 4. Акустичні характеристики оцінювання моделі озвучення цирку (1 аркуш А4).5. Модель Харківського

державного цирку, яка створення у EASE 4.3 (1 аркуш А4) 6. Існуюча системи озвучення Харківського державного цирку (1 аркуш А4) 7. Рівень спрямованого звукового тиску при існуючій системі озвучення (1 аркуш А4). 8. Показник прямого звуку для існуючій системи озвучення (1 аркуш А4) 9. Показник мовної ясності С50 для існуючої системи озвучення (1 аркуш А4) 10. Показник музичної ясності С80 для існуючої системи озвучення (1 аркуш А4). 11. Відсоток артикуляційних втрат приголосних для існуючої системи озвучення (1 аркуш А4).12. Індекс передачі мови для існуючої системи озвучення (1 аркуш А4) 13. Моделювання запропонованої системи озвучення Харківського державного цирку (1 аркуш А4). 14 Рівень спрямованого звукового тиску при запропонованої системі озвучення(1 аркуш А4). 15. Показник прямого звуку для запропонованої системи озвучення (1 аркуш А4) 16. Показник мовної ясності С50 для запропонованої системи озвучення (1 аркуш А4) 17. Показник музичної ясності С80 для запропонованої системи озвучення (1 аркуш А4). 18. Відсоток артикуляційних втрат приголосних для запропонованої системи озвучення (1 аркуш А4).19. Індекс передачі мови для запропонованої системи озвучення (1 аркуш А4) 20. Висновки (1 аркуш А4).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір і обґрунтування теми, постановка проблем	01.09.23–13.09.23	
2	Аналітичний огляд літератури	14.09.23–27.09.23	
3	Створення моделі приміщення цирку	28.09.23–11.10.23	
4	Електроакустичний розрахунок з існуючою системою звукопідсилення	12.10.23–25.10.23	
5	Обґрунтування устаткування для системи звукопідсилення. Моделювання.	26.10.23–10.11.23	
6	Обґрунтування устаткування для системи звукопідсилення. Моделювання.	11.11.23–25.11.23	
7	Перевірка керівником	26.11.23–02.12.23	
8	Перевірка на академічний плагіат	03.12.23	
19	Перевірка завілувачем кафедри, рецензування	04.12.23–07.12.23	

Дата видачі завдання _____ 20.12.2023 р. _____

Студент _____  _____ Віталій СЕРГЄЄВ _____

(підпис)

Керівник роботи _____  _____ Вікторія УСИК _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 70 с., 46 рис., 6 табл., 25 джерел, 2 додатки.

АМФІТЕАТР, СИСТЕМА ОЗВУЧЕННЯ, ЯСНІСТЬ МОВНОГО КОНТЕНТУ, ЯСНІСТЬ МУЗИЧНОГО КОНТЕНТУ, ЧАС РЕВЕРБЕРАЦІЇ.

Об'єкт дослідження – звукове поле в приміщенні типу амфітеатр.

Предмет дослідження – система озвучення приміщення та об'єктивні показники звукового поля, що формуються системою звукопідсилення.

Мета роботи – дослідити систему озвучення приміщення типу амфітеатр на прикладі приміщення цирку, виявити та усунути недоліків існуючої системи озвучення Харківського державного цирку, запропонувати устаткування нової системи озвучення з метою оптимізації характеристик звукового поля.

Методи дослідження: використання аналітичних методів, включаючи огляд літератури та аналіз існуючих методів оцінки та моделювання звукового поля в приміщенні та проведення електроакустичних розрахунків.

В роботі було проведено дослідження якості існуючого акустичного оснащення в амфітеатрі на прикладі Харківського державного цирку. За допомогою пакету програм EASE 4.3 було створено модель приміщення цирку з повним дотримання розмірів та матеріалів, використаних при будівництві цирку. У створеній моделі було імітовано існуюче розміщення акустичних систем та проведений електроакустичний розрахунок, на основі аналізу якого було запропоновано нове обладнання для системи озвучення. Проведений порівняльний аналіз результатів електроакустичних розрахунків для існуючої та запропонованої системи озвучення.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualifying paper has: 70 p., 46 pic., 6 tables 25 sources, 1 supplements.

AMPHITHEATER, SPEAKING SYSTEM, CLARITY OF LANGUAGE CONTENT, CLARITY OF MUSICAL CONTENT, REVERBERATION TIME.

The object of research is the sound field in an amphitheater-type room.

The subject of the study is the sound system of the room and objective indicators of the sound field formed by the sound reinforcement system.

The purpose of the work is to investigate the sound system of an amphitheater-type room using the example of a circus room, to identify and eliminate the shortcomings of the existing sound system of the Kharkiv State Circus, to propose the equipment of a new sound system in order to optimize the characteristics of the sound field.

Research methods: use of analytical methods, including a literature review and analysis of existing methods of assessment and modeling of the sound field in the room and conducting electroacoustic calculations.

In the work, a study of the quality of the existing acoustic equipment in the amphitheater was carried out using the example of the Kharkiv State Circus. With the help of the EASE 4.3 program package, a model of the circus room was created, fully respecting the dimensions and materials used in the construction of the circus. In the created model, the existing placement of acoustic systems was simulated and an electroacoustic calculation was carried out, based on the analysis of which new equipment for the sound system was proposed. A comparative analysis of the results of electroacoustic calculations for the existing and proposed sound system was carried out.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Акустика приміщень	8
1.1 Основи архітектурної акустики	11
1.2 Вимоги до розмірів та форми залів	12
1.3 Застосування геометричних (променевих) відбиттів і їх побудова ...	15
1.4 Рівень звукового тиску.....	19
1.5 Визначення рекомендованого часу реверберації.....	21
1.6 Розрахунок часу реверберації проектованого залу	23
1.7 Перевірка розбірливості мови в залі	28
2 Особливості проектування приміщень типу амфітеатр	30
2.1 Поява та розвиток амфітеатрів, їх переваги та недоліки	30
2.2 Цирк, як приклад сучасного амфітеатру.....	36
3 Модель діючого підзвучення амфітеатру на прикладі Харківського державного цирку.....	41
3.1 Діюче акустичне оформлення Харківського державного цирку	42
4 Запропонована модель озвучення амфітеатру на прикладі Харківського державного цирку.....	55
Висновки	66
Перелік джерел посилання	68
Додатки.....	71
Додаток А.....	73
Додаток Б	93

ВСТУП

Протягом декількох століть у концертних залах, театрах, амфітеатрах, лекційних залах, церквах та ін. лунали лише природні джерела звуку – голос оратору та співака, гра музикантів та інші. Визначну роль для передачі звуку при цьому мала природня акустика залу, що залежить від його форми, розмірів, розміщення звукопоглиначів та ін. У ХХ столітті з однієї сторони з'явилися нові технічні можливості у зв'язку з винаходом та розвитком звукопідсилювальної апаратури, з іншої сторони, мета вмістити як можна більше слухачів призвела до будівництва залів дуже великих розмірів; при цьому урбанізм в архітектурі призвів до зміни конфігурації залів – вони отримали більш витянуті форми з низькими стелями.

Також з часом змінились стилі та характер звучання музики. Слухачі, тим паче молоді, звикли слухати музику на дуже високих рівнях гучності. Розширилося будівництво спортивних будівель на сотні тисяч глядачів, де виявилась необхідною можливість проведення та трансляції концертів при високих рівнях шумів. Усе це визвало значні зміни у вимогах до акустичних параметрів сучасних великих залів, тому на сьогоднішній день велику актуальність отримало широке використання у них систем озвучення та звукопідсилення.

Метою даної дипломної роботи є дослідження особливостей озвучення залів, що мають форму амфітеатру. Предметом дослідження стало державне підприємство «Харківський державний цирк». Цей вибір зумовлено тим, що циркові будівлі є найяскравішими представниками амфітеатрів, оскільки саме в них глядацькі місця розміщуються по всій окружності арени за винятком місця розміщення куліс та оркестру. Також вагомим фактором є те, що саме для циркових вистав музичне супроводження є вкрай необхідним. Музика дозволяє артистам більш ефективно художньо-емоційно впливати на враження глядачів від вистави. Музика в цирку використовується також як

ритмічний супровід, вона характеризує дію, що відбувається на манежі. Характер роботи жонглерів, антиподистів, темпових акробатів та більшість циркових трюків вимагають повної відповідності темпу і ритму, а зміна комбінацій в названих номерах – перш за все зміна темпу та ритму виконання трюків. Це надає номеру відому емоційність і органічність, тобто збіг акустичного і пластичного вираження ритму працює на цілісність манежної дії, манежного образу і тим самим більш емоційного сприйняття.

Музичний супровід для циркових номерів використовувався з самого початку заснування цирку, тоді усі вистави проходили у супроводі оркестру. З часом характер музичних композицій почав змінюватися, почала з'являтися електронна музика і одного лише оркестру для супроводу вистав стало замало. Тому для сучасних цирків необхідним є оснащення приміщення системами озвучення та звукопідсилення.

Системою озвучення називається комплекс електроакустичних пристроїв, що складаються з випромінювачів, мікрофонів, підсилювачів, різних коректорів та ін., що встановлені спеціальним чином у залах, на стадіонах, та інших приміщеннях, призначених для відтворення звукових сигналів з високим рівнем гучності для всіх слухачів.

Необхідність в системах озвучення з'являється тоді, коли потужність природніх джерел виявляється недостатньою для забезпечення необхідної чутності в усій зоні розміщення слухачів. Чутність може бути поганою через високий рівень шумів, значних відстаней до слухачів, несприятливих акустичних умов в залі та ін. На сьогоднішній день системи звукопідсилення використовуються в усіх залах, призначених для масових концертних видовищ.

Вважаючи на те, що кожне приміщення має свої акустичні особливості, слід зауважити, що і розміщення систем озвучення в цих приміщеннях повинно відбуватися за певними правилами.

1 АКУСТИКА ПРИМІЩЕНЬ

Абсолютно будь-яке приміщення має власні акустичні властивості. Звукові хвилі, що розповсюджуються у приміщенні, зустрічають різні перешкоди на своєму шляху. Залежно від форми, структури, матеріалу поверхні звук може відбиватися, розсіюватися і поглинатися [1-3].

Акустика приміщень – це розділ акустики, який вивчає поширення звукових хвиль в приміщенні, а також відбиття і поглинання звуку. Значна частина перешкод відображає звуковий шум, створюючи явище реверберації – багаторазового і рівномірного відбиття хвиль звуку в приміщенні з їх поступовим загасанням. Характеристики та особливості поглинання і розсіювання часто використовуються при корекції акустики.

Витоки архітектурної або будівельної акустики сягають глибокої давнини. Акустичні завдання і принципи в ті часи ставилися, а також вирішувалися в зв'язку зі зведенням гігантських культових та інших громадських споруд у вигляді залів для видовищ і зборів.

Зодчі Вавилону, Ассирії, Стародавнього Єгипту в V-II тисячоліттях до н. е. будували неймовірні храми, які вражали виразною архітектурою і шикарним художнім оздобленням. І масштабні будівельні конструкції, і живопис, і скульптура - все було направлено на те, щоб придушити психіку тих, хто молиться, сформувані у них відчуття власної нікчемності, містичної боязні божественних сил. Давнім архітекторам, мабуть, вже були відомі закономірності поширення і відбиття звукових хвиль. Користуючись своїми знаннями, вони досягали акустичних ефектів, що вражають уяву віруючих. Мистецтво Стародавньої Греції вважається однією з основних вершин світової цивілізації. Давньогрецькі архітектори демонстрували своє уявлення про силу і красу людини, його постійному зв'язку з навколишнім середовищем. Поряд з храмовими спорудами акцент робився на будівництво будівель громадського призначення. Традиції грецьких будівельників були незабаром продовжені

римськими послідовниками. У наш час в обов'язковому порядку необхідне встановлення потужних систем звукопідсилення навіть в залах місткістю не більше 200-300 осіб. Тому свідчення істориків про місткість древніх римських і грецьких театрів здаються просто фантастичними. Застосування акустичних явищ в приміщеннях знаходило часом саме універсальне застосування. До наших днів дожили так звані "шепочущі музеї" Китаю та Стародавнього Риму. У них, завдяки грамотно розставленим відбиваючим поверхням стін, тихі звукової хвилі поширюються на величезні відстані, і віддалені один від одного на десятки метрів люди можуть спокійно спілкуватися, не напружуючи голосу. Античні навички і знання про акустику приміщень знайшли практичне застосування при спорудженні культових будівель пізнього середньовіччя. У католицьких церквах створювалося враження ледь відчутною музики, що летить з небес. На початку минулого століття увагу стали приділяти зведенню театральних і концертних залів. Стрімко розвивалося музичне синтетичне мистецтво - опера. Знову ж правильним вибором розмірів, геометричної форми, продуманим до деталей розміщенням звукопоглинальних елементів в цих залах створювали сприятливі умови для виконавців і слухачів [2,3,4].

На сьогоднішній день не існує єдиної, комплексної теорії, що пояснює всі акустичні явища в приміщеннях і дозволяє швидко вирішувати конкретні завдання оптимізації в будівлях різного призначення.

У статистичній гіпотезі всі акустичні процеси в приміщенні розглядаються як поступове зменшення енергії хвиль, які відбивалися багаторазово перешкодами приміщення. Метод, запропонований вченим У. Себіном, базується на моделі ідеальної будови, в якій всі елементи звукового поля після припинення дії сигналу можна вивчати за допомогою принципів статистичного розгляду процесу загасання звуку. Такий спад спостерігається відразу після припинення дії головного джерела звуку. Ідеалізуючи, багато дослідників вважають це явище в першому наближенні безперервним. Перш, ніж аналізувати процес звукової стагнації в приміщенні,

необхідно зрозуміти, чому в архітектурній акустиці особлива увага приділяється не стаціонарним ефектам [3,5].

Реверберація має вагоме значення в якості музичного та мовного звучання. Надмірна тривалість цього процесу призводить до того, що нові склади починають звучати значно голосніше в порівнянні з попередніми затухаючими складами. Чіткість голосу при цьому автоматично погіршується. В акустиці великих приміщень величезну роль має процес відзвуку при слуханні музики. Кожна музична мелодія являє собою певну послідовність звукових імпульсів. Затягнута звукова хвиля порушує естетичність сприйняття нот, які починають "набігати" один на одного. При дуже короткому відзвуку або його частковій відсутності (при виконанні на відкритому повітрі) музичні звуки чуються сухо, в результаті втрачається злитість звучання [6,15].

Як відомо, для визначення звукових хвиль застосовуються частота (зворотний їй показник - період) і довжина хвилі (залежить від самої частоти і швидкості розподілу звуку). Якщо хоча б половина довжини звукової хвилі буде дорівнювати будь-якому з вимірів приміщення прямокутної форми (ширині, довжині або висоті), з'являється її багаторазове посилення - резонанс, що спостерігається також і на кратних частотах.

Ці резонансні частоти називають в акустиці модами і нумерують в порядку зростання основного множника - перший мод, другий мод, третій мод і т.д. Всі звукові хвилі мають середовища, де амплітуда сигналу завжди дорівнює нулю. Існує ряд несприятливих акустичних явищ, які обумовлюються такими зовнішніми факторами: мала площа; обсяг кімнат; наявність паралельних поверхонь, що відбивають. При виборі найбільш оптимальної точки прослуховування зазначені критерії слід обов'язково враховувати. Наявність акустичних резонансів в будь-якому приміщенні, безумовно, збільшує загальний час реверберації, хоча даний показник може кардинально відрізнятись на різних частотах. Найдовше в кімнаті «звучать»

саме резонансні частоти. За акустичними характеристиками все приміщення можна умовно розділити на три основні типи: дзвінке - відрізняється тривалим часом реверберації, в результаті чого виникає затухання інтенсивності звуку при його багатократних відображеннях; глухе - повна протилежність дзвінкому приміщенню; нейтральне - допомагає акустичним ефектам пристосуватися відразу до двох інших типів. Акустика приміщень і знання її основ вносять вагомий внесок в якість сприймається слухачем звукової панорами.

1.1 Основи архітектурної акустики

Акустика приміщень або архітектурна акустика - одна з найстаріших наукових дисциплін, дані якої безпосередньо впливали і впливають на формування архітектурної форми. Досить згадати античні амфітеатри на відкритому повітрі, де забезпечувалися прекрасна видимість і чутність того, що відбувалося на сцені. Закони поширення прямого і відбитого звуку в просторі, екстер'єрному і інтер'єрному, сьогодні досить добре відомі, проте в світі не так багато побудованих зодчими залів з досконалою акустикою для різних жанрів звукових уявлень. У масовій, рутинній практиці будівництва чимало приміщень з дискомфортними акустичними умовами - досить згадати зали очікування на вокзалах, перонні зали метро, гучні навчальні аудиторії великого обсягу, музичні зали з поганою чутністю і т.п., де неможливо зрозуміти оголошення що транслюються або цілком розрізнити вимовлені фрази і нюанси музики. Мистецтво акустичного проектування пов'язано з грамотним вибором об'єму, форми і пропорцій приміщення, з кількістю, якістю і просторовим розташуванням окремих (звуковідбиваючих та звукопоглинаючих) матеріалів, тобто безпосередньо з архітектурним проектуванням, зі створенням комфортної звукового середовища, сприятливого акустичного мікроклімату [3,14,15].

1.2 Вимоги до розмірів та форми залів

У закритому приміщенні після припинення дії джерела звуку слухач сприймає музичний або мовний сигнал що прозвучав протягом деякого тимчасового інтервалу. Це пояснюється тим, що рівень звукового тиску, створений в розрахунковій точці, є інтегральною характеристикою енергії прямого звуку і енергії відбитих від поверхонь приміщення звукових хвиль. Процес спаду звукової енергії називається ревербераційним процесом, а саме явище – реверберацією [1,5,6]. Для кількісної оцінки реверберації використовується поняття - час реверберації, який не має залежати ні від індивідуального порогу чутності, ні від початкового рівня сигналу і яке він визначив як час, за яке первісна енергія сигналу зменшиться в мільйон разів (або знижується на 60 дБ). Належний час реверберації, що характеризує загальну гучність приміщення, є одним з важливих умов хорошої акустики залу. При цьому слід пам'ятати, що для досягнення чітко визначеного часу реверберації потрібна достатня диффузність звуку в залі. Час реверберації є першою і однією з основних характеристик приміщень, що залежить від обсягу приміщення і загального звукопоглинання. Обсяг залу визначається пропорціями залу. Відношення довжини залу l до середньої ширині в оптимально: $1,3 \leq \frac{l}{b} \leq 1,6$;

У таких межах і відношення ширини залу b до середньої висоти h : $1,3 \leq \frac{b}{h} \leq 1,6$.

Зали в плані зазвичай мають форму трапеції з кутом розкриття бічних стін 50° - 120° . Прямокутна форма з горизонтальною стелею допустима тільки для лекційних залів з місткістю не більше 200 осіб.

Час запізнювання перших відображень від стелі (по продольному розрізу) і стін (за планом) перевіряється за формулою:

$$t_3 = \frac{(l_{\text{відб}} - l_{\text{пр}}) \cdot 1000}{340},$$

де $l_{\text{відб}} = (l_{\text{пад}} + l_{\text{від}})$ довжина шляху відбитого звуку;

$l_{\text{пад}}$ – довжина променя падаючого на відбиваючу поверхню від джерела звуку;

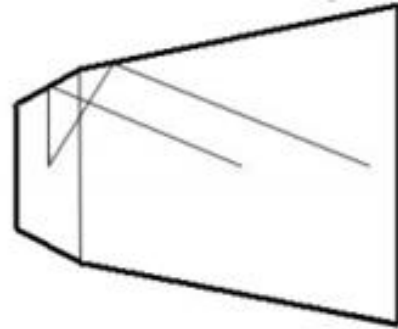
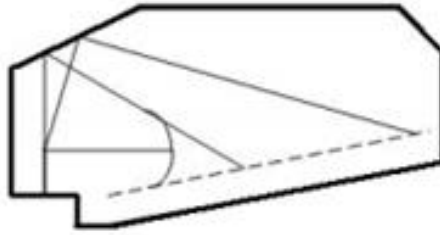
$l_{\text{від}}$ – довжина променя, що відбивається від поверхні звуку до розрахункової точки;

$l_{\text{пр}}$ – довжина шляху прямого звуку.

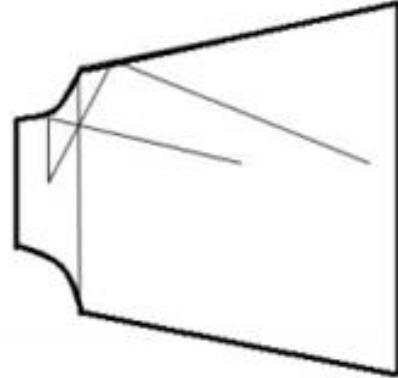
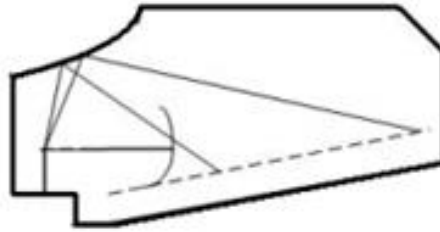
Точки вибираються на початку, в середині і в кінці залу, при наявності балкону одна точка береться додатково на балконі.

Допустимий час запізнювання для мови 20-25 мс, для музики - 30-35 мс, для багатофункціональних залів - 25-30 мс. При побудові продольного розрізу залу слід враховувати, що підйом підлоги повинен становити 12-14 см на ряд в партері (крок рядів мінімум 90 см), на балконі підйом 25-30 см на ряд. Радіус дії прямого звуку становить 8-9 м для мови і 10-12 м для музики. У цій зоні посилення прямого звуку за допомогою відбиття не потрібне. У зв'язку з цим в зону радіусу прямого звуку не повинно потрапляти жодного першого відбиття. На інших місцях інтенсивні перші відбиття повинні перекривати всю зону глядацьких місць. У залах з відносно великою висотою і шириною завжди є небезпека приходу перших відбитків від стелі і стін з великим запізненням в перші ряди глядацьких місць, що створює нерозбірливість звуків. Для виправлення цього явища на стелі і стінах в припортальній зоні слід виконувати спеціальні звукоовідбиваючі конструкції, завдання яких направляти відбитий звук в глибину залу. Схеми таких представлено на рисунку 1.1. При примиканні задньої стіни залу до стелі під кутом 90° може виникнути так зване театральне ехо - відображення звуку від стелі і стіни в напрямку до джерела звуку, що приходить з великим запізненням. Для усунення цього слід передбачати похилу частину стелі біля задньої стіни або похилу задню стіну залу, що зображено на рисунку 1.2.

Лекційна зала



Зала драматичного театру



Зала музичного театру

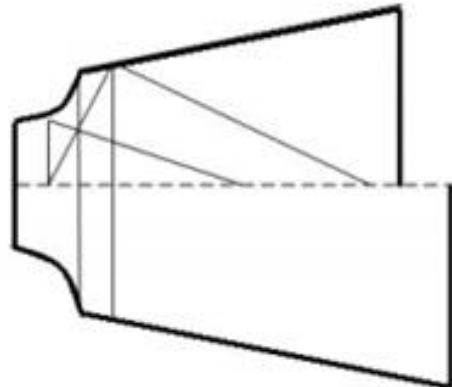
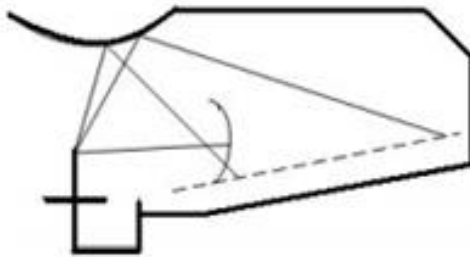


Рисунок 1.1 – Перші відбиття від стелі, стін та відбивачів [6]

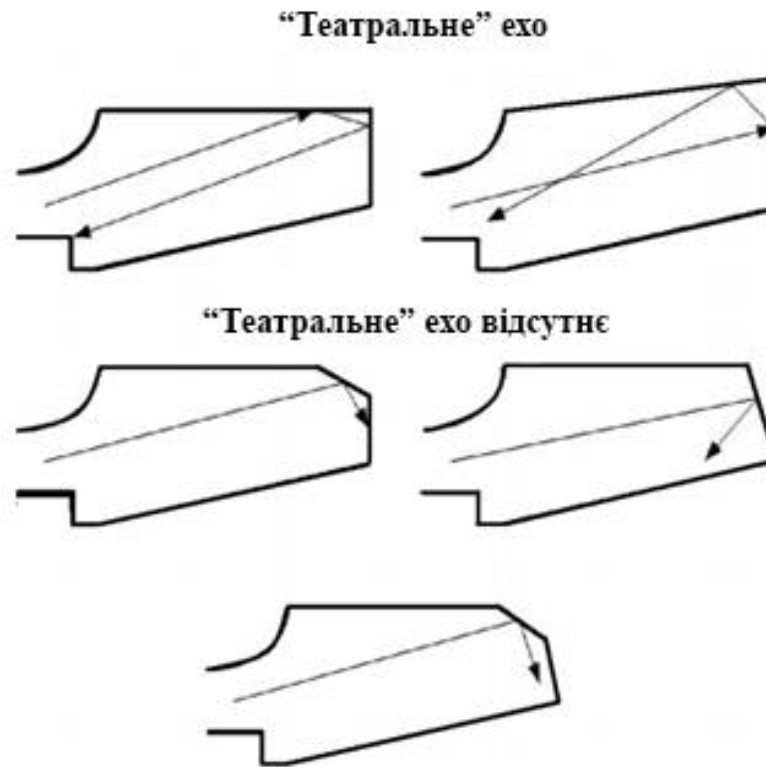


Рисунок 1.2 – Конструкція стелі або задньої стіни зали [6,14,15]

1.3 Застосування геометричних (променевих) відбиттів і їх побудова

У залі звукові хвилі поширюються від джерела до огорожувальних поверхонь, від яких багато разів відбиваються. В результаті в приміщенні утворюється звукове поле. Наближена оцінка форми і розмірів приміщень з акустичної точки зору полягає в аналізі звукового поля на основі принципів геометричної акустики, тобто, в розгляді поширення прямих і відбитих звукових хвиль і побудові так званого "променевого ескізу". При певних умовах можна замість звукових хвиль розглядати звукові промені, в напрямку яких поширюються ці хвилі [5,7-13,15]. Поширення таких променів аналогічно поширенню світлових променів в геометричній оптиці, і побудова геометричних (променевих) відображень широко застосовується в архітектурній акустиці:

1) падаючий і відбитий від будь-якої точки поверхні промінь утворює рівні кути (кут падіння і кут відображення) з нормаллю до відбитої поверхні в цій точці;

2) падаючий і відбитий промені лежать спільно з нормаллю в одній площині (променева площина).

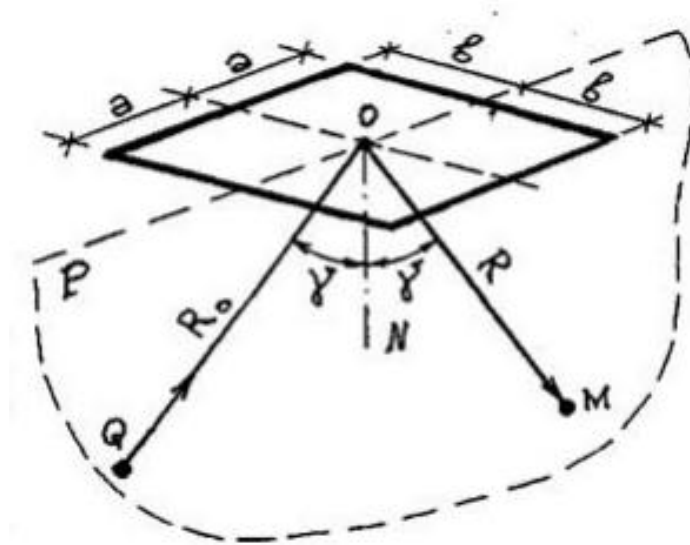
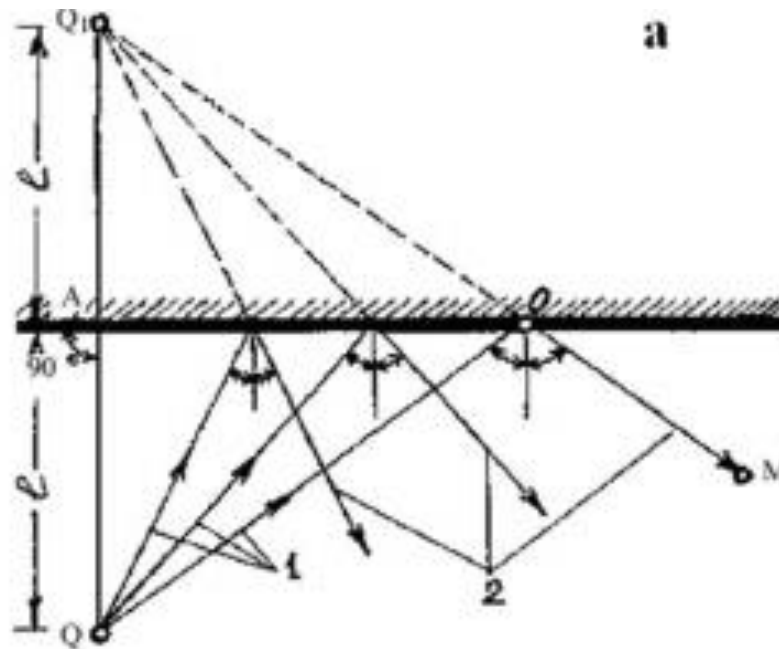


Рисунок 1.3 – Відбиття звуку від плоского відбивача [3]

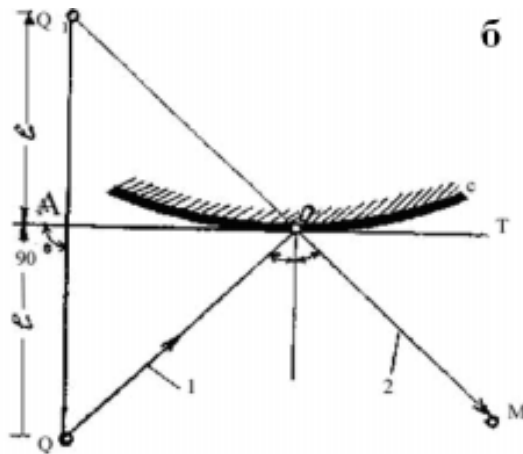
Допустимість застосування способу геометричних (променевих) відображень залежить від довжини звукової хвилі, розмірів поверхні, що відбиває і її розташування по відношенню до джерела звуку і точки прийому. Відбиваюча поверхня повинна при цьому мати масу не менше 20 кг/м^2 , і її коефіцієнт звукопоглинання α для розглянутих частот не повинен перевищувати 0,1. На рисунку 3 відбиваюча поверхня взята у вигляді прямокутного плоского відбивача зі сторонами, рівними $2a$ і $2b$, центр його збігається з точкою геометричного відображення O , а сторона $2a$ паралельна променевої площині P , в якій лежать падаючий звуковий промінь QO , відбитий промінь OM і нормаль ON ; R_0 - відстань від джерела Q до точки O ; R - відстань від точки O до точки прийому M ; γ - кути падіння і відображення

звукового променя. При побудові геометричних відбиттів від площини зручний прийом, що показаний на рисунку 1.4. Тут використовується уявне джерело Q_1 , симетричне з дійсним точковим джерелом Q по відношенню до відбиваючої площини і знаходиться по іншій її бік. Для побудови уявного джерела треба опустити з точки Q перпендикуляр QA на відбивну площину і на продовженні його відкласти відрізок AQ_1 , рівний відрізку QA . Прямі, проведені з уявного джерела Q_1 , після перетину ними відображаючої площини, задовольняють умови рівності кутів падіння і відбиття, тобто є відбитими променями, створюваними дійсним джерелом Q , що шукаються.



Q - джерело звуку; Q_1 - уявне джерело звуку; 1 - прямі промені, 2 - відбиті звукові промені

Рисунок 1.4 - Побудова геометричних відбиттів звукових променів за допомогою уявного джерела від площини [2]



Q - джерело звуку; Q1 - уявне джерело звуку; 1 - прямі промені, 2 - відбиті звукові промені

Рисунок 1.5 - Побудова геометричних відбиттів звукових променів за допомогою уявного джерела від кривої поверхні [6]

Метод уявних джерел застосовується і при побудові відображень від кривих поверхонь. Якщо потрібно знайти відображення від будь-якої точки O кривої поверхні C при заданому положенні джерела Q, то слід в точці O побудувати дотичну площину T до поверхні. Використання цього методу для кривих поверхонь зображено на рисунку 1.5. Уявним джерелом в цьому випадку є точка Q1, симетрична джерелу Q щодо дотичній площині; продовження OM прямої Q1O після перетину її з поверхнею C є відбитим променем, що шукається. Тут для кожної точки O відбиваючої поверхні доводиться знаходити своє уявне джерело Q1 на відміну від раніше розглянутого випадку, що розглянуто на рисунку 1.4, у якому для відбиття від будь-якої її точки уявне джерело один і той же (при заданому положенні джерела Q). Сумарна довжина QO + OM променів QO і OM, що дає довжину повного ходу відбитого звуку від джерела Q до деякої точки прийому M, дорівнює відстані Q1M від уявного джерела Q1 до точки M. При цьому, зрозуміло, слід брати справжні довжини зазначених відрізків, а не їх проекцій. Якщо променева площина P паралельна одній з площин проекцій

(вертикальної або горизонтальної), то кути падіння і відображення проєктуються на цю площину без спотворення, і побудова відбитого променя виконується за допомогою описаних прийомів. Даний випадок можна побачити на рисунку 1.3.

1.4 Рівень звукового тиску

Звуковий тиск – мінливий надлишковий тиск, що виникає в пружному середовищі при проходженні через нього звукової хвилі. Рівень звукового тиску – вимірне значення звукового тиску, щодо опорного тиску $P_{sp1} = 20$ мкПа і відповідного порогу чутності звукової хвилі частотою 1 кГц. Підвищений рівень звукового тиску – причина виникнення шумового забруднення. Для того, щоб визначити рівень звукового тиску та досягнути його оптимального значення виробляють спеціальний розрахунок:

- зазначають джерело (джерела) звуку і його акустичні характеристики;
- вибирають розрахункові точки, визначають допустимий рівень звукового тиску в них;
- розраховують очікувані рівні звукового тиску в розрахункових точках;
- підраховують необхідне зниження або підвищення звукового тиску;
- розробляють заходи по нормалізації рівня звукового тиску.

Рівень звукового тиску визначають в розрахункових точках, які обирають або на робочих місцях, або в зонах з постійним перебуванням людей на висоті 1,5 м від підлоги. Причому в приміщенні з одним або декількома однаковими джерелами дві точки, одну – на робочому місці в зоні прямого звуку, другу – в зоні відбитого звуку і в місці постійного перебування людей. Якщо в приміщенні є кілька джерел, рівні звукової потужності яких

відрізняються на 10 дБ і більше, точки вибирають на робочих місцях у джерел з максимальними і мінімальними рівнями (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Сприйняття різних рівней звукового тиску

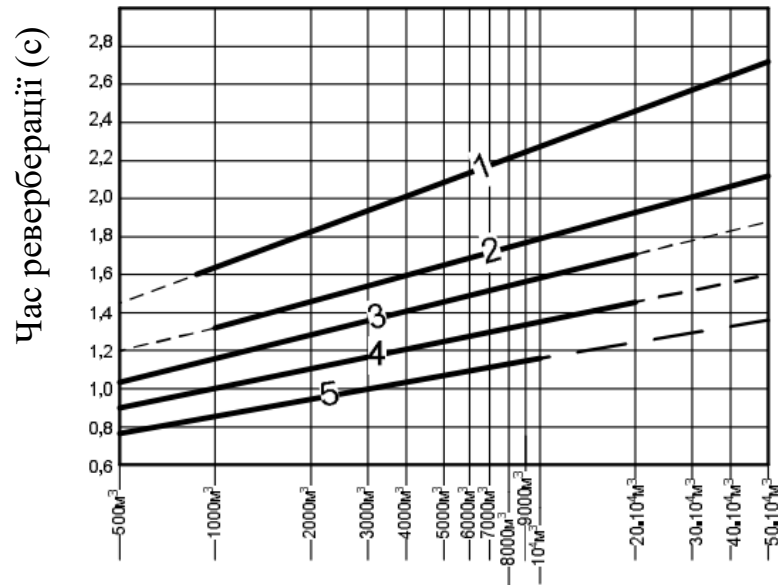
Рівень звукового тиску, дБ	Чутність	Приклад
0	Нічого не чути	Поріг чутності для синусоїдальної волни з частотою 1кГц
5	Майже нічого не чути	Тиша в горах
10	Майже не чути	Шепіт, цокання годинника, тихий шелест листя, звук падаючої голки
15	Майже чути	Шелест листя
20	Майже чути	Рівень фонового шуму на відкритій місцевості
25	Тихо	Сільська місцевість на віддаленні від доріг, муркотіння kota на відставні 0,5 м
30	Тихо	Настінний годинник, максимально дозволений шум для джерел постійного шуму, розміщених у житлових приміщеннях
35	Добре чути	Приглушена розмова, тиха бібліотека, шум у ліфті
40	Добре чути	Тиха розмова, шум кондиціонеру, шум телевізору у сусідній кімнаті
50	Чітко чути	Розмова середньої гучності, тиха вулиця, стиральна машина
60	Помірно гучно	Гучна розмова, норма для контор
65	Довільно гучно	Гучна розмова на відстані 1 м
70	Гучно	Гучні розмови на відстані 1 м, шумна вулиця, пилосос на відстані 3 м
75	Гучно	Крик, сміх на відстані 1 м, шум в старому залізнодорожному вагоні
80	Дуже гучно	Гучний будильник на відстані 1 м, крик, звук працюючого двигуна вантажного автомобіля, тривалий звук сприяє погіршенню слуху

Продовження таблиці 1.1 - Сприйняття різних рівней звукового тиску

85	Дуже гучно	Гучний крик, мотоцикл з глушником
90	Дуже гучно	Гучні крики, пневматичний відбійний молоток, тяжка дизельна вантажівка на відстані 7 м, вантажний вагон на відстані 7 м, звук майже не можливо не помічати
95	Дуже гучно	Вагон метро на відстані 7 м, гучна гра на фортепіано на відстані 1м
100	Вкрай гучно	Гучний автомобільний сигнал на відстані 5-7 м, дуже шумний завод
115	Вкрай гучно	Піскоструменний апарат на відстані 1м , гучна музика, гвинтокрил
120	Майже нестерпно	Больовий поріг, грім, шум на стадіоні, киснева горілка
130	Нестерпно (викликає больові відчуття)	Сирена, рекорд по самому гучному крику

1.5 Визначення рекомендованого часу реверберації

Велике значення в залі має час реверберації. Оптимальні величини часу реверберації в діапазоні 500-1000Гц для залів різного призначення в залежності від обсягу залу наведені на рисунку 1.6.



1 - зали для ораторій і органної музики; 2 - зали для симфонічної музики; 3 - зали для камерної музики, зали оперних театрів; 4 - зали багатоцільового призначення, 5 - лекційні зали, зали засідань, зали драматичних театрів, кінозали, пасажирські зали

Рисунок 1.6 – Рекомендований час реверберації на середніх частотах (500-1000Гц) для залів різного призначення в залежності від їх обсягу [2,6]

Допускається відхилення від оптимальної величини: — на середніх частотах (500-2000Гц) не більше, ніж на 10%; - на низьких частотах (125Гц) допускається збільшення часу реверберації на 20%.

Після того, як визначено час реверберації на середніх частотах (500-1000Гц) по рисунку 1.6, необхідно його скоригувати по частотному спектру відтворюваних в залі сигналів. Тут можуть бути запропоновані наступні рекомендації:

а) для лекційних аудиторій, конференцзалів рекомендується не змінювати час реверберації на всіх частотах, крім частоти 125Гц (зменшити на 15%);

б) зали, в яких виконуються музичні твори характеризуються швидкими ритмами і особливо із застосуванням засобів електроакустики, час

реверберації по частотно не змінюється, але його рекомендується зменшити на 10-20%;

в) зали, які використовуються як для музичних постановок, так і для проведення зборів, вистав (багатоцільові зали), повинні мати різний час реверберації на різних частотах: для частоти 2000Гц береться такий же час реверберації, як і на частоті 500Гц, а на частоті 125Гц допускається збільшення на 20% (процентний склад залежить від річного співвідношення вистав і концертів з музичним виконанням: чим їх більше, тим більший відсоток слід брати).

1.6 Розрахунок часу реверберації проектного залу

Для визначення часу реверберації, досить провести розрахунок на трьох частотах: 125, 500 і 2000Гц. Підрахунок часу реверберації ведеться за формулою Ейрінга (1.1) [1-4,5,15]:

$$T = \frac{0,163V}{\varphi(\alpha)S_{\text{общ}} + nV}; \text{с} \quad (1.1)$$

де V – об'єм зали, м^3 ,

$S_{\text{общ}}$ – сумарна площа всіх поверхонь, що обгороджують залу, м^2 ,

α – середній коефіцієнт звукопоглинання в залі,

$\varphi(\alpha) = -\ln(1-\alpha)$ – функція середнього коефіцієнта звукопоглинання α , значення якої наведено в таблиці 1.3.

n – коефіцієнт, що враховує загасання звуку в повітрі. У октавних смугах 125-1000 Гц $n=0$, в октаві 2000 Гц $n=0,009$, в октаві 4000 Гц $n=0,022$.

Формула 1.1 дозволяє отримати розрахунковий час реверберації, що буде відповідати реальному тільки в тому випадку, якщо звукове поле в приміщенні можна вважати досить дифузним. Умовами його забезпечення є

відсутність помітної різниці в основних розмірах приміщення (відповідність приміщення), непаралельність стін, рівномірний розподіл поглиначів і членування значної частини внутрішніх поверхонь (таблиці 1.2-1.4). Якщо співвідношення L:W:H, рекомендоване для відповідного приміщення, витримано, стелі і стіни зали представляють багатоеlementну систему, то це ще не є повною гарантією дифузності. Найбільш частою причиною відсутності дифузії є суцільне звукооглинаюче оздоблення стелі або двох протилежних стін. При такій обробці звукові хвилі, що поширюються між стелею і підлогою (або між протилежними стінами), загасають помітно швидше, ніж між двома протилежними поверхнями, і реальний час реверберації виявляється менше розрахункового за формулою Ейрінга. Якщо ж стеля поглинає, а стіни сильно відбивають і слабо розчленовані, то розрахунковий час реверберації виявиться менше істинного. Щоб процес загасання звуку в вертикальній площині (підлога - стеля) і в горизонтальній площині (протилежні стіни) не дуже відрізнялися один від одного, необхідно, щоб середній коефіцієнт звукопоглинання – α цих поверхонь не надто сильно відрізнялися один від одного, тобто:

$$\frac{A_{ст}+A_{під}}{S_{ст}+S_{під}} = \frac{A_{стін}}{S_{стін}},$$

Підрахований за формулою 1.1 час реверберації навіть при виконанні рекомендацій по питомому обсягу, але при довільному виборі засобів звукопоглинання, не гарантує того, що ревербераційний процес забезпечує найкращі умови сприйняття звукових сигналів. Для цього необхідно скоригувати отриманий час реверберації з його оптимальним значенням (виконати умову оптимуму реверберації).

Таблиця 1.2 – Еквівалентна площина звукопоглинання

Глядачі та крісла	Еквівалентна площина звукопоглинання, $A_{кріс. гляд. (м^2)}$					
	125	250	500	1000	2000	4000
Глядач на кріслі м'якому та полум'якому	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45	0,4
На жорсткому кріслі	0,2	0,25	0,3	0,35	0,35	0,35
Крісло м'яке	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3
Крісло полум'яке	0,08	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Крісло оббите штучною шкірою	0,08	0,1	0,12	0,1	0,1	0,08
Крісло жорстке з фанерною спинкою та сидінням	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05

Таблиця 1.3 - Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів і конструкцій, еквівалентна площа поглинання глядачів

Матеріали та конструкції	Коефіцієнти звукопоглинання для октавних полос, α (Гц)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Стіна оштукатурена пофарбована клейовою фарбою	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Стіна оштукатурена пофарбована олійною фарбою	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Бетон пофарбований	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Мармур, граніт	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Штукатурка по металевій сітці з повітряною порожниною позаду	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Панель дерев'яна товщиною 5-10 мм з повітряною порожниною 50-100 мм	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Оправи віконні засклені	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04
Підлога паркетна	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07

Продовження таблиці 1.3 – Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів і конструкцій, еквівалентна площа поглинання глядачів

Підлога дощата на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
Лінолеум	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Килим вовняний товщиною 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Килим вовняний товщиною 9 мм на підкладці типу повсть товщиною 3мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,37
Порт'єри плюшеві зі складками щільністю тканини 0,65 кг/м ²	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65
Отвір сцени, обладнаний декораціями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Кіноекран	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Плити «Акмигран» 300x300x20 мм Впритул	0,05	0,15	0,5	0,65	0,65	0,7
3 повітряним проміжком 50 мм	0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
3 повітряним проміжком 100 мм	0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
Плити «Мелодія» впритул	0,15	0,25	0,8	0,4	0,2	0,2
Плити «Мелодія» з повітряним проміжком 100 мм	0,25	0,5	0,8	0,45	0,3	0,3
Штукатурка гіпсова товщиною 20 м з повітряним проміжком 50-150 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04
Фіброліт товщиною 50 мм з повітряним проміжком 50-160 мм	0,2	0,45	0,45	0,5	0,6	0,65
Плити гіпсові перфоровані з пористим заповнювачем	0,05	0,2	0,4	0,75	0,55	0,35
Плити гіпсові перфоровані з пористим заповнювачем з повітряним проміжком 50 мм	0,05	0,4	0,75	0,55	0,55	0,3
Плити гіпсові перфоровані з пористим заповнювачем з повітряним проміжком 100мм	0,15	0,6	0,75	0,55	0,5	0,3

Продовження таблиці 1.3 – Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів і конструкцій, еквівалентна площа поглинання глядачів

Плити гіпсові перфоровані з пористим заповнювачем з повітряним проміжком 200 мм	0,25	0,65	0,65	0,6	0,55	0,3
Плити гладкі декоративні з пористим заповнювачем без повітряного прошарку	0,05	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
Плити гладкі декоративні з пористим заповнювачем без повітряного прошарку з повітряним проміжком 50 мм	0,15	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
Плити гладкі декоративні з пористим заповнювачем без повітряного прошарку з повітряним проміжком 100 мм	0,25	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1
Плити "Сілакпор" без повітряного проміжку	0,2	0,5	0,65	0,6	0,6	0,6
Плити "Сілакпор" з повітряним проміжком 100 мм	0,5	0,7	0,6	0,55	0,55	0,6
Панелі по каркасу з брусків 3x10см, оббиті фанерою з кроком осередків 0,5 x 0,7 і повітряним проміжком 10см	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,1
Перфоровані конструкції з фанери товщиною 3мм по дерев'яних рамок 60x60 з азбестовою ватою в мішковині 50, діаметр отвору 6 мм, крок 25мм	0,2	0,46	0,58	0,52	0,42	0,3
Плити ПА / С з набризком без повітряного проміжку	0,05	0,15	0,6	0,8	0,85	0,8
Плити ПА / С з набризком з повітряним проміжком 50 мм	0,1	0,3	0,8	0,85	0,8	0,7
Плити ПА / С з набризком з повітряним проміжком 100 мм	0,15	0,5	0,85	0,8	0,8	0,7
Фанера товщиною 6 мм і шаром мінеральної вати товщиною 100 мм	0,6	0,23	0,14	0,09	0,08	0,02

Таблиця 1.4 – Значення функції $-\ln(1-\alpha)$ в залежності від величини середнього коефіцієнта звукопоглинання α в залі

α	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,3	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,4	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,8	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17

1.7 Перевірка розбірливості мови в залі

Результуючий ефект сприйняття звуку в приміщенні, з точки зору його розбірливості, залежить від величини відносного впливу на слухача корисною і "марною" частинами звукової енергії. До корисної звукової енергії відносяться енергія прямого звуку і перших його корисних відображень (з часом запізнення до 20 мс). До "марної" – вся інша звукова енергія і "марною" вона названа умовно, так як фактично вона являє собою реверберуючий фон в приміщенні. Для лекційних залів і залів драматичних театрів розбірливість мови на місцях глядачів має найбільш важливе значення (таблиця 1.5). Коефіцієнт розбірливості мови K_p визначається з виразу за формулою [6,15]:

$$K_p = \frac{A}{16\pi(1-\alpha)^2} \left(\frac{1}{r_0^2} + \frac{1-\alpha_1}{r_1^2} + \frac{1-\alpha_2}{r_2^2} + \dots + \frac{1-\alpha_n}{r_n^2} \right),$$

де A – еквівалентна площа поглинання в діапазоні 500-2000 Гц, m^2 (береться з таблиці розрахунку часу реверберації);

α – середній коефіцієнт звукопоглинання;

r_0 - відстань між джерелом звуку і розглянутої точкою, м;

$r_1, r_2 \dots r_n$ - довжина шляху перших відображень від джерела звуку до розглянутої точки, які прийшли протягом 20 мс, ($r_{1 \dots n} = \lambda_{отр}$), м;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots \alpha_n$ – коефіцієнти звукопоглинання поверхонь від яких прийшли перші корисні відбиття.

Мінімальною величиною K_p вважається 0,2, що відповідає 80% артикуляції, тобто глядачі правильно чують 80% вимовлених звуків.

Таблиця 1.5 – Рекомендовані параметри різних залів

Вид зали	Максимальна місткість, людей	V питомий, м ³ /люд.	Максимальна довжина (до авансцени), м
Лекційні та конференц-зали	400	4-5	24-25 (20)
Зали музично-драматичних театрів (оперета)	1200	5-7	28-26 (25)
Театри опери і балету	1500	6-8	30-32 (30)
Концертні зали: камерні симфонічні	400 2000	6-8 8-10	20-22 42-46
Зали для хорового співу та органної музики	2000	10-12	42-46
Кінозали		4-5	45 (в літніх 60)
Зали багатоцільового призначення	500-1000	4-6	30-34 (32)
Зали сучасної естрадної музики	2500	4-6	48-50

2 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИМІЩЕНЬ ТИПУ АМФІТЕАТР

Амфітеатр в архітектурі - це простора споруда, зазвичай еліпсоподібної форми, що складається з головного центрального елемента - арени, оточеного ступінчастими трибунами з радіальними коридорами. Під структурою розташовувалися службові приміщення, клітки для тварин і камери для гладіаторів.

Термін «амфітеатр» (amphitheatrum) народився в Римі в середині I століття до н.е. Вперше його вживає Вітрувій, який написав свою працю приблизно в 30-х рр. до н.е. Поява цього терміну дещо пізніше в офіційних документах імператора Августа (римський імператор в період 27 м до н.е.-14 р до н.е.) говорить про те, що слово «амфітеатр» було остаточно прийнято [1,16].

Амфітеатр (в перекладі грецького amphі - з двох сторін і theatron - видовище), в перекладі означає «подвійний театр».

В античному світі для розміщення місць для глядачів в театрах на схилі пагорба або гори напівкруглими уступами один над одним ставилися або вирубувалися в скелі лавки (театрон), біля підніжжя пагорба перебувала орхестра і сцена. Орхестра в античному театрі - це круглий, а в наслідку напівкруглий майданчик для виступу акторів, хору і окремих музикантів. Первісне і етимологічне значення поняття орхестра означало «місце для танців». Сцена в античному театрі представляла собою тимчасове дерев'яне приміщення для перевдягання та виходу акторів. Від слів skene і латинського scaena з'явилося слово "сцена".

2.1 Поява та розвиток амфітеатрів, їх переваги та недоліки

Перші амфітеатри з'явилися в Кампанії (історична область в центральній Італії), де з'явилися також перші бої гладіаторів. Протягом всього періоду

Республіки тут знаходився головний центр підготовки гладіаторів. Найдавніший з дійшовших до нас амфітеатрів знаходиться в Помпеях. Він датується 70рр. до н.е. У присвяченому написі ця будівля значиться як спектакула (spectacula) – ймовірно, це і є термін, яким амфітеатри позначалися в той час.

Античні театри розміщувалися під відкритим небом і були призначені для великої кількості глядачів. Найвідоміший пам'ятник давньогрецького театру, театр в Епідаврї (350-330 до н.е.), був розрахований на 17 тисяч глядачів (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Пам'ятник давньогрецького театру, театр в Епідаврї

У стародавній Греції будувалися і криті театри (Одеон). Такий тип театру отримав розвиток і в стародавньому Римі. Місця для глядачів у ньому також розташовувалися пологим амфітеатром (театр Марцелла в Римі) рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Зображення театру Марцелла в Римі

Амфітеатром в стародавньому Римі називали монументальну споруду для видовищ (боїв гладіаторів, цькування диких звірів, кінних арен, театралізованих вистав). Він представляв собою з'єднання 2-х підковоподібних грецьких театрів, точніше, двох театрон, що уступами піднімалися вгору, з еліпсою ареною в центрі. Арену оточувала висока стіна – подіум, за якої розміщувалися ряди крісел для привілейованої публіки (прообраз майбутнього театрального партеру). За подіумом піднімалися вгору кілька відкритих ярусів, що завершувалися колонадою. Нагорі розміщувалися місця для інших глядачів. Амфітеатр не мав даху, її функцію виконував тент, велум, натягнутий на щогли. Місця для глядачів підтримувалися складною системою стовпів і арок, між якими були розташовані склепінні галереї, що служили фойє, і сходи. Під ареною містилися клітини для звірів і підйомні механізми. Найдавніший римський амфітеатр, що зберігся в Помпеях, (70 ст. до н.е.), був розрахований на 15 тисяч глядачів (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Найдавніший римський амфітеатр в Помпеях

Також збереглися і руїни найбільшого римського амфітеатру, Колізею, або амфітеатру Флавіїв. Колізей складався з арени, еліптичної в плані, і піднімаючогося амфітеатру з 4-х ярусів, що вміщали близько 50 тисяч глядачів. Збереглися руїни римських амфітеатрів в Вероні, Арле, Німі, Оранж.

За зразком закритого античного театру будувалися перші європейські театри, які з'явилися в Італії в епоху Відродження, як Театр «Олімпіко» в Віченці (архітектор Палладіо, 1580р.). Вони розвинулися з палацових – відкритих театрів з амфітеатром на земляному пагорбі в парках палаців і вілл. Глядацька зала ренесансного театру напівкруглої або еліпсоїдної форми складалася з амфітеатру, який піднімався дугоподібними підковами-уступами вгору від сцени і завершується напівкруглою античною колонадою. Глядачі театру «Олімпіко» розташовувалися не тільки в амфітеатрі, але і в орхестрі.

Амфітеатр зберігся і з виникненням в 17ст. нового типу ярусного (рангового) театру, призначеного для постановок оперних вистав. Опера жаждала від залу для глядачів хорошої акустики, оптики і більшої місткості. Ці завдання виконували яруси з навісних балконів, вони збільшували кількість глядацьких місць при колишньої площі залу і служили резонатором звуку. У

ранговому театрі місця стали ділитися на партер, в якому глядачі спочатку стояли, амфітеатр і балкон з ряду ярусів, пізніше поділеними перегородками на ложі – італійський тип театру, або у вигляді суцільних галерей – французький тип театру. Останній ярус театрального балкона відрізнявся від попередніх тим, що представляв собою амфітеатр, розділений поздовжніми і поперечними проходами. Так з'явилися місця для непривілейованої публіки. Цей тип театру отримав всесвітнє поширення. За його прикладом побудовані такі відомі театри, як міланський «Ла Скала» у 1776р., лондонський «Ковент Гарден» у 1732р., будівля Паризької опери у 1861-1875рр [2,3].

З диференціацією театральних жанрів на музичні і драматичні з'явився німецький, або секторальний, більш демократичний тип театрального залу. Зал Першого драматичного театру в Берліні, що побудовано у 1765 році, одного з перших європейських драматичних театрів, був прямокутним, не мав балконів і складався з одного амфітеатру. Через малої місткості усього на 800 осіб цей тип театру не отримав широкого розповсюдження. У 1821 році архітектори берлінського Нового драматичного театру К. Ф. Шінкель і Г. Земпер намагалися провести реформу рангового театру і повернутися до античної форми театру. Глядацька зала з неглибокою сценою і широким просценіумом, складалася з невеликого напівкруглого партеру і античного амфітеатру з радіальними проходами та завершувалась античною колонадою. Такий зал забезпечував всім глядачам рівні можливості видимості і чутності. В 1913 році по такому ж типу був побудований берлінський Великий драматичний театр з відкритою сценічним майданчиком, архітектором якого був Х. Пельціг.

Повернутися до типу античного театру спробував основоположник ампіру французький архітектор К. Н. Леду при проектуванні театру в Безансоні. Він відійшов від типу ярусного театру, замінивши традиційні яруси і ложі напівкруглими лавками амфітеатру, а в партері вперше поставивши крісла. Правда, проект Леду з'явився епізодом в історії французької

театральної архітектури, апогеєм розвитку якої стала пишне псевдобарочна будівля паризької Опери архітектором якої був Ж. Гарньє у 1861-1875 роках.

На початку 20ст. в Європі відродилися типи амфітеатральної або аудиторної (амфітеатр з 1-2 ярусами балконів) зали. Спроби реформ театральної зали пов'язані з еволюцією сцени. З виникненням ярусного театру з'явилася глибока сцена-коробка, в подальшому були спроби зробити її або плоскою, як в античному театрі, або з виходячим в зал для глядачів просценіумом, або від сцени повністю відмовлялися і переносили дію в зал для глядачів. Це був проект лідера архітектури функціоналізму В. Гроппіуса і режисера Е. Піскатора у Німеччині у 1920-х роках. У другій половині 20ст. будуються театральні зали зі сценою, оточеною амфітеатром з чотирьох сторін, прикладом яких є арена стейдж у Вашингтоні, що побудована у 1961 році, та з кільцевої сценою і обертовим амфітеатром, прикладом яких є театр у Версалі, що побудовано у 1960 році.

Як видно з історії розвитку театрів і амфітеатров в світі, амфітеатр став засновником для розвитку всієї театральної архітектури. Скільки б архітектори не намагалися відійти від форм амфітеатру в сучасних спорудах, жоден із запропонованих варіантів не давав настільки зручного і місткого залу, як амфітеатр.

З вищеописаної інформації можна з точністю сказати, що до переваг античних театрів і амфітеатрів відносяться велика місткість, хороші оптичні та акустичні якості, рівна можливість всіх глядачів бачити і чути уявлення.

В свою чергу, до недоліків амфітеатрів можна віднести обмеження у типу вистав, що можна проводити при такому розміщенні сцени відносно глядачів. Наприклад, на сцені амфітеатру неможливо поставити театральну виставу оскільки деяка кількість глядачів буде бачити акторів лише зі спини. Тому у сучасному мистецтві приміщення типу амфітеатр використовується лише для тих вистав, де глядачам необхідно бачити артистів з усіх сторін, тобто циркові вистави або спортивні заходи.

2.2 Цирк, як приклад сучасного амфітеатру

У давньоримську епоху відбувся розподіл театру на види видовищ, відповідно сучасні видовищні споруди диференціюються на театральні, циркові, спортивні. У двох останніх типах будівель місця для глядачів є амфітеатр, тобто «подвійний театр» в його класичному вигляді. Амфітеатром називають також місця для глядачів в цирку, які оточують арену і діляться на сектори.

Назвою першого стаціонарного цирку в Європі є Амфітеатр Астлея, що виник у 1780-1895 роках (рисунок 2.4).

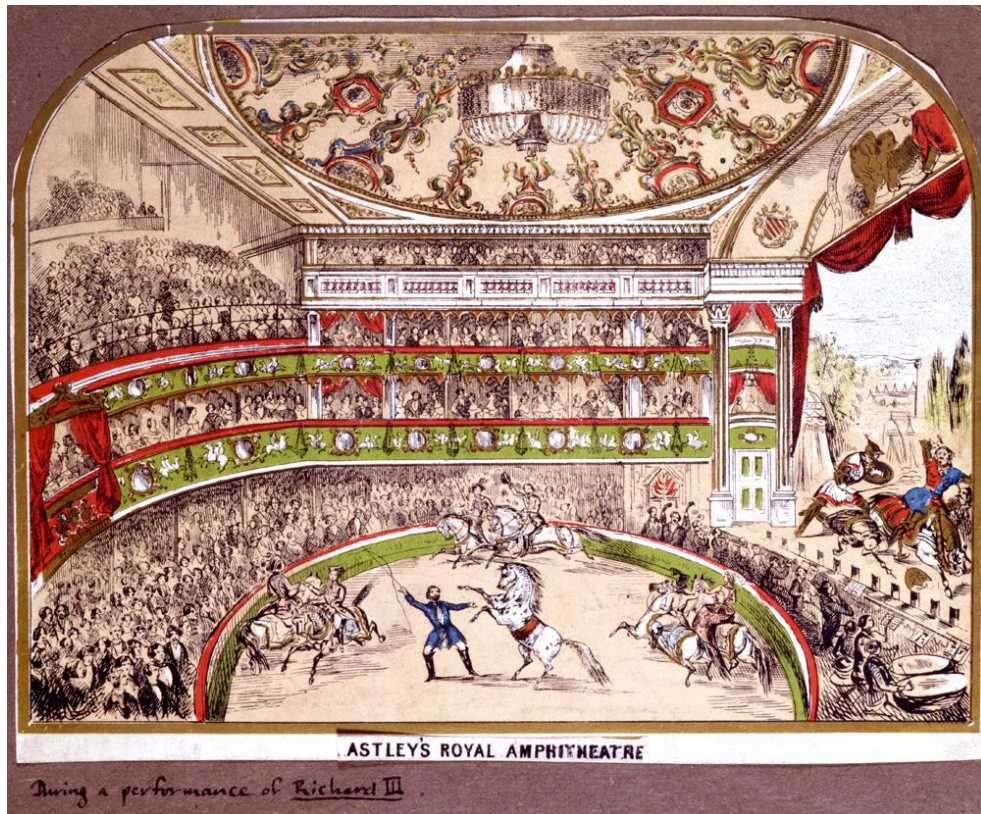


Рисунок 2.4 – Будова першого стаціонарного цирку, амфітеатр Астлея

Він був названий на прізвище відомого англійця, власника цирку Ф. Астлея (1742-1814) (рисунок 2.5). Цирк виник з його ж школи верхової їзди.

Являв собою круглий зал, амфітеатр, поділений на сектори, з круглим манежем, перекритим куполом. Мав сцену і місце для оркестру, тому, крім циркових, давав і театральні вистави, в таких випадках арена перетворювалася в партер. Цирком володіли різні люди, але назва зберігалася початкова.

Цирк - один з найдавніших, масових і популярних видів мистецтва. Слово «цирк» походить від латинського слова *circus*, що означає «коло». Цирк сьогодні – конгломерат жанрів, які прийшли на манеж лише в кінці ХІХ століття. Циркове і естрадне мистецтво сформувалося з народних майданних вистав і театралізованих спортивних змагань.

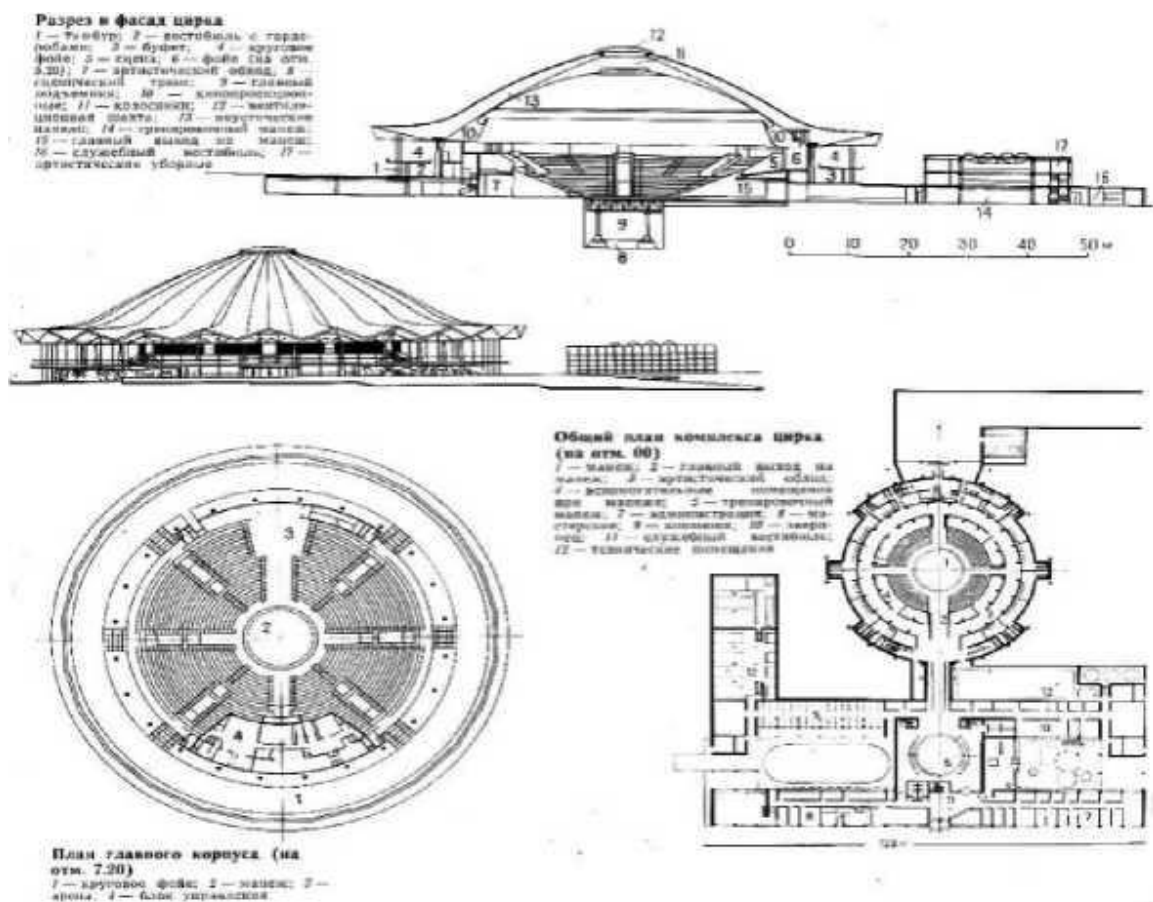


Рисунок 2.5 – Універсальна схема цирку, фасад, розріз та план

За своєю композицією цирку можна умовно поділити на два основних типи: на ділянках, де явно виражений головний парадний підхід до будівлі,

розташовуються цирки першого, найбільш поширеного типу, що складається з основного обсягу зорової частини і примикаючого до нього виробничого корпусу, основний обсяг такої споруди проектується центричним і симетричним, а виробничий корпус може мати більш вільну форму в залежності від умов ділянки і рішення генерального плану; цирки другого типу розташовуються на ділянках, де огляд будівлі з усіх боків рівнозначний, тобто в центрі бульвару, площі і т. д., в цьому випадку цирк займає острівне положення, проектується більш компактним, все приміщення розміщуються в одному нерозчленованому обсязі, таке рішення є більш складним в планувальному і технологічному відношенні.

Арена є загальнообов'язкової виробничим майданчиком сучасного цирку. Виробничою площею цирку є круглий манеж тринадцяти метрів в діаметрі обнесений невеликими бар'єрами. Під час вистав бар'єр встеляється килимовою доріжкою яка використовується нерідко і як сценічний майданчик, п'єдестал, піднесення для побудови виразних мізансцен, демонстрації окремих трюків артистів, дресированих тварин, поверхня манежу у напрямку до бар'єра дещо підвищується, розмір манежу незмінний. Кругла форма і стандартний розмір манежу, встановлені вперше в 1807 році в паризькому цирку Л. і Е. Франконі, та остаточно утвердилися в світовому цирку в 19 столітті (рисунок 2.6). Вони були обумовлені вимогами кінно-акробатичних номерів, в цих умовах наїзникові легше утримувати рівновагу і виконувати трюки. Встановлений розмір циркового манежу дозволяє давати вистави в будь-якому цирку, не потреуючи перебудови. До розмірів манежу пристосована циркова апаратура.

Особливо необхідно підкреслити розміщення в цирку глядацьких місць, які поділяються на самостійні концентричні яруси, відокремлені один від одного надійними бар'єрами. Кожен ярус ділиться на відсіки радіально розташованими проходами зі ступенями. У нижньому ярусі може бути не більше восьми східчастих рядів, в інших - не більше шести. Число місць на

ділянці між проходами не може бути більше 16шт. Глибина рядів з лавками для сидіння більше ніж 90 см. Рівень підлоги верхнього ряду місць не може бути вище рівня землі більше ніж на 15м. Ширина сходових маршів від 1,25 до 2,50м; сходів слід влаштовувати з розрахунку 1м ширини маршів на кожні 125 глядачів. У цирках шапіто відстань між рядами може становити 80см при ширині лав менш ніж 30м.

Для виконання ряду акробатичних трюків необхідно мати дуже високе приміщення, найчастіше в цирках використовують купольні покриття, так циркові арени можуть перекриватися арочними, купольними, структурними, мембранними та винтовими металевими конструкціями прольотом до 100м і більше. Покриття представляє собою каркас, що складається з радіально розташованих криволінійних ребер, що спираються нижнім кінцем на монолітний нижній опорний пояс, верхнім – на верхнє опорне кільце. По радіальних ребрах укладені збірні прогони і по ним – плити. У ряді випадків елементами купольного покриття є укрупнення збірні елементи трапецеподібні двоякою кривизни довжиною від нижнього до верхнього опорних кілець. Конструкції куполів можуть бути гладкими, ребристими, ребристо-кільцевими, кристалічними, зірчастими і т. д. В якості тимчасових опор можуть використовуватися щогли, вежі кранів або опори з радіально-поворотним пристроєм. Внутрішня поверхня купола є фоном для повітряних номерів і тому оформляється вкрай скромно і забарвлюється в світлі тони, добре сприймають світло прожекторів. У центрі купола точно над манежем на висоті не менше 18-20м влаштовується кільце діаметром, рівним діаметру манежу, в яке вмонтована решітка, що служить для підвіски і кріплення гімнастичної апаратури. При проектуванні купольних покриттів такого типу будівлі необхідно звертати особливу увагу на створення сприятливих акустичних умов.



Рисунок 2.6 – Купол цирку на прикладі Cirque d'Hiver Bouglione (Франція)

Особливу складність при акустичному проектуванні цирків складає увігнута форма купола з центром кривизни практично в середині арени, а також жорсткі вимоги до пожежної безпеки (негорючості) всіх застосовуваних в обробці матеріалів [20-25].

Висновки щодо розділу. Акустичне проектування глядацьких залів типу амфітеатр, включає в себе проведення лабораторних досліджень акустичної ефективності декількох варіантів звукопоглинальних конструкцій, вибір оптимального рішення і проектування на основі цього звукопоглинаючого облицювання купола. У випадках, коли перебудова або часткова реконструкція куполів та приміщення цирку взагалі є неможливою, найбільш оптимальним варіантом досягнення найсприятливіших акустичних умов є вірний вибір акустичних систем та їх грамотне розміщення.

3 МОДЕЛЬ ДІЮЧОГО ПІДЗВУЧЕННЯ АМФІТЕАТРУ НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЦИРКУ

Харківський цирк є одним з найстаріших установ даного профілю в Україні (рисунок 3.1). Архівні знахідки свідчать про те, що перші опалювальні дерев'яні цирку почали з'являтися в нашому місті з початку 60-х років 19 століття.



Рисунок 3.1 – Будівля Харківського державного цирку

На початку 20-го століття в 1906 році було споруджено будинок цирку Грікке, а в 1911 році будівлю цирку Муссури (збереглися до цього дня).

У 30-і роки був проведений капітальний ремонт з добудовою Харківського цирку (колишнього цирку Грікке). Був повністю замінений купол будівлі. Нині в ньому діє Українська дирекція з підготовки циркових атракціонів та номерів. У колишньому будинку цирку Муссури довгі роки

працював Харківський театр оперети (нині воно знаходиться в аварійному стані).

У 1932 році цирк очолив видатний діяч циркового мистецтва заслужений працівник культури УРСР Фред Дмитрович Яшинов (1901-1987 р.р). Він був директором цирку до 1982 року. За безпосередньої участі Ф.Д.Яшінова, починаючи з 30-х років були підготовлені багато нових номера, атракціони і цілі програми. Саме він дав путівку в життя видатної артистки, народній артистці СРСР, Герою Соціалістичної праці, Харків'янці Ірині Миколаївні Бугримової – першої радянської дресирувальниці хижих тварин. Сьогодні площа, на якій знаходиться новий Харківський цирк носить її ім'я.

У 1974 році Харківський цирк переїхав в нову будівлю, на манежі якого 9 квітня було дано перша вистава.

За останні десять років у харківському цирку випущені номери різних жанрів, зокрема: «Повітряний політ» С. Манчука, «Повітряний політ» С.Коваленко, «Партерний політ» С. Шаталова, «Політ без сітки» М. Севрюкова, «Гра з батогамі ЗОРРО», «Вільна дресура поні» А.Спектора номера жонглерів, наїзників, акробатів. У вересні 2008 року відбувся випуск нового номера «Акробати на батуті» під керівництвом Е. Захарова.

У цирку підготовлений новий атракціон «Дресировані леви» А. Пінко, його прем'єра відбулася у вересні 2006 року. Цей атракціон присвячений пам'яті І.М. Бугримової.

3.1 Діюче акустичне оформлення Харківського державного цирку

На сьогоднішній день Харківський державний цирк обладнано сучасними акустичними системами DAS Audio Vantec 15A у кількості трьох одиниць.

Vantec 15A (рисунок 3.2)– активна мобільна акустична система, яка може використовуватися в якості сценічного монітора. 1500-ватний

підсилювач класу D забезпечує широку смугу пропускання частот, широкий динамічний діапазон і виключно низький рівень спотворень – особливості, які рідко можна знайти в інших акустичних системах в цьому сегменті звукового ринку. Динамік 15F4 гучномовець забезпечує точне відтворення низьких частот. Високі частоти обробляються компресійним драйвером M-28 FEM діаметром 1 дюйм, які мають високу продуктивність. Дані акустичні системи є оптимальним оснащенням для приміщення цирку.



Рисунок 3.2 – Акустична система DAS Audio Vantec 15A

Акустичні системи розміщено на спеціальних фермах під куполом цирку над площиною підвісної стелі, що виконано з матеріалу типу металевий перфорований лист поверх якого розміщено звукопоглинаючий матеріал ізолайт товщиною 50мм, коефіцієнт звукопоглинання α даного матеріалу наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт звукопоглинання матеріалу ізолайт товщиною 50мм

Матеріал	Коефіцієнт звукопоглинання α на середньгеометричних частотах октавних полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
«Ізолайт», 50мм	0,11	0,25	0,64	0,92	0,95	0,96

Подібне розміщення акустичних систем є недоцільним оскільки основна частина звуку поглинається матеріалом Ізолайт, особливо на високих частотах вище 1кГц. Через це глядачі чують глухий та нерозбірливий звук.

Для проведення дослідження та аналізу діючого розміщення акустичних систем та характеристики звуку було створено модель приміщення Харківського державного цирку за допомогою програмного забезпечення EASYE 4.3. Модель цирку є прототипом реального приміщення з повним дотриманням розмірів поверхонь та типом матеріалів обробки. Дану модель представлено на рисунку 3.3.

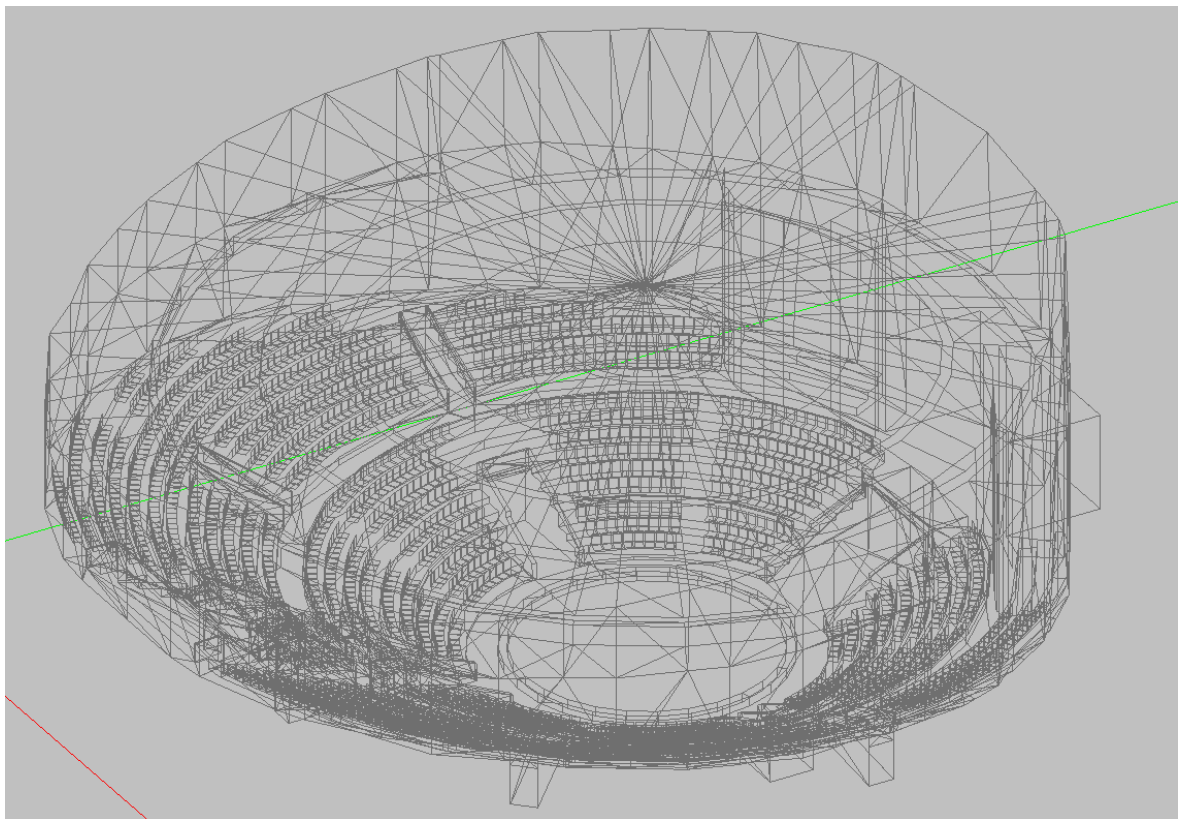


Рисунок 3.3 – Модель приміщення Харківського державного цирку

Для проведення експерименту у створену модель було додано акустичні системи аналогічно реальному їх розміщенню у приміщенні цирку, що представлено на рисунку 3.4.

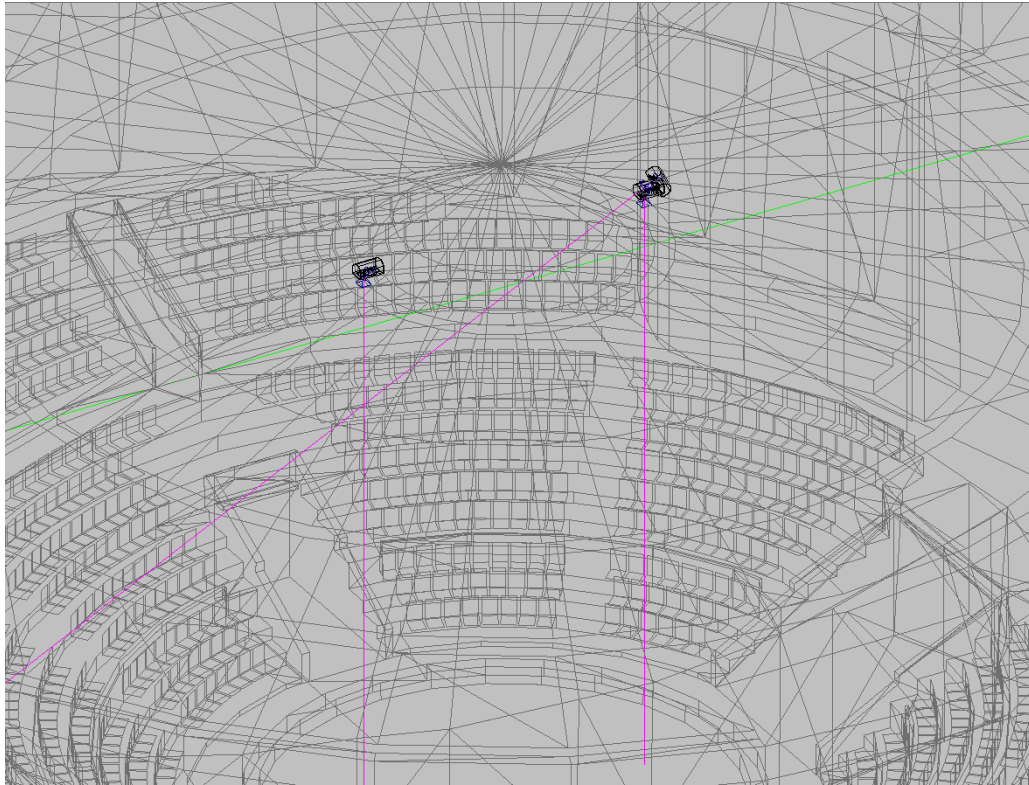


Рисунок 3.4 – Розміщення акустичних систем на моделі цирку

Для дослідження моделі діючого озвучення приміщення Харківського державного цирку біло визначено наступні акустичні характеристики: рівень спрямованого звукового тиску, індекс артикуляції, індекс передачі мови, показник прямого звуку, коефіцієнт розбірливості мови, показник музичної ясності [7-13].

На рисунку 3.5 зображено розподіл спрямованого звукового тиску на частоті 1 кГц. Для манежу рівень звукового тиску склав 73 дБ, для першого глядацького ряду 71 дБ, для останнього ряду – 61 дБ.

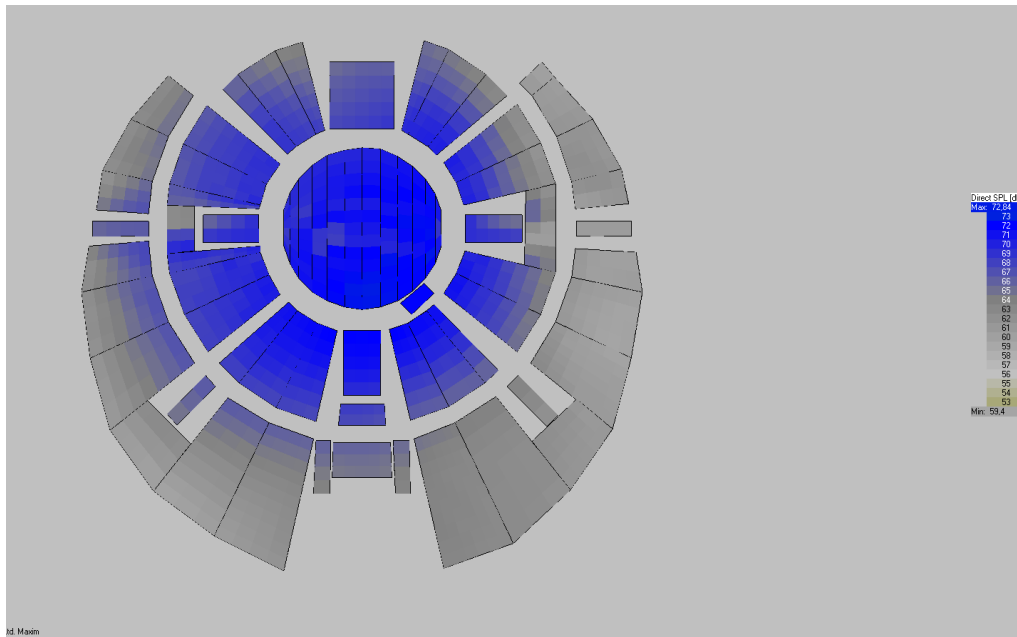
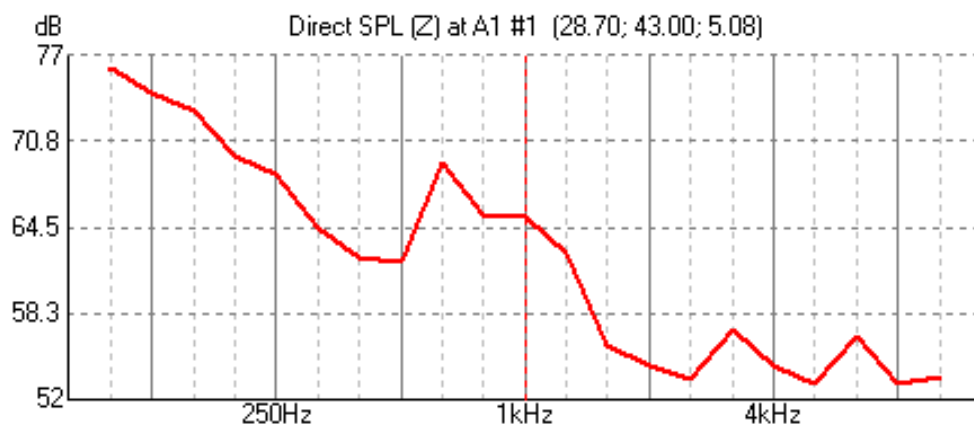


Рисунок 3.5 – Рівень звукового тиску у приміщенні цирку

На рисунку 3.6 зображено графік рівню звукового тиску в діапазоні від 100 Гц до 10 кГц.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 02.12.2019 12:11:35 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.6 – Рівень звукового тиску на діапазоні частот від 100 Гц до 10 кГц

Виходячи з цього графіку можна побачити недолік діючого розміщення акустичних систем, а саме, в діапазоні від 100 Гц до 500 Гц помітно спад звукового тиску від 77 дБ до 61 дБ. В діапазоні від 1,6 кГц до 10 кГц середній рівень звукового тиску склав 55 дБ. Це означає, що в приміщенні цирку при діючому розміщенні акустичних систем спостерігається надлишок низьких частот від 100 Гц до 160 Гц та недостатньо високих частот від 5 кГц до 10 кГц. Нерівномірність спрямованого звукового тиску складає 22,9 дБ на частотах від 100 Гц до 10 кГц. Середній рівень звукового тиску в 61 дБ не відповідає мінімально допустимим вимогам для концертних музикально-мовних систем звукового забезпечення, який складає 90 дБ.

На рисунку 3.7 зображено результати дослідження показника прямого звуку на частоті 1кГц.

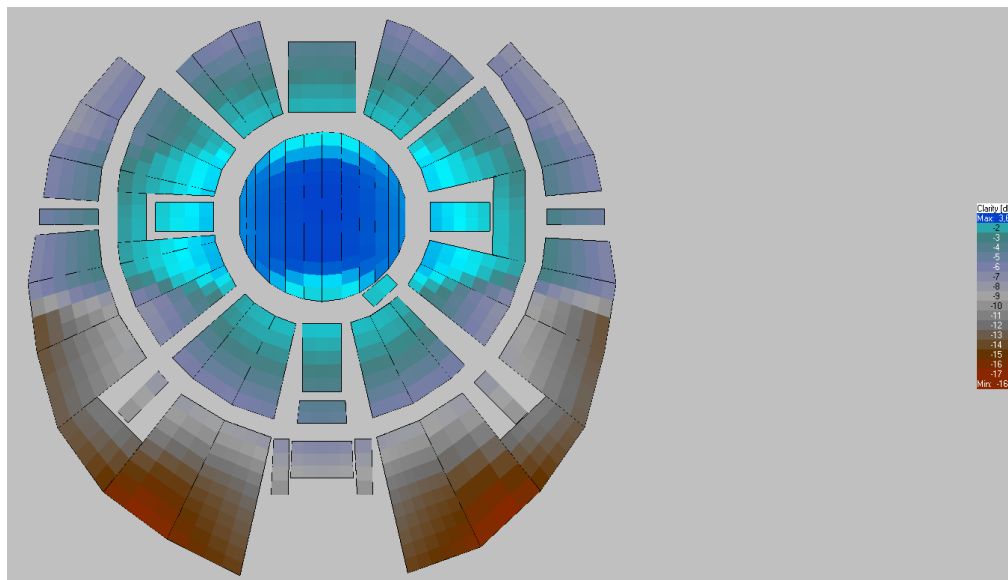
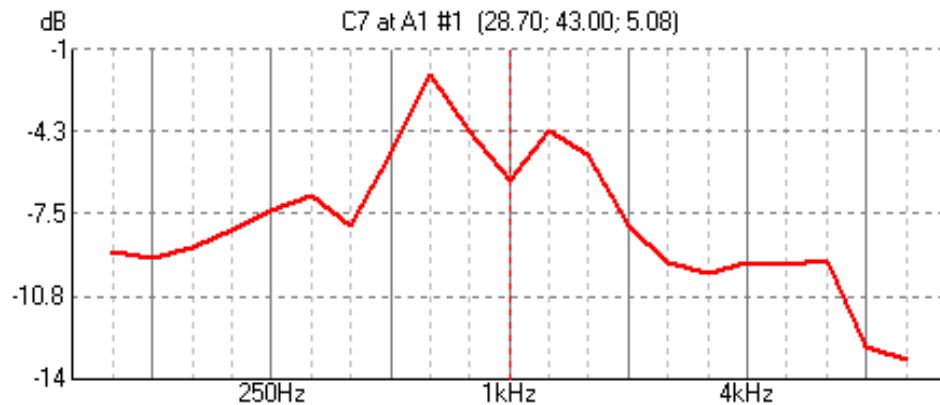


Рисунок 3.7 – Результати дослідження показника прямого звуку на частоті 1 кГц

Графік показника прямого звуку в зоні прослуховування зображено на рисунку 3.8. Його рівень на низьких частотах склав від -8,95 дБ до -6,79 дБ. На

середніх частотах показник прямого звуку склав від -2 дБ до -7,94 дБ. На високих частотах показник прямого звуку склав від -5,1 дБ до -13,2 дБ.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 02.12.2019 12:12:37 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.8 – Графік показника прямого звуку в зоні прослуховування

На рисунку 3.9 зображено результат дослідження показників мовної ясності на частоті 1 кГц.

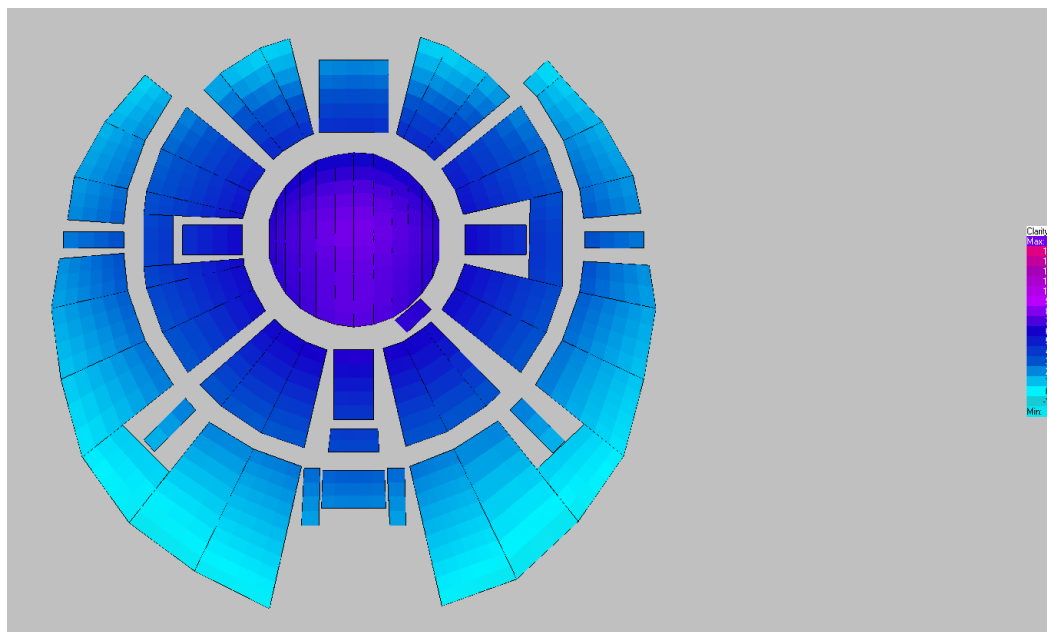
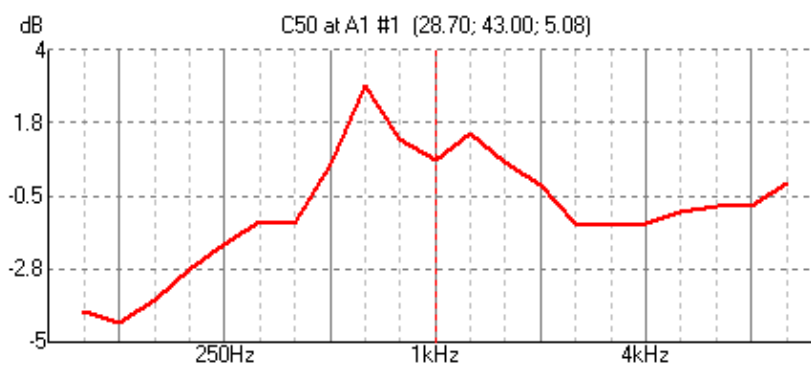


Рисунок 3.9 – Дослідження показника мовної ясності

Графік показника мовної ясності зображено на рисунку 3.10. На низьких частотах показник мовної ясності складає від 4,41 дБ до -1,38 дБ. На середніх частотах показник мовної ясності складає від 0,5 дБ до 2,91 дБ. На високих частотах показник мовної ясності складає від -1,39 дБ до 0,53 дБ.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 02.12.2019 12:13:01 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.10 – Графік показника мовної ясності

На рисунку 3.11 зображено результат дослідження показника музичної ясності на частоті 1 кГц.

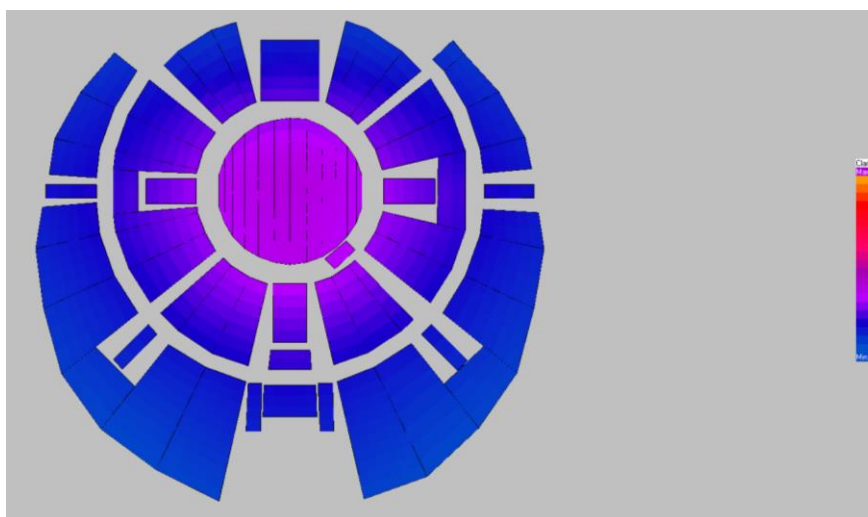
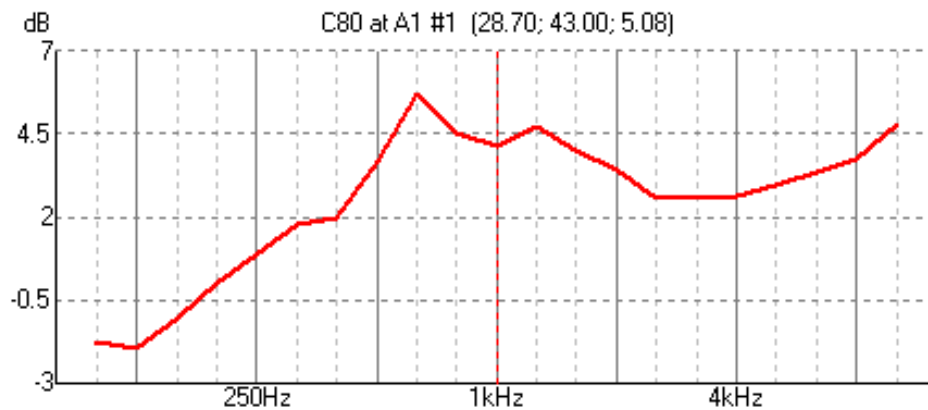


Рисунок 3.11 – Дослідження показника музичної ясності

На рисунку 3.12 зображено графік показника музичної ясності. На низьких частотах показник музичної ясності склав від -1,95 дБ до 1,76 дБ. На середніх частотах цей показник склав від 2 дБ до 5,73 дБ. На високих частотах показник музичної ясності склав від 2,55 дБ до 4,79 дБ.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 02.12.2019 12:09:50 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.12 – Графік показника музичної ясності

На рисунку 3.13 зображено результат дослідження артикуляційних втрат приголосних. Мінімальний процент артикуляційних страт склав 2,77%, а максимальний 6,17%. Це означає, що при діючому розміщенні акустичних систем відсоток артикуляційних втрат приголосних є невеликим та досягається ідеальна мовна ясність.

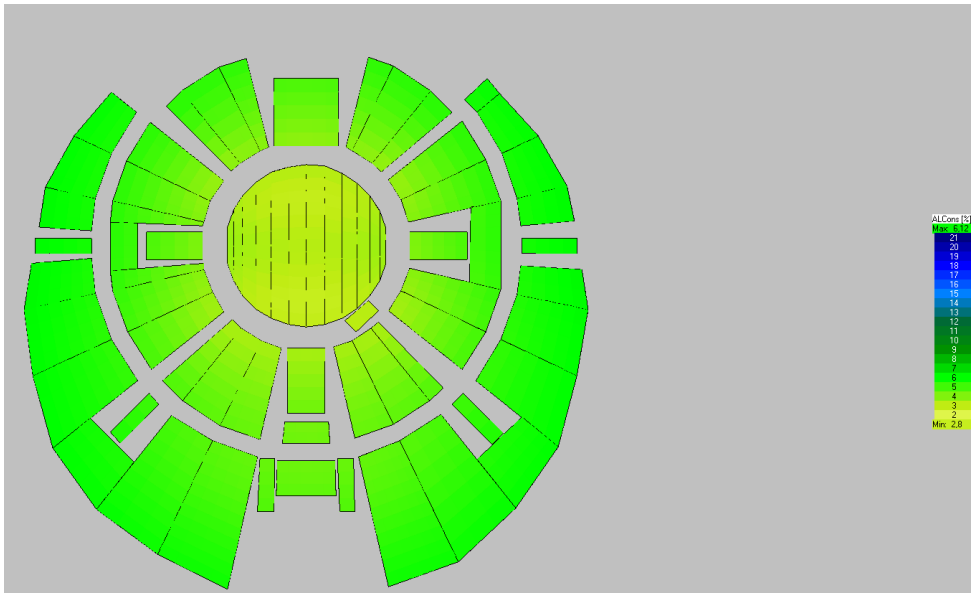
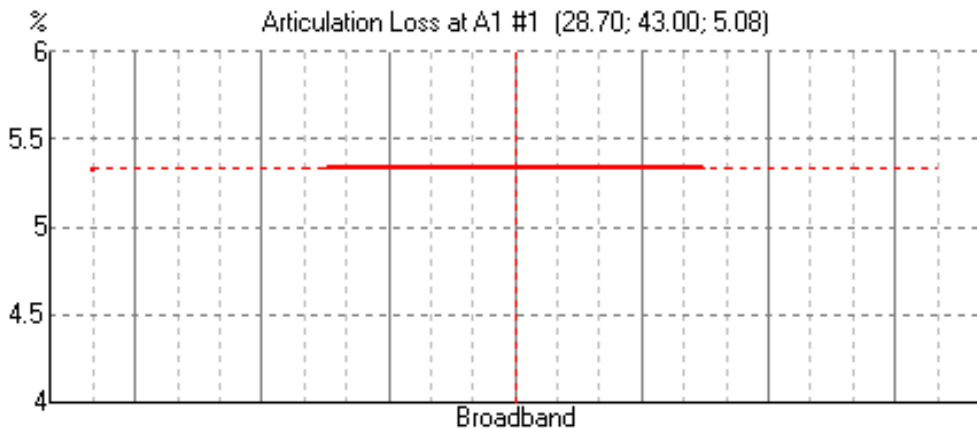


Рисунок 3.13 – Результат дослідження артикуляційних страт приголосних

Графік артикуляційних втрат приголосних зображено на рисунку 3.14.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 04.12.2019 20:12:40 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.14 – Графік артикуляційних втрат приголосних

На рисунку 3.15 зображено результат дослідження індексу передачі мови. Мінімальне значення цього індексу склало 0,62, а максимальне 0,76. Даний результат означає, що в приміщенні цирку при діючому розміщенні

акустичних систем спостерігається відмінна розбірливість мови. Графік індексу передачі мови зображено на рисунку 3.16

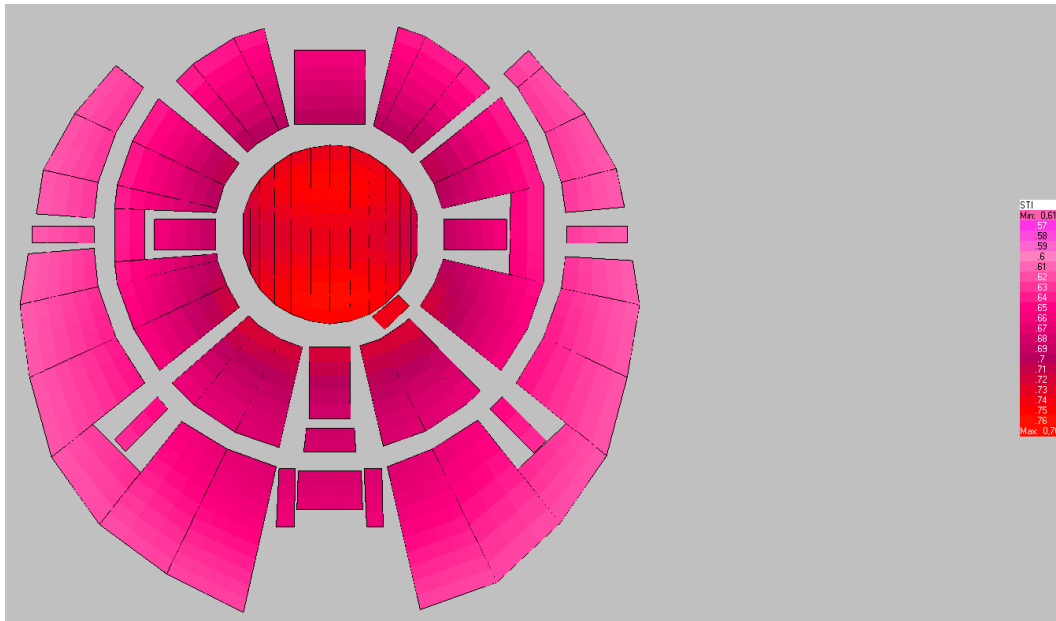
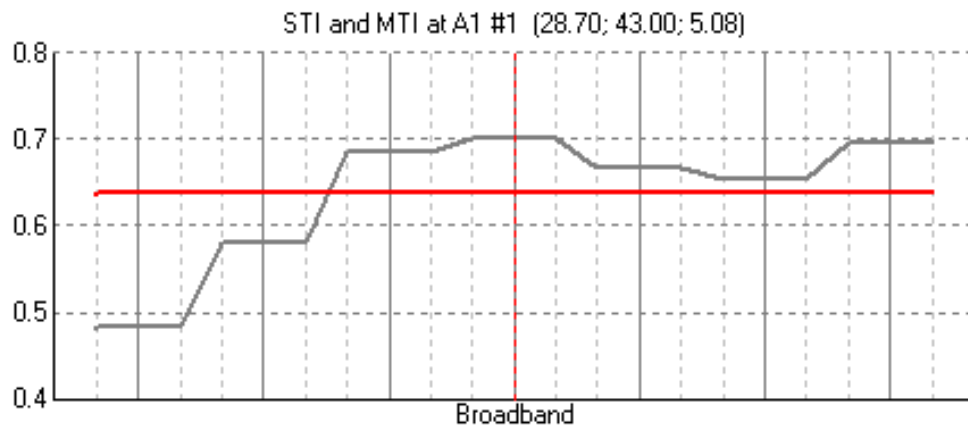


Рисунок 3.15 – Результат дослідження індексу передачі мови



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 02.12.2019 12:11:05 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.16 – Графік індексу передачі мови

На рисунку 3.17 зображено результат дослідження індексу передачі швидкої мови. Мінімальне значення цього індексу склало 0,63, а максимальне

0,81. Це означає, що при діючому розміщенні акустичних систем у приміщенні цирку досягається дуже гарна складова ясність. Графік індексу передачі швидкої мови зображено на рисунку 3.18.

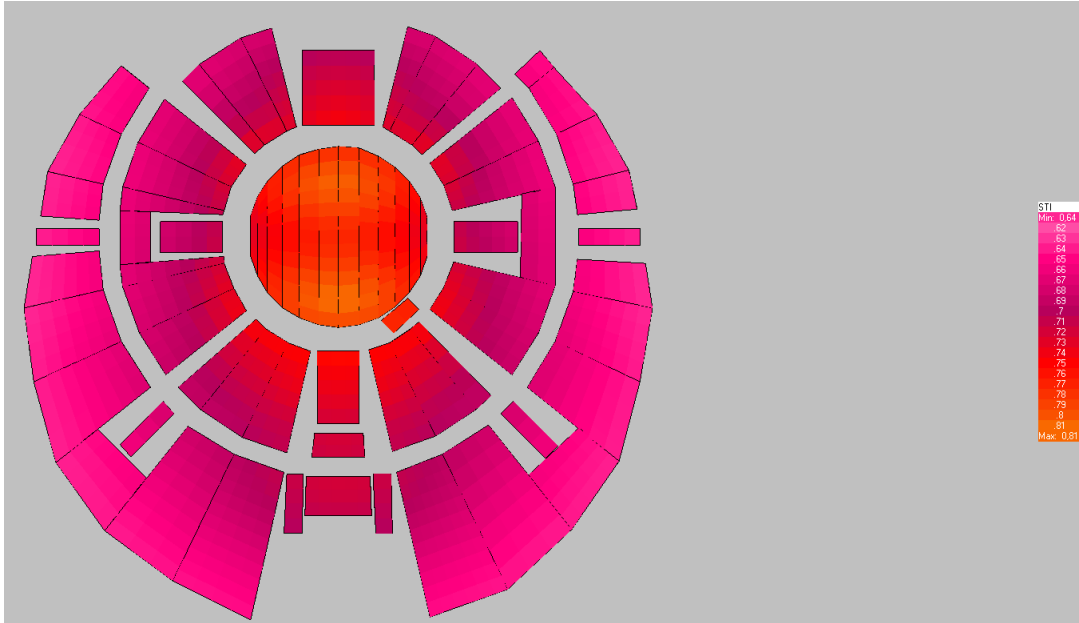
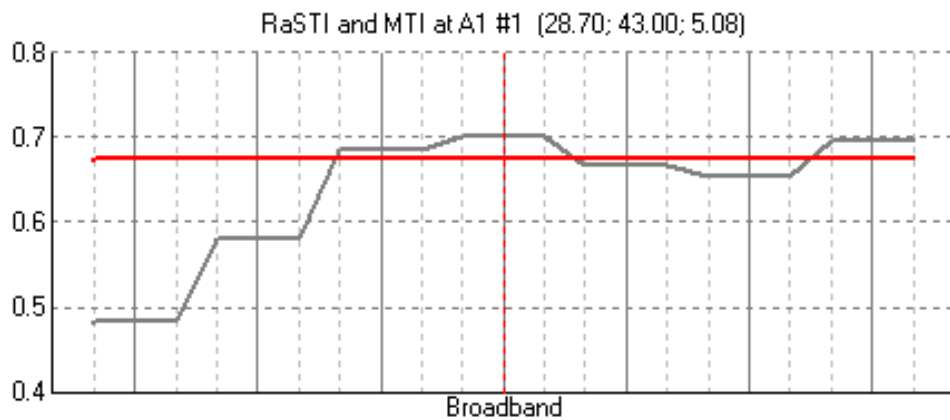


Рисунок 3.17 – Результат дослідження індексу передачі швидкої мови



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 05.12.2019 19:17:38 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 3.17 – Графік індексу передачі швидкої мови

Висновки щодо розділу. Виходячи з результатів досліджень акустичних характеристик приміщення Харківського державного цирку при діючому розміщенні акустичних систем можна сказати, що такі характеристики як індекс артикуляції, індекс передачі мови, показник прямого звуку, коефіцієнт розбірливості мови, показник музичної ясності відповідаючи оптимальним значенням та створюють сприятливі акустичні умови у приміщенні. Проте результат дослідження рівню спрямованого звукового тиску та характер його розповсюдження в приміщенні показує, що звуковий тиск на манежі та в перших глядацьких рядах на 15 дБ перевищує рівень звукового тиску на останніх глядацьких рядах.

4 ЗАПРОПОНОВАНА МОДЕЛЬ ОЗВУЧЕННЯ АМФІТЕАТРУ НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЦИРКУ

Для досягнення рівномірного розподілу рівня спрямованого звукового тиску у приміщенні Харківського державного цирку за допомогою програми EASE 4.3 шляхом підбору було змінено розміщення акустичних систем, збільшено їх кількість та змінено модель. У запропонованій моделі озвучення приміщення було вибрано акустичні системи RCF HDM 45-A (рисунок 4.1). Цей вибір зумовлено більшою потужністю у порівнянні з наявними акустичними системами та більш широким кутом покриття.



Рисунок 4.1 – Акустична система RCF HDM 45-A

Запропоновану модель розміщення акустичних систем представлено на рисунках 4.2 та 4.3.

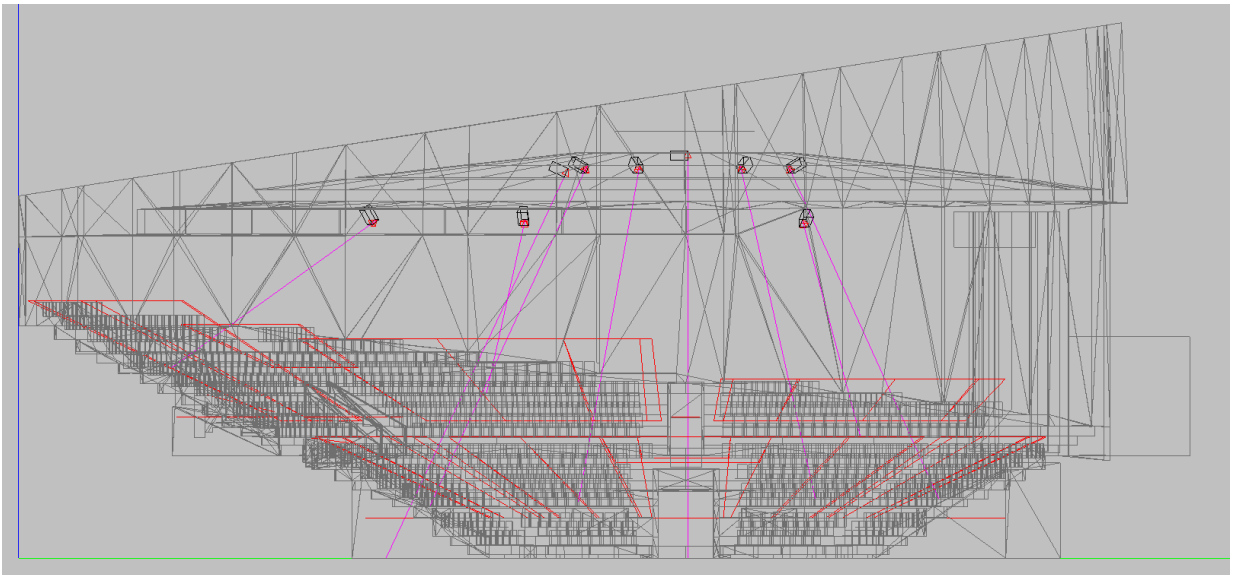


Рисунок 4.2 – Запропонована модель розміщення акустичних систем
(вид збоку)

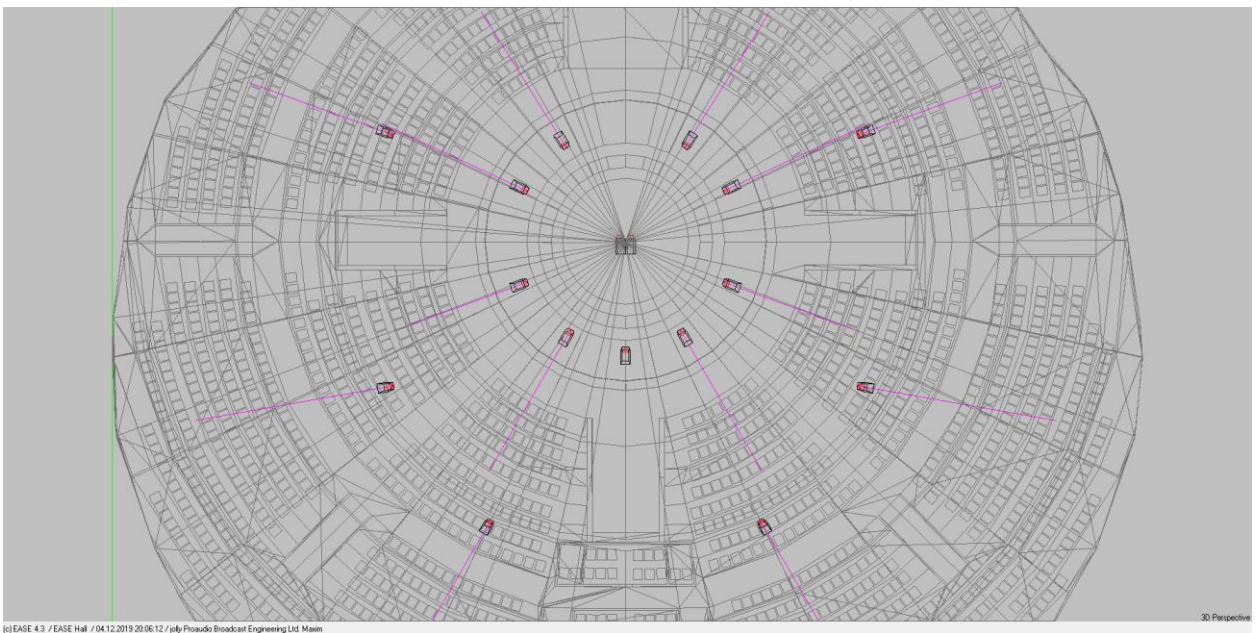


Рисунок 4.3 – Запропонована модель розміщення акустичних систем
(вид зверху)

Для запропонованої моделі розміщення акустичних систем було проведено дослідження рівню та розподілення спрямованого звукового тиску.

Також, з метою впевненості у збереженні оптимальних значень інших акустичних характеристик для даної моделі було проведено дослідження індексу артикуляції, індексу передачі мови, показника прямого звуку, коефіцієнту розбірливості мови, показника музичної ясності [7-13].

На рисунку 4.4 зображено розподіл звукового тиску на частоті 1 кГц. Його значення на манежі складо 101 дБ, на першому глядацькому ряді – 100 дБ, на останньому глядацькому ряді – 98 дБ.

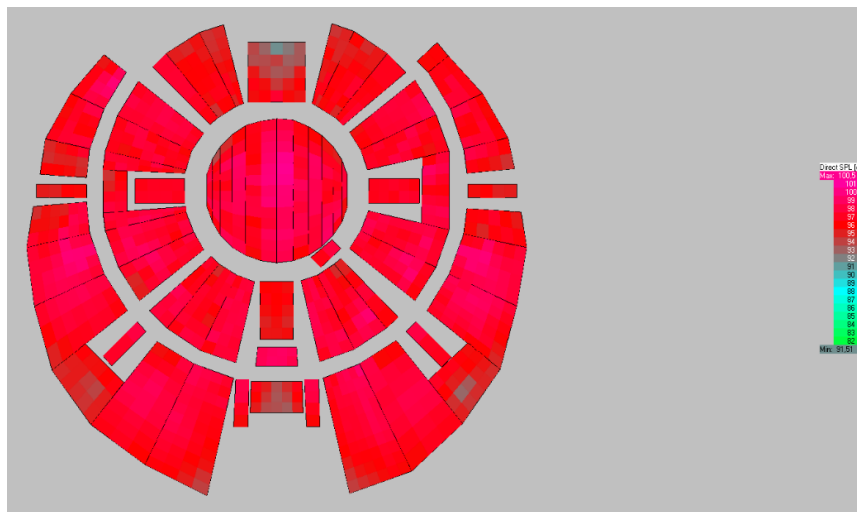


Рисунок 4.4 – Рівень звукового тиску у приміщенні цирку

На рисунку 4.5 зображено графік рівню звукового тиску в діапазоні від 100 Гц до 10 кГц. Виходячи з цього графіку можна сказати, що при зміні місця розміщення та кількості акустичних систем було досягнуто оптимального розподілу спрямованого звукового тиску. Значення нерівномірності в діапазоні від 100 Гц до 8 кГц складає лише 2,6 дБ. Середній рівень звукового тиску дорівнює 96 дБ, що відповідає мінімально допустимим вимогам для концертних музикально-мовних систем звукового забезпечення. Мінімальне допустиме значення складає 90 дБ.

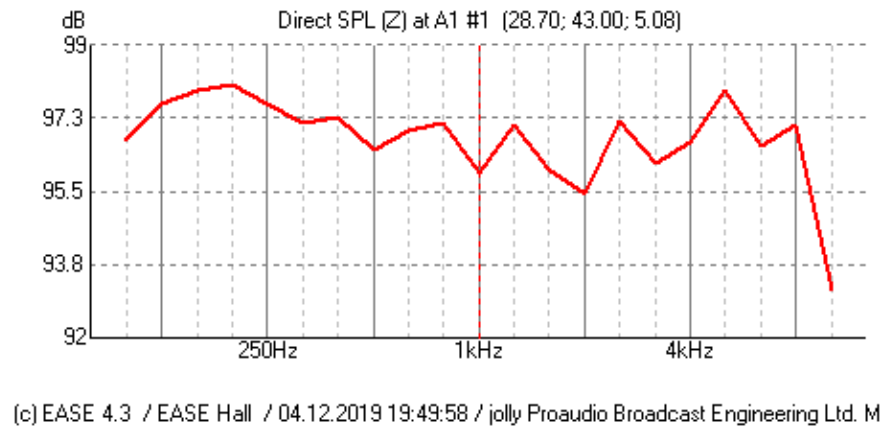


Рисунок 4.5 – Графік рівню звукового тиску

На рисунку 4.6 зображено результат дослідження показника прямого звуку на частоті 1 кГц.

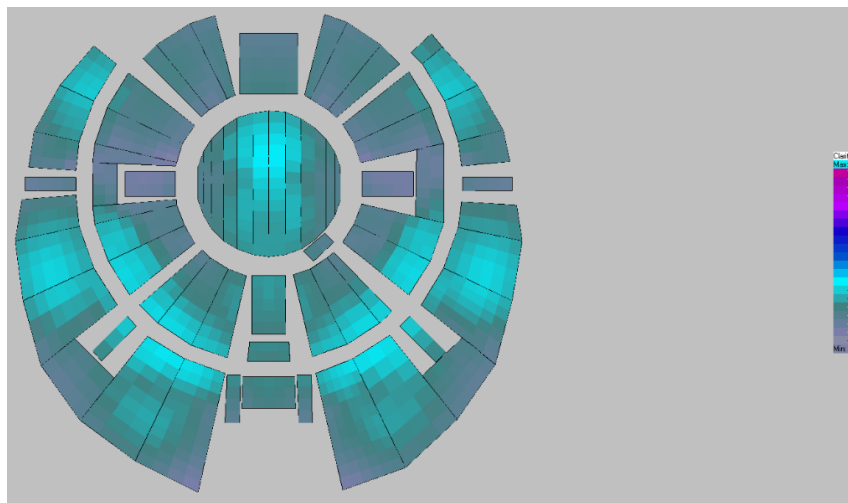


Рисунок 4.6 – Результат дослідження показника прямого звуку на частоті 1 кГц

На рисунку 4.7 зображено графік показника прямого звуку в зоні прослуховування. Його рівень на низьких частотах склав від -8,92 дБ до -5,9 дБ. На середніх частотах показник прямого звуку складає від -4,9 дБ

до -4,6 дБ. На високих частотах показник прямого звуку складає від -4,2 дБ до -2,39 дБ.

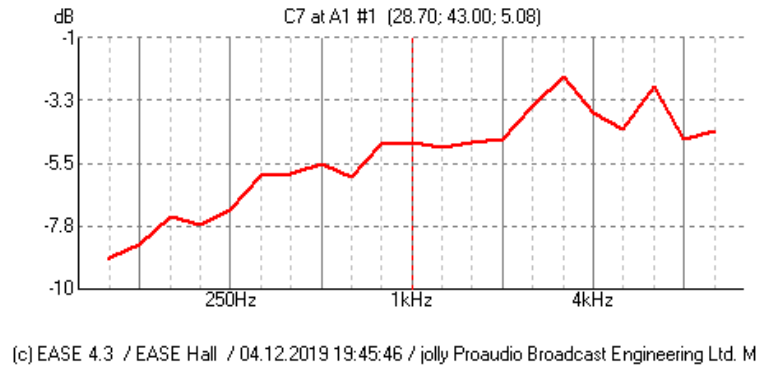


Рисунок 4.7 – Графік показника прямого звуку

На рисунку 4.8 зображено результат дослідження мовної ясності на частоті 1 кГц.

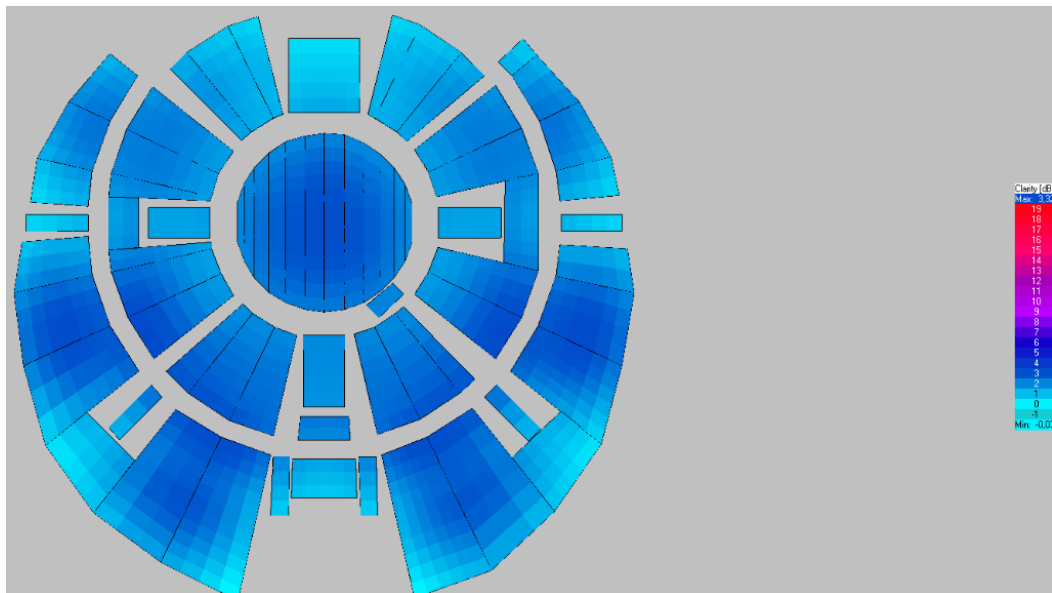


Рисунок 4.8 – Результат дослідження мовної ясності на частоті 1 кГц

На рисунку 4.9 зображено графік показника мовної ясності. На низьких частотах показник мовної ясності складає від -5,5 дБ до -2,1 дБ. На середніх частотах показник мовної ясності складає від -1,69 дБ до 0,03 дБ. На високих частотах цей показник складає від -0,12 дБ до 1,22 дБ.

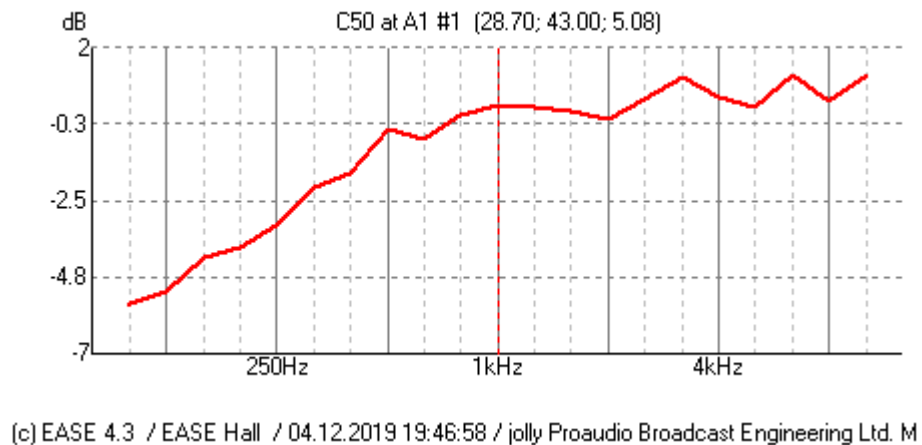


Рисунок 4.9 – Графік показника мовної ясності

На рисунку 4.10 зображено результат дослідження показника музичної якості на частоті 1 кГц.

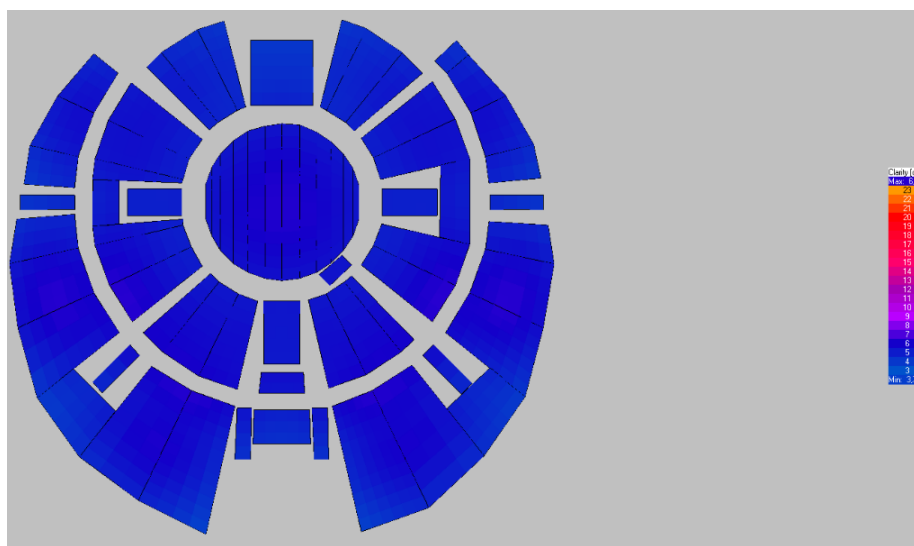
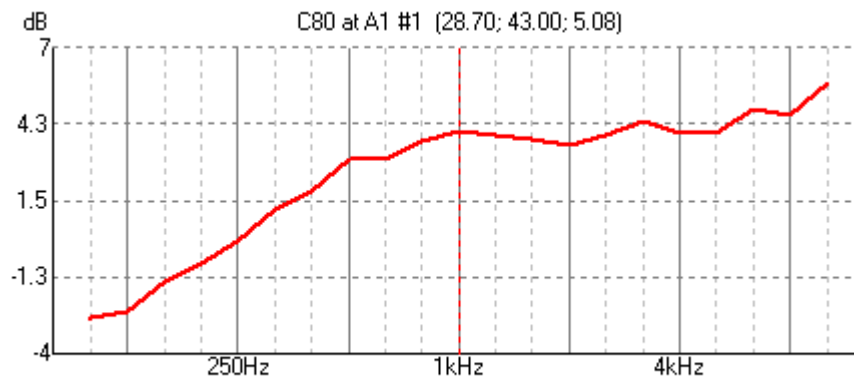


Рисунок 4.10 – Результати дослідження показника музичної ясності

На рисунку 4.11 зображено графік показника музичної ясності. На низьких частотах музична ясність складає від -2,72 дБ до 1,16 дБ. На середніх частотах показник музичної ясності складає від 1,8 дБ до 4 дБ. На високих частотах цей показник складає від 3,4 дБ до 5,72 дБ.



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 04.12.2019 19:49:17 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 4.11 – Графік показника музичної ясності

На рисунку 4.12 зображено результат дослідження проценту артикуляційних втрат приголосних. Мінімальний процент артикуляційних втрат склав 3,84%, а максимальний 5,46%. При запропонованому розміщенні акустичних систем у приміщенні цирку досягається оптимальний процент артикуляційних втрат приголосних та відмінна мовна ясність. Графік відсотка артикуляційних втрат приголосних зображено на рисунку 4.13.

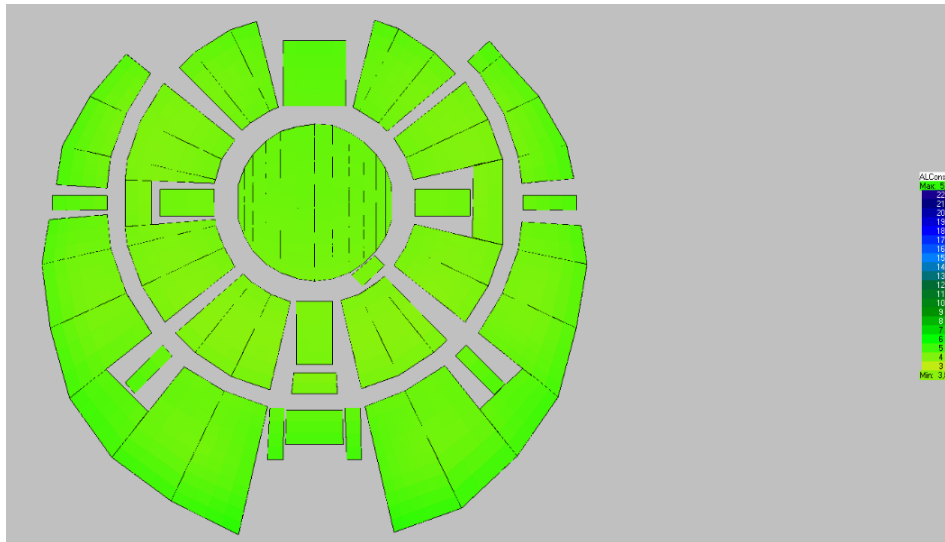
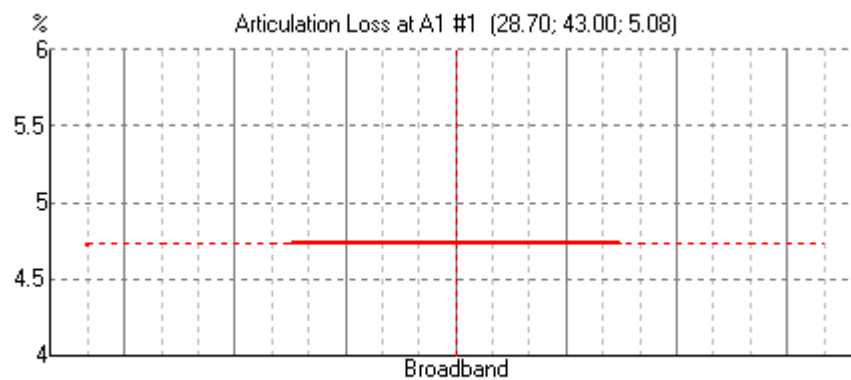


Рисунок 4.12 – Результат дослідження відсотку артикуляційних втрат



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 04.12.2019 20:04:15 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. M

Рисунок 4.13 – Графік відсотку артикуляційних втрат

На рисунку 4.14 зображено результат дослідження індексу передачі мови. Мінімальне значення цього індексу складає 0,63, а максимальне 0,76. Цей результат означає, що при запропонованому розміщенні акустичних систем досягається відмінна розбірливість мови. На рисунку 4.15 зображено графік індексу передачі мови.

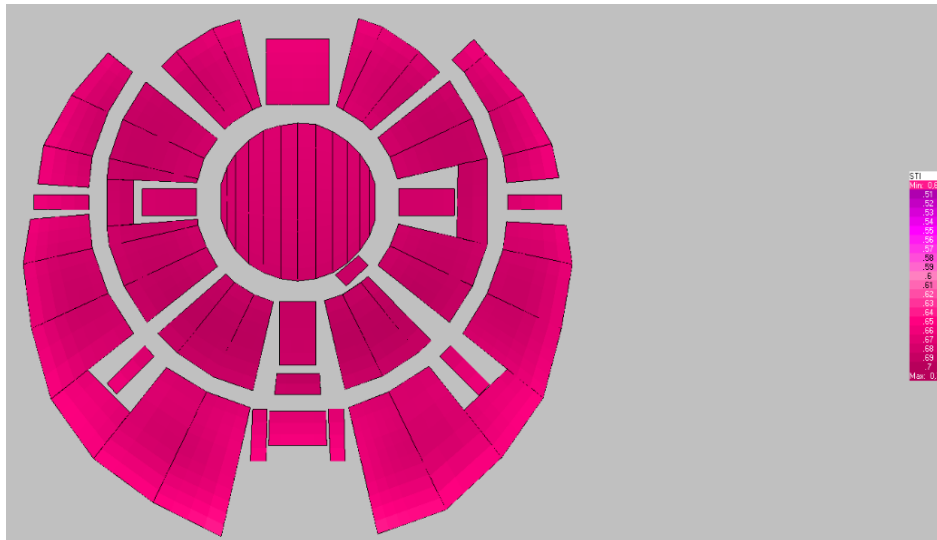


Рисунок 4.14 – Результат дослідження індексу передачі мови

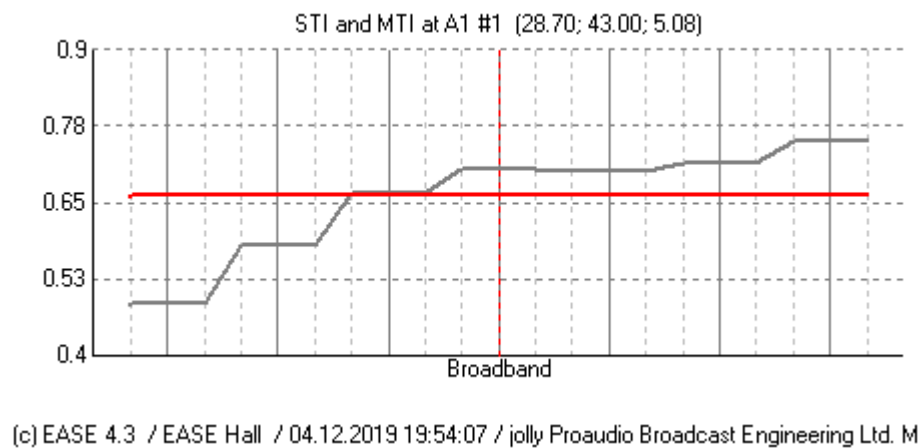


Рисунок 4.15 – Графік індексу передачі мови

На рисунку 4.16 зображено результат дослідження індексу передачі швидкої мови. Мінімальне значення цього індексу склало 0,65, а максимальне 0,72. Це означає, що при запропонованому розміщенні акустичних систем досягається відмінна складова ясність. Графік індексу передачі швидкої мови зображено на рисунку 4.17.

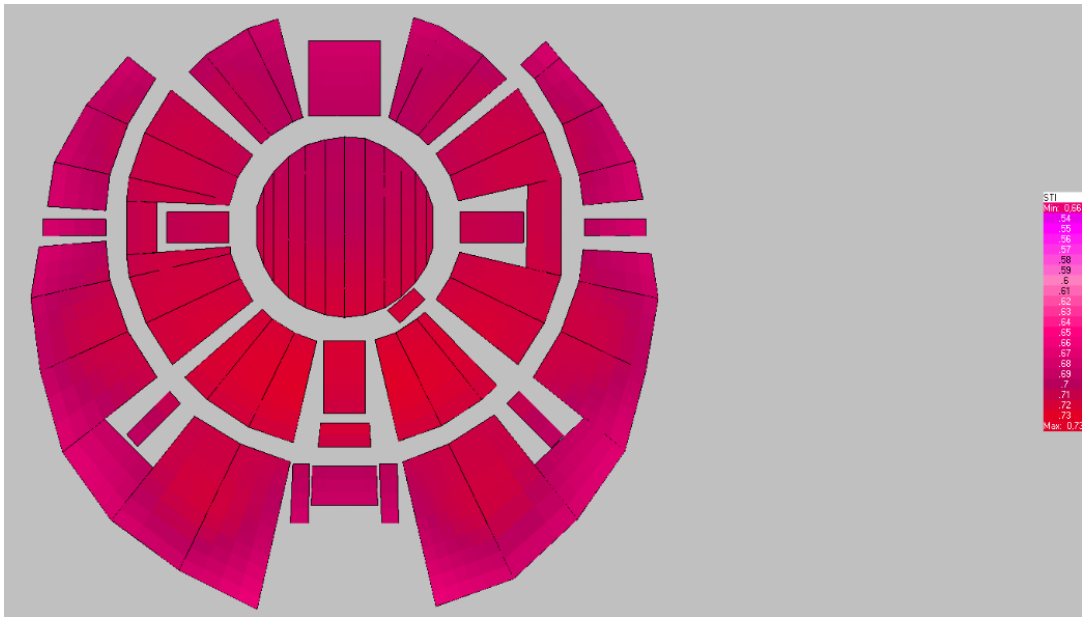


Рисунок 4.16 – Результат дослідження індексу передачі швидкої мови

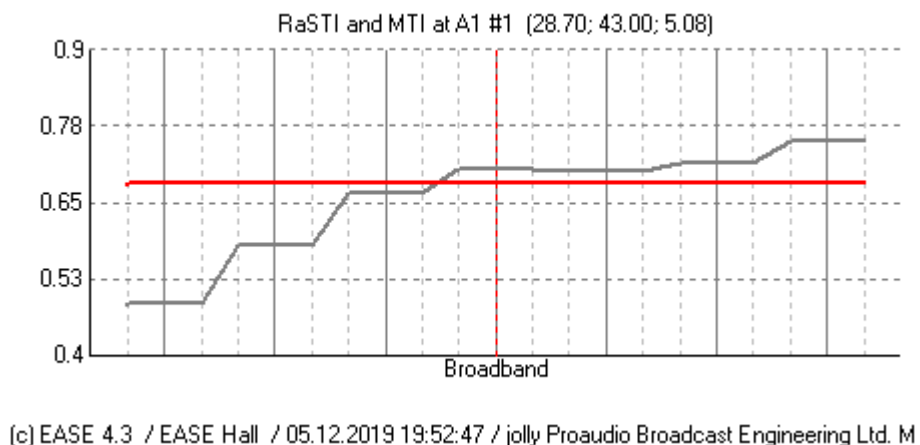


Рисунок 4.17 – Графік індексу передачі швидкої мови

Висновки щодо розділу. При порівнянні результатів дослідження акустичних характеристик приміщення цирку при діючому озвученні та при запропонованому розміщенні видно, що при зміні кількості акустичних систем та місця їх розміщення можна досягнути оптимального значення та розподілу спрямованого звукового тиску при цьому не втрачаючи якості інших акустичних характеристик. При запропонованому розміщенні акустичних

систем різниця звукового тиску між манежем, першими глядацькими рядами та останніми глядацькими рядами складає усього 2,6 дБ, що на 12,4 дБ менше ніж при діючому розміщенні акустичних систем. При цьому середній рівень звукового тиску збільшився до 96 дБ та досяг оптимального рівня для даного типу приміщень, в той час як при діючій моделі озвучення середній рівень звукового тиску складав лише 61 дБ. Отже можна зробити висновки, що збільшення кількості акустичних систем та зміна місця їх розміщення є доцільними мірами для досягнення найбільш якісного звуку у приміщенні Харківського державного цирку.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день сучасні акустичні системи набувають широкого розповсюдження як для особистого використання, так і для озвучення приміщень, у яких проводяться масові видовища. Більшість будов, у яких проводяться багатолюдні заходи будувались без дотримання норм архітектурної акустики, тому акустичні властивості цих приміщень не дозволяють створювати ідеальні умови для розповсюдження звуку. Також це пов'язано зі стрімким розвитком та кардинальною зміною музичних стилів, саме тому нові вимоги відповідності акустичним нормам висуваються не лише для приміщень, а й для акустичних систем.

Якість озвучення будь-якого приміщення залежить не лише від відповідності акустичних систем сучасним параметрам, а й від їх розміщення. Це особливо помітно у закритих приміщеннях типу амфітеатр.

В ході виконання дипломної роботи було проведено дослідження якості наявного акустичного оснащення в амфітеатрі на прикладі Харківського державного цирку. За допомогою програми EASE 4.3 було створено модель приміщення цирку з повним дотриманням розмірів та матеріалів, використаних при будівництві цирку. У створеній моделі було імітовано діюче розміщення акустичних систем. У ході досліджень було виявлено, що більшість акустичних параметрів таких, як індекс артикуляції, індекс передачі мови, показник прямого звуку, коефіцієнт розбірливості мови, показник музичної ясності відповідають оптимальним значенням та створюють сприятливі акустичні умови у приміщенні цирку. Проте рівень спрямованого звукового тиску та характер його розповсюдження не відповідали оптимальним нормам для даного типу приміщення. З результатів дослідження було видно, що рівень звукового тиску на манежі та перших глядацьких рядах суттєво відрізнявся від рівню звукового тиску на останніх глядацьких рядах. В свою чергу середнє значення звукового тиску було недостатнім для приміщення даного типу.

Для корекції значення та характеру розповсюдження рівня звукового тиску у моделі приміщення Харківського державного цирку шляхом підбору було змінено кількість, місцеположення та модель акустичних систем. В результаті змін було досягнуто рівномірний розподіл рівня звукового тиску по усьому периметру приміщення, а його середнє значення збільшилось, та перевищило мінімальне допустиме значення для даного типу приміщень. Досягнення цих змін відбулось без суттєвих втрат якості решти акустичних характеристик.

Отже, в результаті виконання дипломної роботи можна зробити висновки, що розміщення акустичних систем безпосередньо впливає на якість звучання у приміщенні, а зміна розміщення дозволяє коригувати необхідні акустичні характеристики та досягати найбільш оптимального звуку у більшості типів приміщень не зважаючи на їх акустичне оформлення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Грінченко В.Т., Вовк І.В., Маципура В.Т. Основи акустики. Навчальний посібник. – К.: Наукова думка, 2007
2. Дідковський В.С., Найда С.А., Овсяник В.П. Фізична акустика. – К.: «Имэкс-ЛТД», 2009.
3. Дідковський В.С., Дідковська М.В., Продеус А.М. Комп'ютерна обробка акустичних сигналів. Навчальний посібник – К.: «Имэкс-ЛТД», 2010. – 430 с.
4. Продеус А., Дидковский В., Дидковская М. Акустическая экспертиза и коррекция коммуникационных каналов. Монографія. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrucken, Deutschland, 2017, ISBN: 978-3-330-04591-0
5. Тексти лекцій з дисципліни «Теоретичні основи акустики» для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 123–«Комп'ютерна інженерія»/Упоряд. В.В.Усик – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – 204 с
6. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография/Дідковський В. С., Дідковська М. В., Продеус А. Н. – Київ, 2008. 420.
7. Порошин С. М., Усик В. В. "Методология оценки акустических свойств помещений зрительских залов". "WORLD SCIENCE".- № 1(29) Vol.1, January 2018.- с.8-15.
8. Усик В.В., Беликов И.С."Особенности применения методологии оценки акустических свойств помещения на примере пресс-центра" Научно-технічний журнал "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті". – Харьков, № 1 2019.- с. 25-37
DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.voi1.158805>
9. Порошин С. М., Усик В. В. Особливості використання четвертого етапу акустичної експертизи для приміщень спеціального призначення.

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2021. № 3 (17). С. 41–61. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.17.041>

10. С. М. Порошин, В. В. Усик, І.С. Беліков. Методи формування оптимальних акустичних умов передачі мовного контенту в приміщеннях малих обсягів// Сучасні інформаційні системи. – 2021. - №5(4) . – С 34-41. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.05>

11. Усик В.В., Сергеев В.О. Особенности озвучения помещений типа амфитеатр. Труды XII Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем" IPST-2023".- Харків 2023.-с. 57-60.

12. Усик В.В., Мягкий И.Г. "Использование первых двух этапов акустической экспертизы помещений зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест". Научно-технический журнал "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті". – Харьков, № 5 2017.- с. 26-34.

13. Усик В.В., Мягкий И.Г. "Особенности проведения акустического моделирования, как завершающего этапа акустической экспертизы помещений зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест" Збірник "Радіотехніка" №191/2017, Харків.-2017.-с.203-211.

14. electrovoice.com.ua

15. Алдошина И. Субъективные и объективные методы оценки разборчивости речи//Звукорежисер. – 2002. - №8. – с.49-51.

16. Давидов В.В. Акустика помещений//Санкт-Петербург, Институт кино та телебачення, 1995. – 95 с.

17. EASERA Tutorial / Dr. W. Ahnert, Dr. W. Schmidt. –2006. – 170 с.

18. Мезон, Уоррен Физическая акустика. Принципы и методы. Том 5 / Уоррен Мезон. - М.: Мир, 1989. - 336 с.

19. [https://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/teatr_i_kino/AMFI TEATR.html](https://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/teatr_i_kino/AMFI%20TEATR.html)

20. <http://39rim.ru/amfiteatr-v-drevnem-rime-istoriya-i-znachimost.html>
21. https://phys.bspu.by/static/um/phys/meh/1mehnika/pos/glava1/11_5.pdf
22. <https://marhi.ru/kafedra/techno/phisics/az.pdf>
23. <https://diletant.media/articles/26036574/>
24. <http://arx.novosibdom.ru/node/40>
25. https://studref.com/303345/stroitelstvo/zdaniya_tsirkov