

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра дизайну

**СУЛКОВСЬКИЙ
ВАЛЕРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 725:534.84

Кваліфікаційна робота магістерського рівня вищої освіти
**Використання принципів дизайну в акустичній
корекції простору громадських приміщень**

**The use of design principles in the acoustic correction
of the space of public premises**

спеціальність 022 «Дизайн»
галузь знань 02 «Культура і мистецтво»

Науковий керівник:
доктор пед. наук,
професор Швець О.А.



Рецензент:

професор, канд. мистецтвозн.
Сулковський Р.О.
(звання, посада, прізвище та ініціали, підпис)

Львів – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра _____ дизайну
Другий рівень вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 022 «Дизайн»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. пед. н., проф. Прусак В.Ф.

“ _____ ” _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Сидковського Дмитрія Сергійовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Використання принципів дизайну в акцентній корекції інтер'єру громадських приміщень*

Науковий керівник роботи *доктор пед. наук, проф. Мельник О.*

Затверджені наказом університету № С-428 від 01 липня 2024 року.

2. Термін подання кваліфікаційної роботи до захисту *20.12.2024*

3. Вихідні дані роботи *Теоретичні та практичні аспекти проектування інтер'єру громадських приміщень: ергономічні та естетичні аспекти до громадських середовищ*

4. Зміст теоретичної частини (розділи, які потрібно розробити) *Розд. 1. Теорет. засади формування акцентної корекції приміщень в інтер'єрі громадських прим. Розд. 2. Практичні аспекти проектування інтер'єру громадських приміщень: ергономічні та естетичні аспекти до громадських середовищ. В Україні запроваджені стандарти якості громадських приміщень.*

5. Перелік практичної частини (графічний матеріал) ілюстрації, кий бакор, будинок, деталі машини,

6. Дата видачі завдання 22 вересня 2024 р.

Науковий керівник роботи


(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційний пошук.	вересень	
2	Формування зібраного матеріалу та визначення головних складових	вересень-жовтень	
3	Написання вступу.	жовтень	
4	Написання основної частини та перед проектний пошук.	жовтень-листопад	
5	Написання висновків, оформлення списку використаних джерел та додатків.	листопад-грудень	
6	Оформлення рукопису кваліфікаційної роботи, перевірка на антиплагіат теоретичної частини. Виконання практичної частини.	грудень	
7	Рецензування, оформлення презентації та захист.	грудень	

Здобувач РВО «Магістр»


(підпис)

Науковий керівник роботи


(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ В ДИЗАЙНІ ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	11
1.1. Історичний розвиток акустичного дизайну.....	11
1.2. Природа звуку та його взаємодія з простором.....	19
1.3. Основні принципи акустичної корекції.....	30
Висновки за розділом 1.....	40
РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ ДИЗАЙНУ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТОРОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ АКУСТИЧНІЙ КОРЕКЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ.....	43
2.1. Вплив дизайну середовища на акустичні характеристики приміщення.....	43
2.2. Акустичні матеріали в предметно-просторовому дизайні.....	51
2.3. Екологічні аспекти у дизайні громадських приміщень.....	58
Висновки за розділом 2.....	66
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ЯКОСТЕЙ ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ В СУЧАСНОМУ ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРІВ.....	69
3.1. Адаптація міжнародного досвіду вирішення проблем акустики до українських реалій.....	69
3.2. Рекомендації щодо використання сучасних акустичних матеріалів і технологій, доступних на українському ринку.....	81
3.3. Популяризація акустичного дизайну через навчальні програми для українських дизайнерів і архітекторів.....	92
3.4. Авторська пропозиція дизайну інтер'єру конференц-залу в смт. Брюховичі Львівської області.....	100

Висновки за розділом 3.....	111
ВИСНОВКИ.....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	116
ДОДАТКИ.....	120
АНОТАЦІЯ.....	135

ВСТУП

Актуальність дослідження. Акустичний комфорт є важливим елементом функціональності громадських приміщень, що впливає на їхню естетичність, продуктивність і зручність. Умови, в яких якість звуку відповідає потребам користувачів, є ключовими для залів очікування, конференц-залів, театрів, офісів та інших громадських просторів. Акустичний дизайн не лише покращує сприйняття звуку, але й створює гармонійне середовище, яке враховує естетику та ергономіку простору. В сучасних тенденціях архітектури і дизайну особливе місце займає інтеграція акустичних рішень у загальну концепцію проєкту, що зменшує використання додаткових технічних засобів і покращує якість проєктів.

Станом на зараз в Україні акустичний дизайн є недостатньо розвиненим, що особливо помітно у громадських приміщеннях старої забудови та навіть у сучасних об'єктах. Основних проблем є декілька.

По перше, відсутність регуляторних вимог. Через це стандарти ДСТУ часто не охоплюють сучасні потреби в акустичному дизайні. Наступною причиною є недостатня увага до акустики, адже у проєктуванні приміщень акцент робиться на естетику чи функціональність, часто без врахування акустичних характеристик. Ще один важливий аспект - інноваційні акустичні матеріали є дорогими або недоступними на українському ринку. Це призводить до обмеженого доступу у використанні сучасних матеріалів. Також проблему становить низький рівень обізнаності, в силу того, що архітектори та дизайнери рідко мають досвід роботи з акустичними рішеннями через брак відповідної освіти чи практичних кейсів.

Проблеми, з якими стикаються дизайнери та архітектори в Україні, дуже різноманітні. Недостатній бюджет і обмежені ресурси часто унеможливають використання якісних акустичних матеріалів чи залучення експертів. Відсутність навичок аналізу акустичних параметрів та розуміння їх впливу на

простір в проєктувальників, складність адаптації іноземних рішень (технології, ефективні за кордоном, не завжди підходять до українських умов). Серйозну проблему становить і ігнорування акустичних вимог замовниками, адже часто акустика не сприймається як важливий аспект проєкту, особливо у громадських просторах.

Водночас, йде зростання попиту на комфортні громадські простори, особливо в умовах модернізації інфраструктури, створення культурних і освітніх центрів, а також адаптації офісних приміщень до сучасних стандартів. Сюди входить і інтеграція екологічних рішень, що призводить до попиту на екологічно чисті матеріали, які мають не лише акустичні властивості, але й відповідають принципам збереження довколишнього середовища. Зростає необхідність впровадження курсів та семінарів для дизайнерів і архітекторів щодо акустичного моделювання та вибору матеріалів задля освіти та підготовки фахівців. Збільшується доступ до інноваційних рішень і збільшуються темпи впровадження новітніх технологій. Тому виникає потреба в адаптації їх до місцевих потреб і можливостей.

Реалії такі, що хоч сучасні громадські приміщення і відіграють важливу роль у соціальному, професійному та культурному житті, але часто проєктуються з недостатньою увагою до акустичних аспектів. Погане акустичне середовище призводить до зниження комфорту, ефективності комунікації та концентрації. Застосування принципів дизайну для акустичної корекції дозволяє не лише вирішувати ці проблеми, але й створювати естетично привабливі, функціональні та інклюзивні простори. Особливо актуально це в Україні, де розвиток сучасної архітектури та дизайну часто обмежений недостатньою інтеграцією новітніх матеріалів та технологій. Отже, наше дослідження є актуальним.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є розробка науково обґрунтованих та практично ефективних принципів використання дизайну для

акустичної корекції громадських приміщень, з урахуванням сучасних світових тенденцій і специфіки українського контексту.

Завдання дослідження:

- вивчити історичний розвиток та основні принципи акустичного дизайну;
- проаналізувати природу звуку та його взаємодію з предметно-просторовим середовищем;
- дослідити особливості використання акустичних матеріалів та їх інтеграції в дизайн громадських приміщень;
- оцінити екологічні та естетичні аспекти застосування акустичних рішень у сучасних просторах;
- вивчити міжнародний досвід акустичної корекції та адаптувати його до потреб українських приміщень;
- розробити рекомендації щодо впровадження сучасних матеріалів і технологій в Україні;
- запропонувати авторську концепцію дизайну конференц-залу з урахуванням акустичних вимог.

Об'єкт дослідження - дизайн предметно-просторового середовища громадських приміщень.

Предмет дослідження - принципи та методи інтеграції акустичної корекції.

Методи дослідження: теоретичні методи (аналіз літератури з акустики, дизайну інтер'єру та архітектури, систематизація та узагальнення даних про акустичні властивості матеріалів та їх вплив на простір), емпіричні методи (спостереження за ефективністю використання акустичних матеріалів у реальних проєктах), проєктні методи (моделювання акустичних властивостей приміщення за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, розробка дизайнерських рішень із застосуванням інноваційних матеріалів),

порівняльний метод (аналіз успішних міжнародних проєктів у сфері акустичного дизайну та їх порівняння з українськими прикладами), експериментальний метод (тестування авторських рішень на практичних кейсах).

Теоретично-інформаційну базу дослідження склали наукові праці з архітектурної акустики, дизайну інтер'єру, фізики звуку, а також дослідження в галузі сучасних будівельних технологій. Сюди входять праці Уоллеса Сабіна як засновника сучасної архітектурної акустики, міжнародні стандарти з акустики (наприклад, ISO 3382, ISO 11654), монографії та статті в профільних виданнях ("Journal of Architectural Acoustics", "Applied Acoustics"), матеріали українських відкритих репозитаріїв, зокрема "Наукова періодика України", практичний досвід сучасних проєктів, висвітлений на порталах ArchDaily та Dezeen.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів полягає в удосконаленні теоретичних основ інтеграції акустичної корекції у процес дизайну громадських приміщень, запропонуванні нових рішень для гармонійного поєднання естетики та функціональності у предметно-просторовому середовищі; розробка рекомендацій для адаптації сучасних міжнародних технологій акустичного дизайну до специфіки українського контексту. Практичне значення - створення прикладних рекомендацій для архітекторів, дизайнерів і забудовників з урахуванням економічних, екологічних та функціональних аспектів; впровадження авторської пропозиції дизайну конференц-залу, який може бути застосований для реальних об'єктів в Україні; популяризація теми акустичного дизайну серед професійної спільноти, що сприятиме підвищенню якості громадських просторів.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дипломної магістерської роботи обговорювались на 75-й науково-практичній конференції студентів, аспірантів та слухачів Малої лісової академії НЛТУ України, тема доповіді «Використання принципів дизайну в акустичній корекції громадських приміщень». Подані до опублікування тези доповіді в науковому збірнику «Матеріали 75-ї науково-технічної конференції студентів, аспірантів та слухачів

Малої лісової академії НЛТУ України. – Львів: Видавництво НЛТУ України, 2024 р. Впровадження в реальне проєктування: 2022-2024 працював над дизайном рекреаційного центру в смт. Брюховичі Львівської області, де наряду з загальними приміщеннями (зони загального користування, адміністративні приміщення, готельні номери) розробляв інтер'єри конференц-залу, кімнат перекладачів, кабінет звукорежисера, в яких необхідно було запроєктувати електронну або природну акустику залежно від призначення.

Структура роботи. Дипломна магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (-- найменувань) та додатків. Загальний обсяг роботи – -- сторінки. Робота включає банер з анованим викладом змісту дослідження, ілюстраціями, таблицями.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ В ДИЗАЙНІ ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1. Історичний розвиток акустичного дизайну

Витоки акустичного дизайну в архітектурі стародавніх цивілізацій. Акустичний дизайн бере свої витoki з архітектури стародавніх цивілізацій, де вміння використовувати акустику простору часто формувалося інтуїтивно. У таких культурах, як єгипетська, грецька, римська та індійська, з'явилися перші приклади архітектурних рішень, спрямованих на покращення передачі звуку у великих громадських просторах. В Стародавньому Єгипті архітектура храмів і пірамід із їхніми масивними кам'яними стінами та закритими просторами створювала специфічні акустичні ефекти, які підсилювали атмосферу ритуалів. У Стародавній Греції театри, такі як Епідавр (рис 1.1), демонстрували досконале розуміння принципів акустики через амфітеатральну форму, що



Рисунок 1.1 - Грецький театр в Епідаврi

забезпечувала відмінну чутність навіть у задніх рядах.

У Стародавньому Римі інженерія римських театрів і купольних споруд, таких як Пантеон, показала вдосконалення ідей грецької архітектури з урахуванням акустичних властивостей простору. Індійські храми створювалися з урахуванням природних матеріалів і форм, які підсилювали звукові хвилі для ритуальних співів.

Розвиток акустичних принципів у середньовічній архітектурі. У середньовічний період акустика стала важливою частиною архітектури, особливо у контексті релігійних споруд. Основна увага приділялася створенню просторів, які підсилювали релігійний вплив через резонанс голосу і музики. Високі стелі, арки, та використання каменю в готичних соборах сприяли тривалому ревербераційному ефекту, що створював враження величності та духовного піднесення. Наприклад, собор Паризької Богоматері і собор Шартр мали специфічну акустику, яка підкреслювала хоровий спів. Товсті стіни та склепінчасті стелі романського стилю з обмеженою кількістю вікон створювали простори з меншою реверберацією, що робило голоси чіткішими. При використанні орнаментів та дерев'яних конструкцій резонанс підсилювався завдяки дерев'яним балкам і панелям, які поглинали надлишковий шум і пом'якшували відлуння. У монастирях та каплицях простори створювалися з урахуванням потреб у спокійній, комфортній акустиці для молитви й співів.

Епоха Відродження: гармонія естетики й акустики. Епоха Відродження стала часом гармонійного поєднання естетики та акустики в архітектурі, де нові знання про звукові хвилі та їхню поведінку в просторі інтегрувалися в проєктування будівель. Архітектори Відродження, такі як Філіппо Брунеллескі та Андреа Палладіо, відновлювали античні традиції, додаючи симетрію та пропорційність, що сприяли кращій акустиці. Собори й церкви цієї епохи, такі як базиліка Святого Петра в Римі, поєднували обширні куполи та центральні нави, що створювали ефект рівномірного розподілу звуку. В цей час музика вже стала невід'ємною частиною архітектурного планування. Зали проєктували з

урахуванням потреб оркестрів і хорового співу, забезпечуючи чистоту звучання. В епоху Відродження активно використовували мармур, штукатурку й дерево, які допомагали досягати акустичного балансу між реверберацією і поглинанням звуку. Деякі проєкти включали інноваційні рішення, наприклад, використання параболічних форм і галерей, які покращували акустичні властивості приміщень.

Бароко та класицизм: створення просторів для музики та мови. Епохи бароко (XVII–XVIII ст.) та класицизму (XVIII – початок XIX ст.) стали важливими періодами в розвитку архітектури, коли почали приділяти значну увагу не лише естетичним, але й акустичним характеристикам громадських приміщень. Розвиток музичної культури, театру та публічних виступів поставив перед архітекторами завдання створення просторів, які забезпечували б якісну чутність та емоційне сприйняття звуку. Приміщення барокового стилю характеризувалися складними формами, великою кількістю декоративних елементів, високими склепіннями та багат шаровістю простору. Храми, каплиці та концертні зали часто мали купольну структуру, яка сприяла розподілу звуку та створювала ефект об'ємного звучання. Архітектори бароко використовували природні властивості матеріалів: мармур, дерево, штукатурка сприяли багатству реверберації, що підсилювало звучання хорової музики. Відомі приклади: собор Святого Павла в Лондоні (рис. 1.2), церкви та капели Рима, Відня та Мюнхена. Хоровий спів і органна музика домінували в цей період. Складна акустика сприяла глибокому духовному впливу, але могла створювати труднощі для розбірливості мови.

Стиль класицизму прагнув до симетрії, простоти та функціональності. Приміщення набували чітких геометричних форм із пропорційними розмірами. Концертні зали та театри проектувалися так, щоб забезпечити оптимальну видимість і чутність для всіх глядачів. Акустика класицизму зосереджувалася на балансі між реверберацією і чіткістю звуку. Для цього використовували спеціальні матеріали, такі як дерев'яні панелі, які допомагали поглинати зайвий



Рисунок 1.2 - Собор Святого Павла у Лондоні, 1675–1708 рр.

шум і забезпечували чіткість мови. Відомі приклади: Театр Ла Скала в Мілані, концертний зал Gewandhaus у Лейпцигу. В період класицизму зросло значення симфонічної музики, опери та театральних вистав, що вимагало чіткої передачі як музичних, так і мовних елементів. Простори, створені в епоху бароко та класицизму, стали зразками для сучасних проектів концертних залів, оперних театрів і храмів. Поєднання естетичних і акустичних характеристик цих стилів стало основою для розробки принципів сучасного акустичного дизайну, таких як баланс між реверберацією і чіткістю звуку.

Нові технології в акустичному дизайні XIX століття. XIX століття стало епохою технічного прогресу та наукових відкриттів, які вплинули на багато галузей, включаючи акустичний дизайн. Розвиток фізики, особливо хвильової

теорії, а також промислова революція дали поштовх до створення нових архітектурних рішень та технологій для покращення якості звуку в приміщеннях. У 1895 році американський фізик Уоллес Сабін заклав основи наукового підходу до акустики приміщень, розробивши теорію реверберації. Він увів поняття коефіцієнта звукопоглинання матеріалів і розробив формулу для обчислення часу реверберації (RT60), яка використовується донині. Його дослідження стали основою для створення перших спеціалізованих концертних залів із передбачуваними акустичними характеристиками. Поглиблене вивчення хвильової природи звуку дало змогу більш точно аналізувати його поширення в приміщеннях. Науковці XIX століття, такі як Джон Вільям Стретт (лорд Релей), досліджували відбивання, заломлення та поглинання звукових хвиль, що сприяло практичному застосуванню цих знань у будівництві [39]. Тоді було започатковано розвиток хвильової теорії звуку. Інженерні рішення та нові матеріали відкрили архітекторам шлях до створення ідеальних акустичних просторів. Сюди входило як застосування спеціальних звукопоглинальних матеріалів, таких як тканини, деревина та штукатурка, які оптимально поєднували звукопоглинання та відбиття, так і використання металевих конструкцій для забезпечення жорсткості конструкцій без шкоди для акустики.

З'явилися нові принципи проектування приміщень, орієнтовані на розподіл звуку. Геометрія стін, стель і підлоги враховувала закономірності поширення звуку. Почали використовувати вигнуті поверхні (параболоїди, куполи) для спрямування звукових хвиль до аудиторії. У XIX столітті були збудовані перші концертні зали, розраховані на чітку акустику, такі як Віденська філармонія (1870 р.) та Бостонський симфонічний зал (1900 р.). Ці зали стали еталонами акустичного проектування. Застосовувалися декоративні елементи, які виконували також акустичну функцію (наприклад, тканинні драпірування на стінах і стелях). Використання елементів, таких як резонатори Гельмгольца, допомагало коригувати проблеми низьких частот. Досягнення XIX століття стали основою для створення сучасних акустичних просторів. Поєднання

наукових підходів і нових матеріалів дозволило розробити стандарти проектування приміщень для концертів, театрів і публічних виступів, які залишаються актуальними донині.

Модернізм і функціональний підхід до акустики ХХ століття.

ХХ століття ознаменувалося розвитком модернізму в архітектурі, що зосереджувався на функціональності, мінімалізмі та раціональному використанні простору. Архітектори та дизайнери цього періоду прагнули створити приміщення, які одночасно задовольняли б естетичні, функціональні й акустичні вимоги. Поява нових будівельних матеріалів, розвиток технологій і застосування наукових методів у проектуванні стали ключовими аспектами акустичного дизайну модерністської епохи. Основні принципи модернізму в акустичному дизайні - функціональність перед формою. Приміщення проектувалися для чітко визначених цілей, а акустика розглядалася як невід'ємна частина їх функціонального призначення. З'явився концепт "універсальних просторів", які могли адаптуватися до різних акустичних потреб (наприклад, багатофункціональні зали). Архітектори модернізму, такі як Ле Корбюзьє та Вальтер Гропіус, застосовували прості геометричні форми та відкриті простори. Водночас вони стикалися з проблемою ехо та нерівномірного розподілу звуку, яку вирішували завдяки акустичним дослідженням.

Відсутність надмірного декору та орнаментів створювала виклик для акустики, адже гладкі поверхні сприяли відбиттю звуку. Для компенсації цього застосовували інноваційні матеріали та геометричні рішення. З'явилися нові акустичні матеріали, такі як мінеральна вата, пористий бетон, акустичні панелі зі скловолокна. Впровадження легких і гнучких матеріалів дозволило створювати звукопоглинальні конструкції, які були непомітними в інтер'єрі. А використання електронних підсилювачів і мікрофонів стало важливим доповненням до природної акустики приміщень. У таких просторах, як концертні зали та кінотеатри, застосовували системи, що дозволяли динамічно змінювати акустичні характеристики. Унікальні рішення використовувалися для

забезпечення балансу між реверберацією і розбірливістю звуку. Наприклад, вигнуті стіни та стелі допомагали рівномірно розподіляти звукові хвилі. Знакові приклади акустичного дизайну в модернізмі: Оперний театр у Сідней (1959–1973) (рис. 1.3). Архітектор Йорн Утзон створив не тільки культовий вигляд будівлі, але й унікальний акустичний простір, адаптований для оперного співу та оркестрової музики. Берлінська філармонія (1963): Ханс Шарун розробив новаторський "виноградний" дизайн залу, де сцена розташована в центрі, а аудиторія оточує її, забезпечуючи рівномірний розподіл звуку.

Рисунок 1.3 - Сіднейський оперний театр

Відомі інженери-акустики, такі як В. Л. Крін, розробляли методи вимірювання звукових характеристик приміщень, які активно використовувалися в архітектурі модернізму. Модернізм заклав основу для систематичного вивчення акустики приміщень, що зараз є стандартом у проектуванні. А використання енергоефективних матеріалів і розробка універсальних просторів відповідають принципам екологічного розвитку, які



залишаються актуальними. Інтеграція сучасних технологій, таких як цифрове моделювання акустики, впливає з прагнення модерністів оптимізувати простір.

Сучасний етап: інтеграція дизайну та цифрових технологій. Сучасний етап розвитку акустичного дизайну характеризується інтеграцією цифрових технологій, інноваційних матеріалів і концептуального підходу до проектування. Це дозволяє досягати високої якості звуку та адаптувати акустичні рішення до різноманітних функціональних, естетичних і екологічних вимог. Умови урбанізації, зростання вимог до багатофункціональних просторів і популярність екологічного дизайну спонукають до активного використання новітніх технологій. Використання програмного забезпечення, такого як EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers), ODEON або CATT-Acoustic, дозволяє створювати точні 3D-моделі приміщень і прогнозувати акустичні характеристики [41]. Аналіз таких параметрів, як час реверберації (RT60), коефіцієнт поглинання звуку та поширення хвиль, допомагає проектувати оптимальне акустичне середовище ще на стадії концептуального дизайну. Поширюється застосування інноваційних матеріалів, наприклад, акустичні панелі, які змінюють свої властивості залежно від умов (температури, вологості, рівня шуму), перероблені матеріали, використання екологічно чистих і перероблених компонентів, таких як текстиль із пластику, біофільні панелі з рослинних волокон; текстильні акустичні рішення, легкі, естетичні тканини, які одночасно виконують декоративну та функціональну роль.

Починається використання електронних систем корекції акустики, які дозволяють змінювати параметри приміщення в реальному часі (активні акустичні системи). Наприклад, у багатофункціональних залах можна автоматично налаштовувати акустику для музичних концертів, театральних вистав або конференцій. Розробляються системи "розумного звуку", які забезпечують оптимальний рівень шуму залежно від кількості відвідувачів або типу заходу. Виконується інтеграція з BIM (Building Information Modeling) - архітектори та акустичні інженери використовують BIM для інтеграції

акустичних розрахунків у загальну модель будівлі. Це дозволяє враховувати акустичні параметри під час розробки проекту та уникати помилок у будівництві.

Акустичні елементи стали частиною інтер'єру, і надають естетику та функціональність у сучасному дизайні. Наприклад, стельові панелі, які виглядають як декоративні елементи, водночас виконують функцію звукопоглинання. Багатофункціональні простори (коворкінги, конференц-зали) вимагають інтеграції акустики в модульні рішення, які легко адаптуються до змін. Інтеграція природних матеріалів (деревина, бамбук) та зелених стін, які мають звукопоглинальні властивості, поєднує екологічність і акустичний комфорт. У сучасних публічних просторах (аеропорти, вокзали) активно використовуються системи "звукового ландшафту", які створюють приємну акустичну атмосферу за допомогою музики, фонового шуму чи природних звуків. Приклади сучасних рішень: Ельбська філармонія в Гамбурзі (2017) - використання понад 10 тисяч панелей зі спеціального матеріалу "біле дерево", які забезпечують ідеальну акустику залу. Apple Park Auditorium - мінімалістичний дизайн із інтеграцією високотехнологічних акустичних панелей і активних систем звукової корекції. Конференц-зал Google в Дубліні - гнучкі акустичні рішення, які дозволяють адаптувати зал до різних форматів заходів, включаючи лекції, концерти та корпоративні зустрічі.

1.2. Природа звуку та його взаємодія з простором

Основні фізичні властивості звуку. Звук — це механічні коливання, що поширюються у пружному середовищі (газоподібному, рідкому або твердому) у вигляді хвиль. Вивчення фізичних властивостей звуку є основою для розуміння його поведінки в просторовому середовищі, що є критично важливим для акустичного дизайну приміщень.

Основні характеристики звуку:

Частота (Frequency): визначає кількість коливань за одиницю часу та вимірюється в герцах (Гц). Людське вухо сприймає звуки в діапазоні від 20 Гц до 20 000 Гц (низькі частоти (баси): 20–250 Гц., середні частоти: 250–2000 Гц., високі частоти (тріскіт): 2000–20 000 Гц.). Частота впливає на тональність звуку: низька частота створює глибокий звук, висока — дзвінкий [2].

Амплітуда (Amplitude): відображає інтенсивність коливань, що визначає гучність звуку. Вимірюється в децибелах (дБ). Висока амплітуда відповідає гучному звуку, низька — тихому.

Швидкість поширення звуку (Speed of Sound). Залежить від середовища: у повітрі (за 20°C): 343 м/с., у воді: близько 1500 м/с., у твердих тілах (наприклад, у сталі): до 5000 м/с. Відноситься до щільності та пружності середовища.

Довжина хвилі (Wavelength): відстань, яку проходить звукова хвиля за один період. Довжина хвилі впливає на акустичну поведінку, зокрема на інтерференцію та дифракцію.

Рівень звукового тиску (Sound Pressure Level, SPL): відображає силу звукових хвиль, що взаємодіють із середовищем. Вимірюється в децибелах і визначає сприйняття звуку слухачем.

Властивості поширення звуку:

Рефлексія (Reflection): відбиття звукових хвиль від поверхонь. Залежить від матеріалів: тверді поверхні (бетон, скло) мають високий коефіцієнт відбиття.

Абсорбція (Absorption): поглинання звукових хвиль поверхнями. М'які матеріали (текстиль, акустичні панелі) зменшують реверберацію.

Дифракція (Diffraction): заломлення звукових хвиль, коли вони огинають перешкоди. Важливо враховувати в дизайні для рівномірного розподілу звуку.

Інтерференція (Interference): взаємодія звукових хвиль, що може створювати зони підсилення або ослаблення звуку.

Реверберація (Reverberation): тривалість збереження звуку у приміщенні через багаторазові відбиття. Час реверберації (RT60) є ключовим параметром у проектуванні акустики [17].

Сприйняття звуку людиною:

Рівень чутливості: людське вухо більш чутливе до середніх частот (500–4000 Гц), які відповідають діапазону мови.

Поріг чутності: звук від 0 дБ (ледве чутний) до 120 дБ (больовий поріг).

Типи хвиль і їх вплив на акустику приміщень. Звукові хвилі — це механічні коливання, які поширюються у пружному середовищі. Типи хвиль визначають їхню поведінку в приміщеннях і впливають на якість звукового середовища. У контексті акустики приміщень розглядають такі типи хвиль:

Поздовжні хвилі (Longitudinal Waves): частинки середовища коливаються у напрямку поширення хвилі. Найпоширеніший тип хвиль, що відповідає за передачу звуку через повітря. Це мова, музика, побутовий шум. Поздовжні хвилі створюють основний звуковий тиск у приміщеннях. Їхнє поширення залежить від геометрії простору та матеріалів стін, стелі й підлоги. Потрібно забезпечити належне зонування приміщення для рівномірного розподілу звуку.

Поперечні хвилі (Transverse Waves): частинки середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі. У контексті акустики приміщень поперечні хвилі виникають у твердих тілах, наприклад у стінах або будівельних конструкціях. Наприклад, вібрації металевих конструкцій, стін або перекриттів. Можуть сприяти появі небажаного шуму, особливо при передачі звуку між приміщеннями (наприклад, через стіни або підлогу). Вимагають застосування звукоізоляційних матеріалів і віброізоляційних рішень.

Стоячі хвилі (Standing Waves): утворюються, коли звукові хвилі відбиваються від поверхонь і взаємодіють одна з одною, створюючи зони підсилення або послаблення звуку. Характерні для малих приміщень, де звукові хвилі відбиваються від паралельних стін. Стоячі хвилі можуть викликати

резонансні явища, які посилюють низькі частоти та погіршують якість звуку. Уникнути проблем допомагає використання дифузійних елементів і нерівномірних поверхонь.

Хвилі дифракції (Diffracted Waves): звукові хвилі огинають перешкоди, які за розміром порівнянні з довжиною хвилі. Наприклад, проникнення звуку через вузькі отвори або огинання кутів. Забезпечують поширення звуку навіть у складних геометричних умовах. Дифракція може створювати проблеми із рівномірністю розподілу звуку в приміщенні.

Ревербераційні хвилі (Reverberated Waves): звукові хвилі, які багаторазово відбиваються від поверхонь у приміщенні. Ехо в концертних залах, довгий післязвук у великих приміщеннях. Тривалий ревербераційний час (RT60) може знижувати розбірливість мови. Для контролю реверберації використовують звукопоглинальні матеріали.

Хвилі резонансу (Resonant Waves): виникають, коли частота звукової хвилі співпадає з власною частотою коливань матеріалу або приміщення. Це може бути басовий "гул" у невеликих кімнатах, викликаний резонансом стін або меблів. Резонанс може спотворювати звук у приміщеннях. Рішення включають використання резонаторів Гельмгольца або зміни геометрії приміщення.

Рефлексія, абсорбція та дифузія звуку. Звукові хвилі, взаємодіючи з поверхнями приміщення, можуть відбиватися (рефлексія), поглинатися (абсорбція) або розсіюватися (дифузія) [3]. Ці явища визначають акустичні властивості простору і впливають на якість звуку, що є ключовим для створення комфортного акустичного середовища.

Рефлексія звуку виникає, коли звукові хвилі досягають твердої поверхні та повертаються у середовище. Кут відбиття хвилі дорівнює куту падіння відповідно до закону відбиття. Відбиті хвилі створюють реверберацію (відлуння) у приміщенні. Надмірна рефлексія знижує розбірливість мови та якість звуку. Контроль за рефлексією включає в себе використання звукопоглинальних

матеріалів на стінах і стелі для зменшення відбиттів, та зміну форми поверхонь (вигнуті або нерівні стіни), щоб зменшити прямолінійне відбиття.

Абсорбція звуку відбувається, коли звукова енергія частково поглинається поверхнею, перетворюючись у тепло. Коефіцієнт звукопоглинання вимірюється в межах від 0 до 1: $\alpha=0$: повністю відбиває (наприклад, бетон), $\alpha=1$: повністю поглинає (наприклад, звукопоглинальні панелі). Зменшує час реверберації (RT60), що підвищує чіткість звуку. Надмірна абсорбція може створити "глухий" ефект, що неприйнятно для музичних просторів. Контролюється використанням матеріалів із високим коефіцієнтом поглинання, таких як тканини, ковrolін, акустичні панелі. Необхідно врахувати розташування звукопоглинальних елементів для рівномірного поглинання звуку.

Дифузія звуку виникає, коли звукові хвилі розсіюються поверхнею, що сприяє рівномірному поширенню звуку у приміщенні. Дифузійні поверхні мають складну геометрію, наприклад, піраміди, нерівності, вигнуті форми. Зменшує концентрацію звуку в певних зонах, розподіляючи його рівномірно, покращує звучання в приміщеннях для музики, театру або конференцій, де важлива природність звуку. Дифузію покращує використання спеціальних дифузійних елементів, таких як QRD-дифузори (дифузори з квадратичною залишковою дисперсією) та застосування декоративних панелей із нерівними поверхнями, які поєднують естетику та функціональність.

Баланс рефлексії, абсорбції та дифузії є ключовим для досягнення оптимальної акустики - у приміщеннях для мовлення (наприклад, конференц-зали) важлива висока абсорбція для чіткої передачі мови, у концертних залах акцент робиться на дифузії для забезпечення природного звучання музики, у театрах і студіях важливе комбіноване використання дифузійних і звукопоглинальних матеріалів [29]. Рефлексія, абсорбція та дифузія звуку є основними механізмами, які формують акустичні характеристики приміщень. Контроль цих явищ дозволяє створювати середовище з оптимальними умовами для мови, музики чи інших акустичних завдань. Розумне поєднання цих

механізмів є ключовим аспектом у проектуванні сучасних громадських просторів.

Резонанс і стоячі хвилі в закритих просторах. Резонанс і стоячі хвилі є важливими явищами в акустиці закритих приміщень, які можуть суттєво впливати на якість звуку. Розуміння цих явищ дозволяє уникнути небажаних ефектів і забезпечити акустичний комфорт у приміщеннях. Резонанс виникає, коли частота звукової хвилі співпадає з однією з власних частот приміщення або об'єктів у ньому. У закритих просторах резонансні частоти визначаються розмірами та формою приміщення. Нерівномірний розподіл звуку в приміщенні, що може викликати зони "гулу" (басовий бум) або "тиші". Рішення для контролю резонансу - використання басових пасток (Bass Traps) для поглинання низьких частот, зміна геометрії приміщення (наприклад, нерівні поверхні, відсутність паралельних стін), уникнення однакових довжин стін і висоти стелі, які підсилюють резонанс [6].

Стоячі хвилі утворюються, коли звукові хвилі відбиваються від поверхонь і взаємодіють із вихідною хвилею. У точках взаємодії хвиль можуть виникати антиноди (зони максимальної амплітуди) та вузли (зони мінімальної амплітуди, або "тиші"). Найчастіше стоячі хвилі виникають у приміщеннях із паралельними стінами. Частота стоячої хвилі визначається відстанню між відбиваючими поверхнями. Стоячі хвилі ведуть до нерівномірностей розподілу звуку в приміщенні і викривлення низьких частот (наприклад, у музичних записах чи відтворенні звуку). Для контролю стоячих хвиль можна застосовувати звукопоглинальні і дифузійні матеріали, уникати симетрії в розташуванні поверхонь, використовувати геометричні елементи, такі як скошені кути або вигнуті поверхні.

Практичне застосування контролю резонансу та стоячих хвиль в концертних залах - використання спеціальних конструкцій для розсіювання хвиль і поглинання низьких частот, контроль часу реверберації через регулювання коефіцієнта поглинання поверхонь. В студіях звукозапису -

інтеграція басових пасток, щоб уникнути викривлення звуку на низьких частотах, використання QRD-дифузорів для зменшення ефекту стоячих хвиль. В домашніх кінотеатрах - застосування комбінованих рішень: акустичних панелей для поглинання хвиль і декоративних дифузорів для рівномірного розподілу звуку.

Акустичний баланс у приміщеннях: критерії оцінки. Акустичний баланс у приміщенні — це гармонійне співвідношення між відбиттям, поглинанням та дифузією звуку, яке забезпечує комфортне сприйняття звуку та його рівномірний розподіл по всьому простору. Для досягнення акустичного балансу використовують певні критерії оцінки, які базуються на фізичних та психоакустичних властивостях звуку.

- Час реверберації (RT60) показує, скільки часу потрібно звуку для зменшення своєї інтенсивності на 60 дБ після припинення джерела звуку (рис.1.4). Оптимальні значення RT60 залежать від типу приміщення: концертні зали: 1,8–2,2 с., конференц-зали: 0,6–1,0 с., класні кімнати: 0,5–0,8 с. Надмірний час реверберації викликає "розмиття" звуку, а занадто короткий створює відчуття "глухого" простору [3].

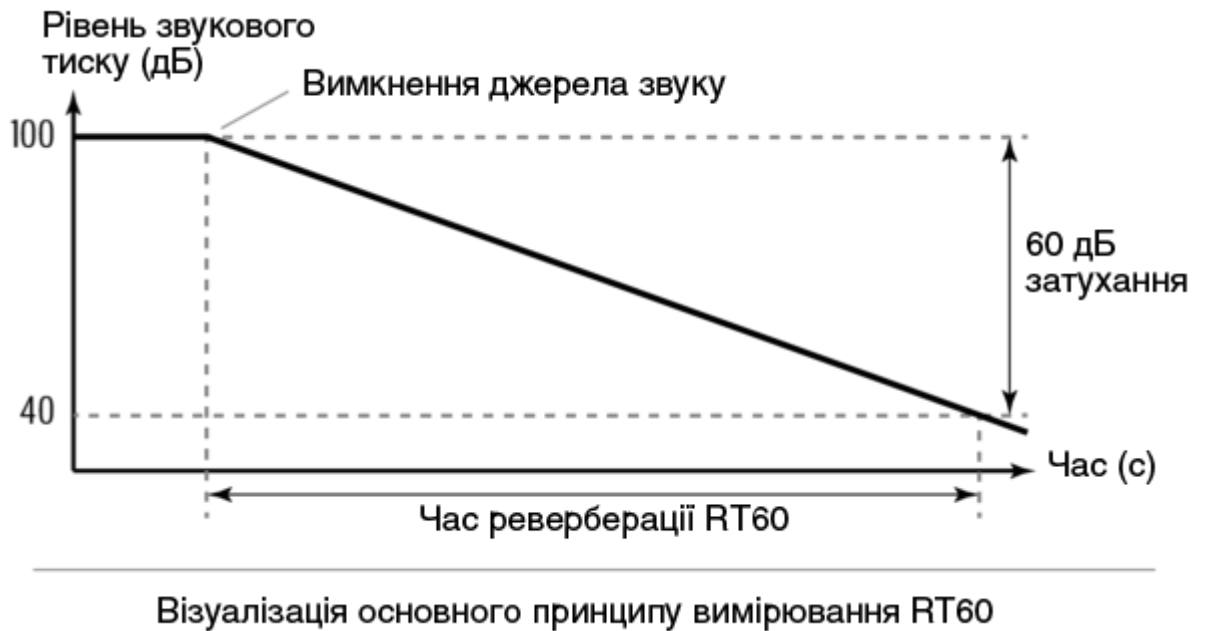


Рис. 1.4. Візуалізація основного принципу вимірювання RT60

Розбірливість мови (Speech Intelligibility Index, SII): визначає, наскільки зрозуміло сприймається мова у приміщенні. Значення SII варіюються від 0 до 1: 0,7–1,0: висока розбірливість (необхідно для конференц-залів, аудиторій), < 0,5: низька розбірливість, характерна для приміщень із надмірною реверберацією.

Рівномірність звукового поля - звук має рівномірно поширюватися по приміщенню без "мертвих зон" або зон із надлишковою інтенсивністю. Для цього використовують дифузійні матеріали та уникають паралельних стін.

Рівень фонового шуму (Background Noise Level). Вимірюється у децибелах (дБ) і впливає на комфортне сприйняття основного звуку. Оптимальні рівні: для мовлення: < 35 дБ, для музики: < 25 дБ. Зниження фонового шуму досягається завдяки звукоізоляції та використанню акустичних матеріалів [32].

Рівень акустичної чіткості (Clarity Index, C50) - оцінює співвідношення ранніх (до 50 мс) і пізніх відбиттів звуку. Високе значення C50 забезпечує розбірливість мови, низьке значення сприяє музичному "об'ємному звучанню" [4].

Басовий баланс - відсутність резонансів або стоячих хвиль на низьких частотах. Контроль басового балансу важливий у студіях звукозапису та кінотеатрах.

Методи оцінки акустичного балансу:

Інструментальні методи: використання обладнання, такого як аналізатори спектру, вимірювачі рівня звуку, акустичні мікрофони, програмне забезпечення: EASE, ODEON, CATT-Acoustic для моделювання та оцінки акустичних характеристик приміщення.

Психоакустичні методи - проведення слухових тестів із залученням людей, щоб оцінити якість мови чи музики в реальних умовах.

Візуалізація акустичного поля - створення 3D-моделей приміщення із відображенням поширення звукових хвиль і зон реверберації.

Практичні рекомендації для досягнення акустичного балансу:

Контроль реверберації - використовувати звукопоглинальні матеріали для зменшення тривалості реверберації. Для музичних просторів додавати дифузійні елементи для збалансованого звучання.

Оптимізація геометрії приміщення - уникати паралельних стін і надмірної симетрії, які викликають стоячі хвилі. Використовувати вигнуті або нерівні поверхні для рівномірного розподілу звуку.

Регулювання фонового шуму - забезпечити ізоляцію від зовнішніх джерел шуму. Використовувати системи активного шумозаглушення.

Адаптивні технології - інтегрувати електронні системи корекції акустики, які дозволяють змінювати параметри приміщення залежно від його функціонального використання.

Психоакустика: як людина сприймає звук у просторі. Психоакустика — це розділ акустики, що вивчає, як людина сприймає звук. Це наука, яка об'єднує фізичні властивості звуку з його суб'єктивним сприйняттям слуховою системою людини. Розуміння принципів психоакустики є важливим для

створення комфортного акустичного середовища в приміщеннях, де враховується, як звук взаємодіє з простором та людиною [15]. Основні аспекти психоакустики:

Частотна чутливість - людське вухо найкраще сприймає звуки у середньому частотному діапазоні (500–4000 Гц), де розташована більшість мовних частот. Низькі частоти (< 250 Гц) сприймаються менш чітко, але створюють відчуття "об'єму" звуку. Високі частоти ($> 10\,000$ Гц) додають ясності звуку, але втрачаються при наявності поганої акустики.

Бінауральне сприйняття - слухова система людини використовує обидва вуха для визначення напрямку звуку. Міжвушний час затримки (ITD): різниця у часі, коли звук досягає кожного вуха. Міжвушна різниця інтенсивності (IID): різниця в рівні звуку, спричинена положенням джерела. Ці механізми дозволяють людині орієнтуватися в просторі та визначати напрямок джерела звуку [16].

Реверберація та сприйняття відстані - слухова система оцінює відстань до джерела звуку на основі співвідношення між прямим звуком та ревербераційними хвилями. Надмірна реверберація знижує здатність локалізувати джерело звуку та сприймати мову.

Гучність і комфортне сприйняття - людське вухо нелінійно сприймає гучність. Тихі звуки (< 40 дБ) сприймаються слабо. Дуже гучні звуки (> 85 дБ) можуть викликати дискомфорт або навіть ушкодження слуху. Оптимальний рівень гучності для мовлення — 55–65 дБ, для музики — 70–80 дБ.

Маскування звуку - гучні звуки можуть перебивати (маскувати) тихіші, особливо якщо вони мають близькі частоти. Цей ефект важливо враховувати при проектуванні громадських приміщень, щоб уникнути перекриття мовлення чи музики фоновим шумом [27].

Суб'єктивне сприйняття якості звуку - людина оцінює звук не лише фізично, а й емоційно. Теплий, м'який звук (більше низьких частот) створює

комфортну атмосферу. Ясність і чіткість важливі для розбірливості мовлення [34].

Психоакустика в просторі:

Вплив розмірів і геометрії приміщення - великі приміщення з високими стелями підсилюють реверберацію, що може створити "ехо". Невеликі приміщення з надмірним звукопоглинанням викликають відчуття "глухого" простору.

Вплив матеріалів - м'які поверхні, такі як текстиль, зменшують реверберацію, створюючи відчуття затишку. Тверді матеріали, як-от скло або бетон, підсилюють рефлексію, що може викликати шумовий дискомфорт.

Розташування джерел звуку: у концертних залах та театрах важливо забезпечити рівномірний розподіл звуку, щоб слухачі на всіх місцях відчували однакову якість звучання.

Критерії оцінки психоакустичного комфорту:

Speech Transmission Index (STI): вимірює розбірливість мовлення в приміщенні. Високі значення (0,75–1,0) свідчать про хорошу розбірливість.

Perceived Clarity (C50): оцінює співвідношення між ранніми та пізніми відбиттями звуку. Важливий для музичних просторів, де потрібна рівновага між ясністю та об'ємністю.

Фоновий шум - рівень фонового шуму не повинен перевищувати 35 дБ для мовлення та 25 дБ для музики.

Практичне застосування психоакустики: у навчальних приміщеннях - контроль реверберації для покращення розбірливості мови викладача, використання звукопоглинальних матеріалів, у концертних залах - оптимізація співвідношення між прямим звуком і реверберацією для створення об'ємного звучання, в офісах і коворкінгах - зменшення фонового шуму для уникнення маскуванню розмов, в громадських місцях - використання звукових ландшафтів

(фонова музика чи природні звуки), щоб створити комфортну акустичну атмосферу.

1.3. Основні принципи акустичної корекції

Ідентифікація акустичних проблем у приміщеннях. Ідентифікація акустичних проблем є першим і важливим етапом процесу акустичної корекції приміщення. Вона включає аналіз акустичного середовища з метою визначення недоліків, які можуть впливати на якість звуку, комфорт користувачів та функціональність простору.

Типові акустичні проблеми:

Надмірна реверберація - занадто довгий час затухання звуку (RT60), що призводить до "розмиття" звуку, ускладнюючи сприйняття мови та музики.

Нерівномірний розподіл звуку - у приміщеннях з неправильними формами або обмеженою акустичною обробкою виникають "глухі зони" (низька інтенсивність звуку) або "зони фокусування" (надмірно гучні місця).

Стоячі хвилі та резонанси - утворюються через взаємодію звукових хвиль із паралельними поверхнями, що викликає небажані підсилення або ослаблення окремих частот.

Шумове забруднення - проникнення зовнішніх шумів (вуличний шум, механічне обладнання). Внутрішній шум від технічних систем (вентиляція, кондиціонери).

Низька розбірливість мови - у приміщеннях із невідповідним акустичним дизайном мовлення може бути важко розпізнати через реверберацію, шум або погане розташування звукових джерел [11].

Методи ідентифікації акустичних проблем:

Інструментальні методи: використання акустичних мікрофонів, аналізаторів спектру та програмного забезпечення для вимірювання часу реверберації (RT60), рівня звукового тиску (SPL), рівня шуму (dB), розбірливості мовлення (STI, Speech Transmission Index) [23].

Психоакустичний аналіз: слухові тести із залученням користувачів для оцінки сприйняття звуку в приміщенні.

Візуалізація акустичних параметрів - створення 3D-моделей приміщення з використанням спеціалізованих програм для симуляції розподілу звуку.

Фактори, що впливають на акустичні проблеми:

Матеріали - відсутність звукопоглинальних матеріалів або надмірна кількість відбиваючих поверхонь.

Геометрія простору - наявність паралельних стін, високих стель або неправильних форм, які сприяють нерівномірному поширенню звуку.

Обладнання та декор - неправильне розташування звукових джерел, меблів і декоративних елементів.

Ідентифікація акустичних проблем дозволяє визначити причини акустичних недоліків, розробити комплексні рішення для їх усунення, підготувати основу для проектування ефективних акустичних середовищ, які відповідають вимогам приміщення.

Принципи корекції часу реверберації. Корекція часу реверберації є необхідною умовою для створення акустично комфортного середовища, яке відповідає функціональному призначенню приміщення. Використання відповідних матеріалів, геометричних рішень та інноваційних технологій дозволяє досягти оптимального часу реверберації, забезпечуючи високу якість звучання для мовлення, музики чи інших звукових задач.

Основні принципи корекції часу реверберації:

Баланс між звукопоглинанням і відбиттям - використання звукопоглинальних матеріалів для зменшення реверберації, залишення

достатньої кількості відбиваючих поверхонь у приміщеннях, де потрібна яскравість і "живе" звучання (наприклад, у концертних залах).

Рівномірний розподіл звукопоглинання - розташування звукопоглинальних матеріалів на стінах, стелях і підлогах для забезпечення рівномірного поглинання звукових хвиль, уникнення концентрації поглинальних поверхонь лише в одній зоні.

Вибір матеріалів із відповідними властивостями - використання матеріалів із високим коефіцієнтом звукопоглинання для ревербераційного контролю (тканини, акустичні панелі, перфоровані матеріали, пористі матеріали (мінеральна вата, скловолокно) та підбір матеріалів залежно від частотного діапазону (низькі, середні або високі частоти).

Уникнення надмірного звукопоглинання - занадто короткий час реверберації створює відчуття "глухого" простору, що знижує якість музики та природність звучання.

Інтеграція дифузійних елементів - дифузори допомагають рівномірно розподіляти звукові хвилі, зменшуючи їх концентроване відбиття та сприяючи природному звучанню.

Зонування акустичних властивостей - у багатофункціональних приміщеннях можна створювати зони з різними акустичними характеристиками (наприклад, місця для слухачів і сцени з різними коефіцієнтами звукопоглинання).

Врахування геометрії приміщення - форма приміщення впливає на поширення звукових хвиль і концентрацію реверберації. Використання вигнутих поверхонь або нерівних геометрій допомагає контролювати цей процес.

Методи корекції часу реверберації: додавання звукопоглинальних матеріалів, панелі на стінах і стелях, застосування текстильних елементів (штори, килими); модифікація поверхонь приміщення - перфоровані або пористі стелі та стіни, встановлення акустичних екранів у великих приміщеннях.

Використання мобільних акустичних рішень - знімні звукопоглинальні панелі, текстильні екрани для тимчасового коригування акустики.

Технологічні рішення - активні акустичні системи, які регулюють реверберацію в реальному часі.

Приклади оптимального часу реверберації: концертні зали для класичної музики: 1,8–2,2 с.; оперні театри: 1,2–1,5 с.; конференц-зали: 0,6–0,9 с.; класні кімнати: 0,5–0,7 с.; кінотеатри: 0,4–0,6 с.

Зменшення шуму та ізоляція звуку. Зменшення шуму та ізоляція звуку є важливими аспектами акустичної корекції приміщень, які забезпечують комфортне та функціональне середовище для користувачів. Ці заходи спрямовані на зменшення проникнення зовнішнього шуму, обмеження поширення звуку між приміщеннями та зниження рівня внутрішнього шуму [38].

Основні джерела шуму: зовнішні джерела (вуличний шум від транспорту, будівництва, звуки від сусідніх приміщень), внутрішні джерела (технічні системи, такі як вентиляція, кондиціонери, ліфти; звуки від діяльності людей, наприклад, розмови, рух меблів, робота обладнання) та структурний шум (передача звукових вібрацій через будівельні конструкції, як-от стіни, підлога, стеля).

Принципи зменшення шуму та звукоізоляції: структурна звукоізоляція включає багат шарові конструкції для стін, підлог і стель, перегородки з гіпсокартону зі звукопоглинальними матеріалами (мінеральна вата, скловолокно), бетонні або цегляні стіни з ізоляційним шаром, а також пружні елементи для зменшення передачі вібрацій [50]. Використовуються звукопоглинальні матеріали, такі як панелі з пінополіуретану, акустичний текстиль, пористі матеріали, килими та штори для зменшення відбиттів звуку. Звукові бар'єри включають додаткові двері або вікна з високим рівнем ізоляції та герметизацію щілин. Для зменшення структурного шуму застосовуються віброізоляція підлог і стель (гумові або коркові прошарки), антивібраційні опори

для обладнання, шумоглушники у вентиляційних системах, інкапсуляція обладнання у звукопоглинальні корпуси. Просторове планування допомагає мінімізувати вплив шуму через зонування приміщень, а інноваційні технології, як-от активні системи шумозаглушення (Active Noise Control), генерують звукові хвилі протилежної фази для нейтралізації шуму.

Матеріали для звукоізоляції: традиційні (мінеральна вата, гіпсокартон, цегла, бетон) та інноваційні (акустичні мембрани, пінополіуретан, натуральна пробка, текстиль із перероблених волокон). Показники ефективності звукоізоляції: індекс ізоляції повітряного шуму (R_w) у децибелах (дБ), де <30 дБ – низька ізоляція, >50 дБ – висока; індекс ізоляції ударного шуму ($L_{n,w}$), що показує рівень шуму при ударних впливах. Практичні рішення: у житлових приміщеннях – герметичні вікна та двері, килимові покриття; в офісах і коворкінгах – звукоізоляційні перегородки та панелі для поглинання шуму; у громадських приміщеннях (театри, зали) – звукові бар'єри для ізоляції зовнішнього шуму та акустичні панелі для зменшення внутрішнього.

Використання звукопоглинаючих матеріалів. Звукопоглинаючі матеріали є одним із ключових інструментів для корекції акустичних характеристик приміщень. Вони допомагають зменшити реверберацію, контролювати шумове забруднення та покращити загальну акустику простору. Використання таких матеріалів сприяє створенню комфортного звукового середовища для роботи, відпочинку чи інших активностей [37].

Звукопоглинання відбувається через перетворення енергії звукової хвилі в тепло завдяки тертю, яке виникає під час проходження хвилі через структуру матеріалу. Ефективність звукопоглинання визначається коефіцієнтом звукопоглинання (α), що варіюється від 0 (повне відбиття звуку) до 1 (повне поглинання) [42].

Типи звукопоглинаючих матеріалів включають пористі матеріали (мінеральна вата, скловолокно, пінополіуретан), які ефективні для поглинання середніх і високих частот і застосовуються у вигляді панелей, плит або рулонів;

перфоровані матеріали (металеві або дерев'яні поверхні з отворами, за якими розташований пористий наповнювач), що підходять для інтер'єрів із високими естетичними вимогами; мембранні поглиначі для низькочастотного звукопоглинання, які складаються з жорсткої поверхні та віброуючої мембрани; текстильні матеріали (килими, штори, м'які меблі), що виконують декоративну та звукопоглинальну функцію і найкраще підходять для середніх і високих частот; інноваційні матеріали, такі як акустичні пінополімери або екоматеріали (волокна бамбука, льону, перероблені текстильні матеріали).

Застосування звукопоглинаючих матеріалів у дизайні охоплює стелі (акустичні стельові панелі для зменшення реверберації, підвісні елементи з естетичним і функціональним підходом), стіни (звукопоглинальні панелі або декоративні тканини, що кріпляться в місцях з відбиттями звуку), підлогу (килимові покриття для зменшення шуму від ходьби), меблі (м'які елементи з акустичними властивостями).

Критерії вибору звукопоглинаючих матеріалів включають коефіцієнт звукопоглинання (α), що залежить від частотного діапазону; естетичність і інтеграцію в інтер'єр; довговічність і простоту догляду, важливу для громадських приміщень; екологічність (натуральні чи перероблені матеріали, відповідність сталому розвитку); вартість, що балансує між ефективністю та бюджетом проекту.

Дифузори та їхня роль у рівномірному розподілі звуку. Дифузори є важливими елементами акустичного дизайну, які забезпечують рівномірний розподіл звукових хвиль у приміщенні (рис. 1.5). Їх використання дозволяє уникнути акустичних аномалій, таких як стоячі хвилі, концентровані відбиття чи нерівномірність звукового поля. Завдяки цьому створюється комфортне акустичне середовище для сприйняття мови чи музики. Дифузори працюють на основі розсіювання звукових хвиль за рахунок нерівностей, вигинів чи спеціальної геометрії їх поверхні. Замість концентрації звуку в певних ділянках, вони сприяють його рівномірному поширенню по всьому приміщенню.



Рис. 1.5 - акустичний дифузор

Типи дифузорів: квадратичні залишкові дифузори (QRD), які складаються з осередків різної глибини, ефективно розсіюють звук у широкому діапазоні частот і підходять для музичних студій, концертних залів та домашніх кінотеатрів; широкосмугові дифузори, що розсіюють звук у широкому частотному діапазоні та використовуються у багатофункціональних просторах; фрактальні дифузори, створені на основі геометричних фракталів, ефективно розсіюють як високі, так і низькі частоти, підходять для приміщень із високими акустичними вимогами; дифузори з нерівними поверхнями у вигляді нерівностей, хвиль чи пірамід, які розбивають звукові хвилі, використовуються в інтер'єрах із високими естетичними вимогами; дифузори-гібриди поєднують функції дифузії та звукопоглинання, ідеальні для приміщень із обмеженим простором.

Роль дифузорів: усунення стоячих хвиль шляхом розсіювання звукових хвиль і запобігання резонансним частотам; покращення звукового балансу через рівномірний розподіл звуку у приміщенні; зменшення ефекту "глухих зон", забезпечуючи однакову якість звучання в усіх напрямках; збереження природності звуку, особливо у приміщеннях для музики чи театральних вистав; покращення акустичного комфорту завдяки зменшенню концентрації відбиттів.

Застосування дифузорів: концертні зали та театри, де вони забезпечують об'ємність і рівномірність звуку; студії звукозапису для створення природного звучання; конференц-зали для зменшення акустичного дискомфорту та комфортного сприйняття мовлення; домашні кінотеатри для досягнення балансу між реверберацією та чіткістю звуку. Матеріали для виготовлення дифузорів: деревина для натурального вигляду та ефективного розсіювання звуку; пластик як легкий, доступний і економічний варіант; метал для міцності та довговічності; екоматеріали, такі як бамбук та перероблені волокна.

Оптимізація акустики за допомогою дизайну форми приміщення. Форма приміщення відіграє ключову роль у формуванні його акустичних характеристик. Правильно спроектована геометрія простору дозволяє мінімізувати небажані акустичні ефекти, такі як стоячі хвилі, нерівномірний розподіл звуку чи надмірна реверберація. Оптимізація акустики за допомогою форми приміщення включає врахування його пропорцій, розташування поверхонь і інтеграцію акустичних елементів у загальний дизайн.

Принципи оптимізації форми приміщення включають уникнення паралельних поверхонь, які сприяють виникненню стоячих хвиль і концентрації звуку; замість цього використовуються нерівні, нахилені або вигнуті поверхні для розсіювання звукових хвиль. Важливим є правильне співвідношення пропорцій довжини, ширини та висоти приміщення для уникнення резонансних частот і забезпечення рівномірного розподілу звуку. Зонування простору передбачає створення функціональних зон з різними акустичними

характеристиками, таких як області з низькою реверберацією для мовлення та зони з багатою реверберацією для музики.

Використання купольних і вигнутих форм, наприклад, купольних стель або вигнутих стін, сприяє рівномірному розподілу звуку, однак важливо уникати фокусування звуку в центрі таких форм. Регулювання висоти стелі може зменшити надмірну реверберацію, що характерно для високих стель у громадських приміщеннях; для цього застосовують підвісні панелі чи декоративні елементи. Інтеграція об'ємних елементів, таких як виступи, балкони або ніші, допомагає дифузії звуку та зменшує концентрацію відбиттів, покращуючи акустичні характеристики простору.

Впровадження технологій для активної корекції звуку. Активна корекція звуку — це використання сучасних технологій для динамічного управління акустичними характеристиками приміщення. Вона дозволяє адаптувати акустику під конкретні потреби користувачів у реальному часі, значно розширюючи функціональність простору. Цей підхід особливо актуальний для багатофункціональних приміщень, де потрібне швидке налаштування акустичного середовища.

Активна корекція звуку базується на використанні електронних систем і програмного забезпечення для підсилення звуку (використання систем озвучення для збільшення чутності звуку у великих приміщеннях), контролю реверберації (регулювання часу реверберації за допомогою цифрових пристроїв), шумозаглушення (генерація звукових хвиль протилежної фази для зменшення шуму) та покращення якості звуку (фільтрація небажаних частот і посилення корисних сигналів). Основні технології для активної корекції звуку: системи цифрової акустичної корекції (Digital Acoustic Correction Systems), які використовують мікрофони для вимірювання акустичних характеристик у реальному часі та налаштовують параметри звуку за допомогою програмного забезпечення; активні шумозаглушувальні системи (Active Noise Control), що генерують звукові хвилі, які нейтралізують небажані шуми, використовуються в

офісах, конференц-залах та транспортних хабах; електронні системи змінної реверберації, які забезпечують зміну часу реверберації для різних подій, таких як концерти, лекції або театральні вистави; мультиспікерні системи (Wave Field Synthesis), що створюють реалістичні звукові сцени за допомогою масиву гучномовців, які імітують природне звучання; інтерактивні акустичні панелі, які змінюють свої властивості залежно від рівня шуму чи акустичних вимог; системи стеження за рухом (Beamforming), що фокусують звук на конкретних ділянках простору, враховуючи розташування слухачів. Переваги активної корекції звуку: гнучкість (можливість адаптувати акустичні параметри до різних типів заходів і активностей), ефективність (досягнення високої якості звуку без значного використання фізичних звукопоглинальних чи відбиваючих матеріалів), комфорт (зменшення шуму та оптимізація звучання для покращення акустичного комфорту користувачів) та економія простору (зменшення потреби у встановленні великої кількості стаціонарних акустичних елементів). Ключові виклики та перспективи: вартість (впровадження активних технологій потребує значних фінансових вкладень), технічна складність (потреба у висококваліфікованих спеціалістах для налаштування та обслуговування систем), інтеграція з дизайном (важливість гармонійного поєднання технологій із загальним інтер'єром приміщення), перспективи (розвиток штучного інтелекту та IoT (Internet of Things) дозволяє автоматизувати процеси активної корекції звуку та зробити їх доступнішими).

Висновки за розділом 1

Розділ 1.1. охоплює еволюцію акустичного дизайну від найдавніших часів до сучасності, демонструючи, як розвивалися принципи акустичного проектування у відповідь на культурні, технологічні та соціальні виклики різних епох. У стародавніх цивілізаціях закладено основи акустичного дизайну через інтуїтивне використання форм і матеріалів для створення приміщень із чудовою чутністю, таких як амфітеатри Стародавньої Греції. Середньовічна архітектура з її величними соборами демонструє акцент на реверберації для підсилення духовних аспектів богослужінь. Епоха Відродження принесла прагнення до гармонії між естетикою та акустикою, де мистецтво і наука співіснували в архітектурних проектах. У періоди бароко та класицизму проектувальники приділяли особливу увагу створенню просторів для музики та мови, акцентуючи увагу на багатогранності та драматизмі звучання. XIX століття стало періодом технологічних проривів, коли завдяки науковим відкриттям, таким як теорія реверберації Уоллеса Сабіна, акустичний дизайн перейшов на якісно новий рівень. XX століття з його модерністським підходом додало раціональності та функціональності в акустичні рішення, інтегруючи інноваційні матеріали та архітектурні форми. Сучасний етап розвитку характеризується широким застосуванням цифрових технологій, інноваційних матеріалів і адаптивних акустичних рішень. Інтеграція акустики з естетикою і функціональністю дозволяє створювати багатофункціональні простори, які відповідають вимогам сучасного суспільства. Таким чином, історичний розвиток акустичного дизайну демонструє безперервний процес вдосконалення принципів проектування звукових середовищ. Цей досвід є основою для сучасних рішень, що забезпечують акустичний комфорт у громадських приміщеннях.

У розділі 1.2 розглянуто основні аспекти природи звуку та його взаємодії з просторовим середовищем, які є ключовими для розуміння акустичного дизайну приміщень. Фізичні властивості звуку, такі як частота, амплітуда,

довжина хвилі та швидкість поширення, визначають основні закономірності поведінки звукових хвиль у закритих просторах. Дослідження типів хвиль показало їхній вплив на акустику приміщень, зокрема поздовжніх і поперечних хвиль, стоячих хвиль і резонансів. Ці явища впливають на якість звучання та рівномірність розподілу звуку, особливо в закритих просторах із паралельними поверхнями. Рефлексія, абсорбція та дифузія звуку визначають баланс між поглинанням, розсіюванням і відбиттям звуку в приміщенні. Контроль цих параметрів забезпечує оптимальну реверберацію та чіткість звуку. Розуміння резонансу та стоячих хвиль дозволяє уникати небажаних акустичних ефектів, таких як "гул" низьких частот або нерівномірність звукового поля. Використання дифузійних і звукопоглинальних матеріалів сприяє поліпшенню акустичного середовища. Особливу увагу приділено акустичному балансу, критеріям його оцінки та принципам створення комфортного акустичного простору. Психоакустика, як наука про сприйняття звуку людиною, підкреслює важливість урахування не лише фізичних, але й суб'єктивних факторів у проектуванні. Таким чином, розділ закладає теоретичний фундамент для розуміння і проектування акустично збалансованих просторів, що відповідають функціональним і естетичним вимогам. Це забезпечує ефективне використання звукових хвиль у приміщеннях різного призначення, підвищуючи комфорт і якість сприйняття звуку.

Розділ 1.3 систематизує основні принципи акустичної корекції, які є ключовими для забезпечення якісного акустичного середовища в приміщеннях різного призначення. Аналіз сучасних методів дозволяє сформулювати комплексний підхід до проектування та вдосконалення акустичних характеристик простору. Ідентифікація акустичних проблем є першим і важливим етапом, який включає виявлення таких недоліків, як надмірна реверберація, нерівномірний розподіл звуку, шумове забруднення та резонанс. Розуміння цих проблем дозволяє ефективно застосовувати інструменти корекції. Корекція часу реверберації є важливим аспектом для забезпечення чіткості мови

та музики. Використання звукопоглинаючих матеріалів допомагає зменшити відбиття звуку та регулювати його тривалість, тоді як дифузори сприяють рівномірному розподілу звукових хвиль, особливо у великих або складних приміщеннях. Зменшення шуму та звукоізоляція дозволяють уникнути небажаного проникнення звуків у приміщення або назовні, створюючи комфортне середовище для роботи чи відпочинку. Ефективні рішення включають багатошарові конструкції стін, віброізоляційні матеріали та акустичні бар'єри. Оптимізація форми приміщення, що враховує акустичні властивості поверхонь і геометрію, забезпечує природну рівновагу між рефлексією, абсорбцією та дифузією. Додатково сучасні технології для активної корекції звуку, такі як електронні системи, дозволяють динамічно налаштовувати акустичні параметри відповідно до функціональних потреб простору. Таким чином, основні принципи акустичної корекції спрямовані на створення гармонійного звукового середовища, яке відповідає вимогам функціональності, естетики та комфорту. Їх застосування є критичним для успішного проектування громадських приміщень, орієнтованих на сучасні стандарти якості.

РОЗДІЛ 2.

ПРИНЦИПИ ДИЗАЙНУ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТОРОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ АКУСТИЧНІЙ КОРЕКЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ

2.1. Вплив дизайну середовища на акустичні характеристики приміщення

Матеріали в інтер'єрі та їх акустичні властивості. Матеріали, які використовуються в інтер'єрі, відіграють ключову роль у формуванні акустичного середовища приміщення. Їх властивості, такі як здатність поглинати, відбивати або розсіювати звукові хвилі, впливають на рівень реверберації, чіткість звуку та акустичний комфорт.

Класифікація матеріалів за акустичними властивостями включає звукопоглинальні матеріали, які поглинають енергію звукових хвиль і зменшують реверберацію (мінеральна вата, пінополіуретан, текстиль, тканинні матеріали — килими, штори, оббивка м'яких меблів), звуковідбиваючі матеріали, які відбивають звукові хвилі та спрямовують їх у потрібному напрямку (скло, металеві поверхні, поліровані тверді матеріали, як-от камінь, плитка, деревина), і дифузійні матеріали, що розсіюють звукові хвилі для рівномірного розподілу звуку (поверхні зі складною геометрією, спеціальні дифузійні панелі). Звукопоглинальні матеріали використовуються для зменшення відбиття звуку в навчальних або робочих приміщеннях, звуковідбиваючі — у концертних залах, а дифузійні — для покращення акустичного балансу.

Матеріали стін, стелі, підлоги та меблів впливають на акустику так: гладкі стіни створюють сильне відбиття звуку, обшивка тканинами або пористими панелями зменшує реверберацію; тверді стелі підсилюють реверберацію, а підвісні акустичні панелі її поглинають; тверді покриття, як-от паркет чи плитка, сприяють відбиттю звуку, тоді як килими або м'які покриття зменшують шум;

м'які меблі поглинають звук, а тверді поверхні меблів створюють додаткові звукові відбиття.

Вибір матеріалів залежить від призначення приміщення (навчальні кімнати потребують покращення розбірливості мови, концертні зали — комбінації відбиваючих, поглинаючих і дифузійних матеріалів), частотного діапазону звуку (низькі частоти поглинаються товстими пористими матеріалами, високі — текстилем), естетичного і функціонального аспекту (поєднання акустичних властивостей із дизайном інтер'єру) та екологічності (натуральні чи перероблені матеріали) [19]. Приклади використання: у класних кімнатах і конференц-залах — тканинні панелі, підвісні акустичні стелі, килимові покриття; у концертних залах і театрах — дерев'яні панелі, текстильні матеріали, дифузійні панелі; у коворкінгах та офісах — звукопоглинальні перегородки, панелі з пористих матеріалів, текстильні штори.

Форма та геометрія приміщення як фактори акустики. Форма та геометрія приміщення мають вирішальне значення для формування його акустичних характеристик. Ці фактори визначають, як звукові хвилі поширюються, відбиваються, поглинаються і взаємодіють із поверхнями, впливаючи на реверберацію, чіткість звуку та акустичний комфорт [22].

Основні аспекти впливу форми та геометрії на акустику

- Пропорції приміщення - співвідношення довжини, ширини та висоти приміщення впливає на виникнення резонансів і стоячих хвиль. Оптимальні пропорції (наприклад, 1:1,6:2,5) зменшують ризик акустичних аномалій, таких як "гул" низьких частот.

- Паралельні поверхні - паралельні стіни сприяють утворенню стоячих хвиль і посиленню реверберації. Покращує ситуацію використання нахилених або нерівних стін, інтеграція звукопоглинальних або дифузійних матеріалів.

- Форма приміщення - прямокутні приміщення є найпоширенішою формою, яка потребує додаткової акустичної корекції для уникнення стоячих

хвиль. Круглі або купольні форми сприяють фокусуванню звуку в центральній точці, що може створювати акустичний дискомфорт. Рішенням є використання дифузійних панелей для розсіювання звукових хвиль. Вигнуті форми (параболічні, еліптичні) - забезпечують спрямований рух звуку, що може бути корисним для концертних залів чи аудиторій.

- Висота стелі. Високі стелі збільшують час реверберації, що може бути бажаним для музичних просторів, але небажаним для мовлення. Тут застосування підвісних панелей або декоративних елементів для зменшення висоти.

- Рельєф поверхонь - гладкі поверхні підсилюють відбиття звуку, тоді як рельєфні сприяють його розсіюванню. Сюди входить інтеграція нерівностей, наприклад, виступів, ніші, декоративних панелей.

Планування розташування меблів і обладнання. Розташування меблів і обладнання в приміщенні має значний вплив на його акустичні характеристики. Правильне планування може зменшити небажані звукові ефекти, такі як відбиття, реверберація або шум, і забезпечити рівномірний розподіл звуку. Ретельне розміщення елементів інтер'єру дозволяє покращити акустичний комфорт та адаптувати простір до його функціонального призначення.

Вплив меблів на акустику включає звукопоглинання, відбиття та розсіювання звуку. М'які меблі, оббиті текстилем, сприяють поглинанню середніх і високих частот, великі елементи, такі як дивани чи крісла, виконують функцію додаткових звукопоглинальних елементів. Тверді поверхні меблів (столи, шафи, скляні столи) створюють відбиття звуку, що посилює реверберацію; для зменшення цього ефекту слід розташовувати такі меблі подалі від джерел звуку або використовувати текстильні накриття. Книжкові шафи чи полиці з предметами нерівної форми допомагають розсіювати звукові хвилі, рівномірно розподіляючи звук у просторі.

Розташування меблів залежить від призначення приміщення. У конференц-залах меблі повинні уникати відбиттів звуку від столів до аудиторії; стільці з м'якою оббивкою зменшують реверберацію. В офісах використовують перегородки з акустичних матеріалів між робочими місцями для зменшення шуму і створення приватних зон. У класних кімнатах столи та стільці розташовують для рівномірного поширення звуку, додаючи звукопоглинальні панелі чи м'які меблі для зниження шуму. У кінотеатрах і концертних залах сидіння з матеріалів, що поглинають звук, забезпечують контроль реверберації, а простір між меблями уникає надмірного відбиття.

Вплив обладнання на акустику охоплює розташування звукового обладнання (динаміків, мікрофонів) для рівномірного покриття звуком приміщення та уникнення відбиттів від стін і стелі через використання спрямованих колонок. Технічне обладнання, яке генерує шум (вентиляція, проектори), слід розташовувати у звукоізованих корпусах і використовувати антивібраційні підставки. Освітлювальне обладнання, наприклад, великі люстри, може створювати небажані відбиття; його варто обирати з матеріалів, що не відбивають звук.

Рекомендації щодо планування включають зонування приміщення для ефективного управління звуком, уникнення розташування великих твердих поверхонь навпроти одна одної, використання м'яких меблів і текстилю для поглинання звуку. Динаміки слід розташовувати з урахуванням спрямованості та акустичних характеристик приміщення, мінімізуючи шумове забруднення від технічного обладнання. Баланс між естетикою та функціональністю досягається інтеграцією меблів і обладнання в інтер'єр із поєднанням акустичної ефективності та візуальної привабливості.

Роль декору в звукопоглинанні та звуковідбитті. Декоративні елементи в інтер'єрі виконують не лише естетичну, але й функціональну роль у формуванні акустичного середовища. Залежно від матеріалів, форми та

розташування, декор може впливати на звукопоглинання, звуковідбиття та дифузію звуку, сприяючи створенню комфортного акустичного простору.

Типи декору для акустичної корекції:

Текстильні елементи. Штори поглинають звук, особливо якщо виготовлені з щільних або багатошарових тканин. Килими знижують рівень шуму від кроків і поглинають звук на високих частотах.

Декоративні панелі. Акустичні панелі, спеціально розроблені для звукопоглинання або дифузії звуку. Дерев'яні або перфоровані панелі - комбінують звукопоглинання і звуковідбиття.

Меблі та текстильна оббивка. М'які меблі з тканинною оббивкою зменшують рівень реверберації. Використання декоративних подушок або покривал сприяє додатковому звукопоглинанню.

Декоративні перегородки. Зонують простір, знижуючи шумовий фон і сприяючи звукопоглинанню. Перегородки з нерівними поверхнями додатково виконують функцію дифузії.

Стіни та стелі. Фрески або картини на текстильній основі можуть частково поглинати звук. А рельєфні декоративні елементи: створюють дифузію звукових хвиль, забезпечуючи рівномірний розподіл звуку.

Арт-об'єкти. Скульптури, інсталяції та декоративні конструкції з рельєфами сприяють дифузії звуку, особливо у великих приміщеннях.

Вплив освітлення та кольору на акустичне сприйняття. Хоча освітлення і колір не мають прямого фізичного впливу на звук, вони суттєво впливають на сприйняття акустичного середовища людиною. Взаємодія цих елементів створює атмосферу приміщення, яка може змінювати відчуття звукового комфорту, розбірливості мови та загальне враження від простору.

Вплив освітлення на акустичне сприйняття полягає в тому, що яскраве освітлення створює відчуття відкритості простору, викликаючи асоціації з більшим рівнем шуму або реверберації, тоді як тьмяне освітлення сприяє

відчуттю затишку та меншого шумового забруднення. Тип освітлення також має значення: тепле світло (2700–3000K) створює розслаблену атмосферу, де звуки сприймаються м'якшими, тоді як холодне світло (5000–6500K) стимулює концентрацію, що важливо для робочих чи навчальних приміщень, але може підкреслювати акустичні недоліки. Розташування джерел світла впливає на зорові фокуси та локалізацію звуку: центральне чи спрямоване світло створює фокуси, рівномірне розподілення сприяє гармонійному сприйняттю акустичного середовища. Інтерактивність світла, наприклад, можливість змінювати яскравість і кольорову температуру (розумне освітлення), дозволяє адаптувати акустичне сприйняття залежно від ситуації.

Вплив кольору на акустичне сприйняття залежить від його характеристик. Теплі кольори (червоний, помаранчевий, жовтий) створюють затишну атмосферу та сприяють відчуттю меншої реверберації, підходять для кафе, ресторанів чи житлових приміщень. Холодні кольори (синій, зелений, фіолетовий) викликають відчуття простору та спокою, але можуть підкреслювати акустичні недоліки. Нейтральні кольори (білий, сірий, бежевий) мають нейтральний вплив на сприйняття звуку, часто використовуються в офісах. Темні кольори створюють відчуття поглинання звуку, навіть якщо акустика фактично не змінюється, і допомагають зменшити візуальний "хаос". Комбінація кольорів та їх контрасти можуть змінювати асоціації користувачів і впливати на сприйняття акустики.

Синергетичний ефект освітлення та кольору дозволяє підсилювати акустичний дизайн приміщення. Використання м'якого освітлення та теплих кольорів може компенсувати недоліки акустики, тоді як холодне світло й нейтральні кольори підходять для просторів із високими вимогами до звукової розбірливості. В багатофункціональних приміщеннях інтеграція змінного освітлення та кольорів дозволяє адаптувати як зорове, так і акустичне середовище залежно від функцій. Емоційний вплив зміни освітлення та кольорів

може змінювати емоційний стан користувачів, опосередковано впливаючи на сприйняття звуку.

Ергономічні рішення для підвищення акустичного комфорту.

Ергономічні рішення спрямовані на створення комфортного акустичного середовища, яке сприяє ефективній взаємодії користувачів із простором. Вони враховують фізіологічні та психологічні потреби людини, зосереджуючись на оптимізації розташування елементів інтер'єру, зонування приміщення та мінімізації впливу небажаного шуму.

Основні принципи ергономіки в акустичному дизайні:

- Адаптація до функціонального призначення приміщення - приміщення для мовлення (конференц-зали, аудиторії) потребують рішень для підвищення розбірливості мови [18]. Приміщення для відпочинку (ресторани, житлові кімнати) акцентуються на зменшенні шуму.

- Зонування простору - розділення приміщення на зони з різними акустичними характеристиками. Використання перегородок або меблів для ізоляції шумних зон.

- Баланс між естетикою та функціональністю - ергономічні елементи мають інтегруватися в загальний дизайн, забезпечуючи акустичний комфорт без втрати естетичної привабливості.

Ергономічні рішення для покращення акустики:

- Розташування меблів - використання м'яких меблів із текстильним покриттям для звукопоглинання. Уникнення розташування меблів із твердими поверхнями напроти одна одної, щоб зменшити відбиття звуку.

- Акустичні панелі - інтеграція звукопоглинальних панелей у стіни, стелю або перегородки. Використання декоративних акустичних панелей, які одночасно виконують естетичну та функціональну роль.

Перегородки та екрани - рухомі перегородки для тимчасового зонування простору. Акустичні екрани між робочими місцями в офісах для зменшення рівня шуму.

Розташування технічного обладнання - розміщення джерел шуму (вентиляційні системи, проектори) у звукоізольованих зонах або використання віброізоляційних матеріалів.

Звукоізоляційні покриття - використання м'яких покриттів на підлозі (килими, ковrolін) для зменшення шуму від кроків і інших звуків.

Організація робочих зон - у офісах і навчальних приміщеннях створення індивідуальних робочих місць із мінімальним шумовим фоном.

Адаптація висоти та розташування стель - зниження висоти стелі в приміщеннях із високою реверберацією за допомогою підвісних елементів.

Для комфорту слухачів необхідно врахувати розташування джерел звуку (динаміків) для рівномірного розподілу звукових хвиль, уникнення "глухих зон", де звук сприймається слабше, та зон із надмірним підсиленням звуку. Зменшення рівня фонових шумів для зниження психофізичного навантаження на користувачів, та використання матеріалів, які поглинають звук у широкому частотному діапазоні, а також організація зручного доступу до зон із різними акустичними характеристиками покращують взаємодію з середовищем.

Інтеграція дизайну середовища з акустичними технологіями. Інтеграція дизайну середовища з акустичними технологіями є сучасним підходом до створення гармонійного простору, який поєднує естетику, функціональність та акустичний комфорт. Вона передбачає використання сучасних технологій, матеріалів і архітектурних рішень для оптимізації звукового середовища без шкоди для візуального вигляду приміщення [24].

Принципи інтеграції дизайну та акустичних технологій включають непомітність технологій, коли акустичні елементи інтегруються в інтер'єр так, щоб залишатися майже непомітними, наприклад, у вигляді декоративних

панелей; збалансованість естетики та функціональності, де акустичні рішення відповідають стилю приміщення, зберігаючи ефективність; адаптивність, яка передбачає використання технологій для динамічної зміни акустичних параметрів приміщення відповідно до потреб; та комплексний підхід, що враховує акустичні, візуальні та ергономічні аспекти проектування.

Стадії інтеграції акустичних технологій включають аналіз потреб приміщення, зокрема визначення його функціонального призначення та акустичних вимог; проектування дизайну з урахуванням акустики, що інтегрує акустичні рішення у загальний архітектурний проект; підбір матеріалів та обладнання, які поєднують естетичні та функціональні властивості; та встановлення й налаштування систем із мінімальним впливом на візуальну гармонію простору.

2.2. Акустичні матеріали в предметно-просторовому дизайні

Класифікація акустичних матеріалів за їх функціональністю.

Акустичні матеріали використовуються для управління звуком у приміщеннях, зокрема для звукопоглинання, звуковідбиття, дифузії звуку та звукоізоляції. Їх функціональність залежить від фізичних властивостей, таких як пористість, щільність і жорсткість, що визначає їхню роль у забезпеченні акустичного комфорту [16].

Основні функції акустичних матеріалів: звукопоглинання (зменшення рівня реверберації та шуму шляхом поглинання енергії звукових хвиль), звуковідбиття (направлення звукових хвиль у потрібному напрямку для підсилення звуку), дифузія звуку (рівномірний розподіл звукових хвиль для запобігання акустичних аномалій), звукоізоляція (запобігання проникненню звуку ззовні або з одного приміщення в інше).

Класифікація акустичних матеріалів за функцією включає звукопоглинальні матеріали, які зменшують інтенсивність звукових хвиль,

перетворюючи звукову енергію на теплову (пористі матеріали, як-от мінеральна вата, скловолокно, акустична піна, та текстильні матеріали: килими, штори, м'які меблі); звуковідбиваючі матеріали, що спрямовують звукові хвилі у певному напрямку (тверді та гладкі поверхні, такі як скло, метал, полірована деревина, дзеркальні панелі, плитка); дифузійні матеріали, які забезпечують рівномірний розподіл звукових хвиль у просторі (перфоровані панелі, матеріали зі складною геометрією: рельєфи, текстури); та звукоізоляційні матеріали, які блокують звук, запобігаючи його проникненню через стіни, підлогу чи стелю (багатошарові матеріали: звукоізоляційні мембрани, гіпсокартон, віброізоляційні елементи: гумові або коркові прошарки).

Класифікація за частотним діапазоном дії включає матеріали для низьких частот (високощільні матеріали, наприклад, щільна піна, мембранні звукопоглинальні панелі, бас-пастки); для середніх частот (текстильні та пористі матеріали, такі як килими, акустичні панелі); для високих частот (легкі пористі матеріали з низькою щільністю, наприклад, акустична піна, тканини). За місцем застосування акустичні матеріали поділяються на стінові (акустичні панелі, пористі або перфоровані покриття); стельові (підвісні акустичні панелі, касетні стельові системи); підлогові (килиміві покриття, звукоізоляційні підкладки); меблеві (оббивка для м'яких меблів із звукопоглинальних тканин).

За типом матеріалу виділяються пористі матеріали (мінеральна вата, скловолокно, пінополіуретан), які поглинають звук завдяки внутрішній структурі; тверді матеріали (метал, скло, полірована деревина), які відбивають звук через жорстку та гладку поверхню; комбіновані матеріали (перфоровані панелі зі звукопоглинальним наповнювачем), що поєднують звукопоглинальні та звуковідбиваючі властивості; екологічні матеріали (пробка, волокна бамбука, перероблений текстиль), виготовлені з натуральних або перероблених компонентів.

Звукопоглинаючі матеріали: властивості та приклади.

Звукопоглинаючі матеріали відіграють важливу роль у створенні акустичного

комфорту в приміщеннях. Їх основна функція — зменшення реверберації та зниження інтенсивності звукових хвиль за рахунок перетворення звукової енергії в теплову. Ці матеріали застосовуються у громадських, комерційних і житлових приміщеннях для покращення розбірливості мови, створення комфортного середовища та зниження рівня шуму.

Коефіцієнт звукопоглинання (α) характеризує ефективність звукопоглинання, варіюючись від 0 (повне відбиття звуку) до 1 (повне поглинання) [21]. Наприклад, мінеральна вата має $\alpha=0.75-0.95$, акустична піна — $\alpha=0.7-0.9$, текстильні штори — $\alpha=0.5-0.7$. Основні властивості звукопоглинаючих матеріалів включають пористість, яка забезпечує проникнення звукових хвиль у структуру матеріалу та втрату енергії через тертя; щільність, яка визначає ефективність поглинання різних частот (легкі матеріали краще поглинають високі частоти, щільні — низькі); товщину, яка забезпечує поглинання звуку у ширшому частотному діапазоні; гнучкість, що полегшує інтеграцію матеріалів в інтер'єр; екологічність, яка забезпечує безпечність матеріалів завдяки використанню натуральних або перероблених компонентів; та довговічність, яка передбачає стійкість до механічних і температурних впливів.

Типи звукопоглинаючих матеріалів включають пористі матеріали, такі як мінеральна вата (використовується в стельових панелях, перегородках, акустичних плитах), пінополіуретан (легкий матеріал для стін, стель, студій звукозапису) та скловолокно (висока пористість для середньо- та високочастотного діапазону). Текстильні матеріали, як-от штори (щільні та багатошарові тканини) і килими (зменшують шум кроків і реверберацію), також ефективні. Комбіновані матеріали включають акустичні панелі (звукопоглинальний шар із декоративним покриттям для офісів, конференц-залів) та перфоровані панелі (тверда поверхня з отворами, звук поглинається пористим наповнювачем). Натуральні матеріали, такі як пробка (для стін і підлог), волокна бамбука чи льону, а також перероблений текстиль, є

екологічними варіантами для звукопоглинання. Інноваційні матеріали включають наноматеріали (висока ефективність при тонких шарах) і акустичні мембрани (поглинання низьких частот, часто використовуються в студіях).

Звуковідбиваючі матеріали: застосування в дизайні. Звуковідбиваючі матеріали є ключовим елементом акустичного дизайну, особливо в приміщеннях, де необхідно посилити звукові хвилі, спрямувати їх у певному напрямку або зберегти "живе" звучання. Завдяки своїм властивостям, такі матеріали активно використовуються для оптимізації акустичних характеристик і створення функціональних та естетичних інтер'єрів.

Властивості звуковідбиваючих матеріалів включають високу жорсткість і гладкість поверхні, які забезпечують мінімальне поглинання і максимальне відбиття звукових хвиль; щільність, яка впливає на ефективність відбиття; спрямованість відбиття, коли звукові хвилі відбиваються під кутом, рівним куту падіння; та естетичну гнучкість, що дозволяє створювати різні текстури, кольори та форми для інтеграції матеріалів у дизайн.

Типи звуковідбиваючих матеріалів: металеві поверхні, такі як сталь, алюміній, мідь, використовуються для створення сучасного індустріального вигляду інтер'єру; скло, яке застосовується в перегородках, вітринах, фасадах, поєднуючи естетику з високою здатністю відбивати звук; полірована деревина, яка використовується для стін, стель і меблів, забезпечуючи теплий вигляд інтер'єру та хороший акустичний баланс; кераміка і плитка, які ефективно відбивають звук у приміщеннях із високою вологістю, таких як басейни і ванні кімнати; мармур і камінь, що забезпечують міцність, естетику та ефективне звуковідбиття; гіпсокартон, який використовується для створення звуковідбиваючих перегородок і поверхонь.

Дифузійні матеріали для рівномірного розподілу звуку. Дифузійні матеріали відіграють важливу роль у забезпеченні рівномірного розподілу звукових хвиль у приміщенні. Вони сприяють зменшенню концентрації звуку в окремих точках, запобігають утворенню стоячих хвиль і створюють комфортне

акустичне середовище. Такі матеріали широко застосовуються в акустичному дизайні концертних залів, аудиторій, студій звукозапису та інших приміщень, де важливе якісне звучання.

Особливості дифузійних матеріалів: принцип їхньої роботи полягає не у відбитті чи поглинанні звукових хвиль, а у розсіюванні їх у різних напрямках, що сприяє рівномірному розподілу звуку в приміщенні. Вони запобігають акустичним аномаліям, таким як фокусування звуку чи утворення "мертвих зон", покращуючи природність звучання. Дифузійні матеріали ефективні переважно для середніх і високих частот.

Типи дифузійних матеріалів: геометрично рельєфні поверхні (дерев'яні чи пластикові панелі з нерівностями, як-от піраміди, хвилі, квадрати різної висоти) забезпечують хаотичне розсіювання звукових хвиль. Перфоровані панелі мають отвори, через які звукові хвилі проходять і частково розсіюються, поєднуючи дифузійні та звукопоглинальні властивості. Матеріали зі складною геометрією включають фрактальні дифузори (з повторюваними геометричними формами) і квадратичні залишкові дифузори (QRD), що складаються з осередків різної глибини для рівномірного розподілу звуку. Комбіновані матеріали поєднують дифузійні, звукопоглинальні та звуковідбиваючі властивості, наприклад, дерев'яні панелі з перфорацією та наповненням із пористих матеріалів. Декоративні матеріали, як-от скульптури, інсталяції чи об'ємні декоративні елементи, також можуть виконувати функцію дифузії.

Інноваційні акустичні матеріали та їх характеристики. Інноваційні акустичні матеріали представляють новий етап у розвитку акустичного дизайну, пропонуючи ефективні рішення для створення комфортного звукового середовища. Завдяки сучасним технологіям вони забезпечують кращу продуктивність, багатофункціональність і екологічність, що робить їх ідеальними для застосування в різних типах приміщень.

Характеристики інноваційних акустичних матеріалів включають підвищену ефективність, що забезпечує високий рівень звукопоглинання чи

дифузії навіть при невеликій товщині; легкість і гнучкість, які полегшують установку та дозволяють приймати різні форми; екологічність завдяки використанню перероблених або біорозкладних компонентів; мультифункціональність, що поєднує звукопоглинання, термоізоляцію та вогнестійкість; і інтеграцію з технологіями, як-от розумні системи чи функції зі змінюваними характеристиками.

Приклади інноваційних акустичних матеріалів: наноматеріали, які створюють надтонкі панелі з максимальною ефективністю звукопоглинання і можливістю бути прозорими, застосовуються в конференц-залах, музеях, студіях звукозапису. Мембранні звукопоглинальні матеріали, що вібрують під впливом звукових хвиль, ефективні для низьких частот. Біопластики та біоматеріали, виготовлені з натуральних компонентів, забезпечують легкість, екологічність і звукопоглинальні властивості, використовуються в офісах, житлових і громадських просторах. Акустичні піноматеріали з відкритими порами ефективно поглинають звук у широкому частотному діапазоні, застосовуються в кінотеатрах, спортивних спорудах, офісах.

Регенеровані акустичні матеріали, створені з перероблених текстильних волокон чи пластикових пляшок, є екологічними та довговічними, використовуються в освітніх закладах, коворкінгах, виставкових центрах. Мікроперфоровані панелі з мікроскопічними отворами забезпечують ефективне звукопоглинання на високих і середніх частотах із мінімальним впливом на дизайн приміщення, застосовуються в концертних залах, галереях, музеях. Фазовані матеріали для дифузії з складною геометрією рівномірно розсіюють звукові хвилі, покращуючи якість звучання, використовуються в театрах, концертних залах, домашніх кінотеатрах. Розумні акустичні матеріали, інтегровані з електронними системами, дозволяють динамічно змінювати акустичні властивості, що робить їх ідеальними для мультифункціональних залів і сучасних офісів.

Критерії вибору матеріалів для акустичної корекції приміщень. Вибір матеріалів для акустичної корекції приміщень є важливим етапом у забезпеченні комфортного звукового середовища. Правильні матеріали дозволяють ефективно зменшити реверберацію, контролювати шум і забезпечити розбірливість звуку, зберігаючи естетичну привабливість простору. Для оптимального результату необхідно враховувати функціональні, естетичні, екологічні та економічні критерії.

Основні критерії вибору акустичних матеріалів включають акустичні характеристики: матеріал повинен забезпечувати ефективне звукопоглинання (зниження реверберації та поглинання шуму), що оцінюється за коефіцієнтом звукопоглинання (α), дифузію звуку (рівномірний розподіл) та звукоізоляцію (блокування проникнення звуку між приміщеннями). Призначення приміщення визначає вибір матеріалів: для концертних залів потрібні матеріали, що поєднують звукопоглинання, дифузію та звуковідбиття, тоді як для офісів акцент на зменшенні шуму. Функціональні потреби залежать від приміщення, наприклад, розбірливість звуку для конференц-залів чи контроль шуму для коворкінгів. Частотний діапазон також враховується: мембранні панелі та бас-пастки ефективні для низьких частот, пористі матеріали для середніх і високих частот.

Естетика та дизайн передбачають гармонійну інтеграцію матеріалів у загальний інтер'єр із можливістю вибору кольорів, текстур та форм. Екологічність важлива для використання матеріалів із низьким рівнем шкідливих викидів (VOC), натуральних чи перероблених компонентів, що підтримують сталий розвиток. Довговічність і технічне обслуговування включають стійкість до зношення, вологи, температурних коливань та простоту очищення. Економічність передбачає баланс між вартістю, довговічністю та ефективністю, з урахуванням витрат на монтаж і обслуговування. Простота монтажу є ключовою, особливо для існуючих приміщень, де необхідно уникати

значної реконструкції. Сертифікація та відповідність стандартам, таким як ISO, DIN, LEED, гарантують якість і безпеку матеріалів.

2.3. Екологічні аспекти у дизайні громадських приміщень

Екологічний дизайн: концепція та принципи. Екологічний дизайн є напрямком у проектуванні, спрямованим на створення гармонійного середовища, яке мінімізує негативний вплив на довкілля, забезпечує комфорт для користувачів і відповідає принципам сталого розвитку. У контексті акустичного дизайну екологічний підхід поєднує використання екологічно чистих матеріалів, інноваційних технологій та ефективних методів управління звуковим середовищем [10].

Концепція екологічного дизайну включає гармонію з природою через використання природних ресурсів без шкоди для довкілля, інтеграцію природних елементів у дизайн (зелень, природне світло, натуральні матеріали), раціональне використання ресурсів шляхом оптимізації споживання енергії, води та матеріалів із залученням відновлювальних джерел. Збереження екосистем досягається мінімізацією викидів, відходів і забруднень під час проектування, будівництва та експлуатації. Довговічність і адаптивність забезпечуються вибором матеріалів із тривалим терміном служби та можливістю повторного використання чи переробки. Створення середовища, яке позитивно впливає на здоров'я, емоційний стан і продуктивність користувачів, підвищує якість життя.

Принципи екологічного дизайну включають використання екологічно чистих матеріалів (натуральних, перероблених або біорозкладних, таких як деревина, пробка, текстильні волокна) і матеріалів із низьким рівнем шкідливих викидів (VOC). Оптимізація енергоспоживання передбачає впровадження енергоефективних технологій (світлодіодне освітлення, теплоізоляція) та

пасивних методів енергозбереження (природне освітлення, вентиляція). Реалізація принципів циклічної економіки забезпечується використанням перероблених матеріалів і можливістю повторного використання компонентів. Мінімізація відходів і забруднення досягається зниженням відходів на всіх етапах життєвого циклу проекту. Інтеграція природи передбачає додавання зелених зон, вертикальних садів і елементів природного ландшафту. Ергономіка та комфорт забезпечуються оптимізацією акустики, освітлення та температурного режиму, а також зручністю приміщень. Залучення місцевих ресурсів і технологій дозволяє знизити екологічний слід.

Застосування принципів екологічного дизайну в акустичній корекції включає використання екологічних акустичних матеріалів, таких як пробка, бамбук, льон, а також перероблених матеріалів (наприклад, текстильних панелей із пластикових відходів). Енергоефективність досягається через поєднання акустичних матеріалів із теплоізоляційними властивостями та інтеграцію світлодіодного освітлення. Інтеграція природних елементів, таких як вертикальні сади та зелень, може виконувати функцію звукопоглинання. Зменшення шумового впливу передбачає використання тихих вентиляційних і кліматичних систем, а також матеріалів, що поглинають і дифузують звук, для зменшення шуму в приміщеннях.

Використання натуральних і перероблених матеріалів. Екологічно чисті матеріали є важливим напрямком у сучасному акустичному дизайні. Вони дозволяють створювати комфортне акустичне середовище, одночасно підтримуючи принципи сталого розвитку, зменшуючи вплив на навколишнє середовище та покращуючи якість життя користувачів.

Особливості екологічно чистих акустичних матеріалів включають їхнє натуральне походження (виготовлення з природних компонентів, таких як деревина, пробка, волокна рослин), можливість переробки та повторного використання (матеріали з перероблених текстильних волокон або пластику), безпеку для здоров'я (відсутність шкідливих хімічних речовин, наприклад,

летких органічних сполук), довговічність (висока стійкість до зношення) та естетичну універсальність (природний вигляд, який інтегрується в різні стилі інтер'єру).

Типи екологічно чистих матеріалів у акустичному дизайні: деревина, що забезпечує звуковідбиття та дифузію, використовується для акустичних панелей, меблів, обшивки стін і стель, має теплий вигляд і високу естетичну цінність; пробка, гнучкий матеріал із високими звукопоглинальними властивостями, застосовується для покриття стін, підлог і панелей, має легку вагу, антиалергенність і стійкість до вологи. Волокна рослинного походження (бамбук, льон, джут, кокосові волокна) використовуються для звукопоглинальних панелей і декоративних елементів завдяки легкості, гнучкості та доступності. Перероблений текстиль (бавовна, вовна, поліестер) застосовується для панелей, оббивки меблів, штор, що зменшує текстильні відходи та забезпечує широкий вибір кольорів і текстур.

Екологічна акустична піна, виготовлена з біорозкладних матеріалів або переробленого пластику, використовується для створення акустичних панелей для стель і стін, має легку вагу та високу ефективність у поглинанні звуку. Глина та кераміка застосовуються для декоративних елементів із дифузійними властивостями (настінні панелі, елементи декору), характеризуються міцністю, довговічністю та природним виглядом.

Енергоефективність та її вплив на акустику. Енергоефективність є важливим аспектом сучасного дизайну, спрямованим на зменшення енергоспоживання та впливу на довкілля. У контексті акустичного дизайну енергоефективність безпосередньо впливає на вибір матеріалів, технологій і проектних рішень, які можуть змінювати акустичні характеристики приміщення [8].

Взаємозв'язок енергоефективності та акустики полягає в тому, що багато енергоефективних матеріалів, таких як мінеральна вата, пінополіуретан або багатошарові панелі, мають високі звукопоглинальні властивості, а поліпшення

теплоізоляції приміщення сприяє зниженню шумового фону. Щільність конструкцій, як-от енергоефективні вікна, двері та стіни, створені для запобігання тепловтратам, також забезпечує високий рівень звукоізоляції. Інноваційні системи вентиляції та опалення, які працюють тихіше, ніж традиційні, зменшують шумовий вплив. Багатошарові матеріали, використовувані для енергозбереження, також ефективно поглинають чи ізолюють звук.

Принципи енергоефективного акустичного дизайну включають використання енергоефективних матеріалів із низькою теплопровідністю, які одночасно забезпечують звукоізоляцію (наприклад, мінеральна вата, пробка, екструдований пінополістирол). Інтеграція акустичних і теплоізоляційних функцій реалізується через застосування матеріалів, які поєднують обидві властивості, як-от багатошарові панелі та текстильні покриття. Оптимізація систем вентиляції передбачає встановлення тихих енергоефективних вентиляторів і кондиціонерів та розташування їх у звукоізольованих каналах. Максимізація природних джерел енергії здійснюється через використання природного освітлення та вентиляції для зменшення залежності від штучних джерел. Зменшення шумового впливу зовнішнього середовища досягається за рахунок використання енергоефективних вікон і дверей із звукоізоляційними властивостями.

Зниження вуглецевого сліду в акустичному дизайні. Зниження вуглецевого сліду в акустичному дизайні є важливим аспектом сучасного підходу до проектування приміщень. Це досягається за рахунок використання екологічно чистих матеріалів, оптимізації виробничих процесів, ефективного управління ресурсами та інтеграції енергоефективних рішень. Такий підхід сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля та підтримує принципи сталого розвитку.

Основні аспекти зниження вуглецевого сліду в акустичному дизайні включають вибір матеріалів із натуральних, швидковідновлюваних ресурсів,

таких як деревина, бамбук, пробка, або перероблених матеріалів (текстильні волокна, пластик, папір), уникнення енергоємних матеріалів, як-от традиційні пластики та метали. Оптимізація виробничих процесів передбачає зниження енергоспоживання під час виготовлення матеріалів і використання локальних ресурсів, що зменшує вуглецевий слід від транспортування. Енергоефективність матеріалів досягається шляхом інтеграції теплоізоляційних і акустичних властивостей, що знижує витрати енергії на опалення чи кондиціонування, а також впровадження пасивних рішень для зниження шуму. Використання довговічних матеріалів із тривалим життєвим циклом, які легко утилізуються або переробляються, зменшує екологічний вплив. Інтеграція екологічних стандартів, таких як LEED, BREEAM, FSC, гарантує екологічність матеріалів.

Методи зниження вуглецевого сліду включають вибір екологічних матеріалів, наприклад, деревини, сертифікованої за FSC, що забезпечує відповідальне управління лісами, пробки як натурального ресурсу з низьким вуглецевим слідом, переробленого текстилю чи пластику, що зменшує відходи. Зменшення транспортних витрат досягається використанням локальних матеріалів, раціональним плануванням логістики. Впровадження енергоефективних рішень охоплює використання акустичних матеріалів із теплоізоляційними властивостями та встановлення систем, що працюють на відновлюваних джерелах енергії (сонячні батареї, вітрогенератори). Повторне використання та переробка передбачають застосування модульних акустичних елементів, які легко демонтувати та використовувати повторно, а також використання матеріалів, що піддаються переробці.

Акустика та здоров'я: комфорт для користувачів. Акустика приміщення має значний вплив на фізичне і психологічне здоров'я людей. Комфортне акустичне середовище забезпечує покращення продуктивності, зниження стресу та сприяє загальному благополуччю користувачів. У сучасному дизайні важливо враховувати акустичні аспекти для створення просторів, які позитивно впливають на здоров'я [35].

Вплив акустики на здоров'я включає фізичний, психологічний і соціальний аспекти. Фізичний вплив шуму проявляється через головний біль, порушення сну, підвищення артеріального тиску, а постійний шум може спричинити серцево-судинні захворювання та порушення слуху. Психологічний вплив включає стрес, тривожність, роздратування, зниження концентрації та втому. Соціальний вплив виражається ускладненням спілкування через погану розбірливість мови, що впливає на роботу, навчання та соціальні взаємодії [28].

Компоненти акустичного комфорту охоплюють контроль рівня шуму (рекомендований рівень ≤ 35 дБ для офісів і навчальних приміщень, ≤ 30 дБ для житлових приміщень) [43], оптимізацію часу реверберації залежно від функції приміщення (0.6–0.8 секунд для класів і офісів, 1.5–2.0 секунд для концертних залів), забезпечення розбірливості мови для навчальних приміщень, театрів і конференц-залів, ізоляцію від зовнішнього шуму та рівномірний розподіл звуку для уникнення "мертвих зон" і зон надмірного підсилення.

Рішення для покращення акустичного комфорту включають використання звукопоглинальних матеріалів (панелі з мінеральної вати, акустична піна, текстильні елементи, такі як штори, килими, м'яка оббивка меблів), зменшення шуму технічного обладнання через тихі вентиляційні системи та розміщення обладнання в ізольованих зонах. Дифузія звуку досягається за допомогою дифузійних панелей, а звукоізоляція — через установлення звукоізольованих дверей, вікон, перегородок і багатошарових панелей. Оптимізація часу реверберації забезпечується використанням підвісних панелей, стельових плит і пористих покриттів.

Сертифікація "зелених" громадських приміщень. Сертифікація "зелених" громадських приміщень — це процес, спрямований на оцінку екологічної стійкості будівель за певними критеріями. Вона підтверджує відповідність будівель екологічним стандартам, спрямованим на мінімізацію негативного впливу на довкілля, ефективне використання ресурсів і створення комфортного середовища для користувачів. У контексті акустичного дизайну

такі сертифікації враховують не лише енергоефективність і використання екологічних матеріалів, але й акустичний комфорт.

Популярні системи сертифікації включають LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), міжнародну систему, розроблену USGBC, яка враховує акустичний комфорт, енергоефективність, якість повітря та використання екологічних матеріалів; BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), британську систему оцінки сталості будівель із фокусом на енергозбереження, якість матеріалів, акустику та комфорт; WELL Building Standard, орієнтовану на здоров'я і комфорт людей, що враховує акустику, освітлення, вентиляцію та загальне благополуччя; DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), німецьку систему сертифікації, яка оцінює екологічні, економічні та соціальні аспекти; та GREEN GLOBES, популярну в Канаді та США, яка оцінює ефективність використання ресурсів, комфорт і вплив на довкілля.

Критерії сертифікації, пов'язані з акустичним дизайном, включають акустичний комфорт (врахування рівня шуму, реверберації, звукоізоляції та оцінку матеріалів для поглинання і дифузії звуку), екологічність матеріалів (сертифіковані екологічні матеріали, як-от FSC для деревини, та використання перероблених або поновлюваних матеріалів), енергоефективність (матеріали, що поєднують акустичні та теплоізоляційні властивості), якість повітря (акустичні матеріали з низьким рівнем VOC), зручність для користувачів (розбірливість мови, рівномірний розподіл звуку, мінімізація шумів від вентиляційних систем).

Переваги сертифікації "зелених" приміщень включають екологічну стійкість (зменшення впливу на довкілля через раціональне використання ресурсів), покращення якості життя (забезпечення акустичного, температурного та візуального комфорту), економічні переваги (зменшення витрат на енергоспоживання, підвищення вартості нерухомості) та соціальну відповідальність (позитивний вплив на імідж організацій).

Інтеграція екологічних стандартів у предметно-просторовий дизайн.

Інтеграція екологічних стандартів у предметно-просторовий дизайн є ключовим елементом сучасного підходу до створення комфортних, функціональних і стійких приміщень. Вона включає використання екологічно чистих матеріалів, енергоефективних технологій та дотримання міжнародних екологічних стандартів, таких як LEED, BREEAM або DGNB. Такий підхід спрямований на мінімізацію негативного впливу на довкілля та покращення якості життя користувачів.

Основні принципи інтеграції екологічних стандартів включають раціональне використання ресурсів через оптимізацію споживання енергії, води та матеріалів, а також впровадження технологій повторного використання ресурсів. Використання екологічно чистих матеріалів передбачає застосування натуральних, перероблених і поновлюваних матеріалів із низьким вуглецевим слідом. Забезпечення комфорту для користувачів охоплює акустичний, температурний, світловий та ергономічний комфорт через безпечні матеріали із низьким рівнем VOC. Зменшення негативного впливу на довкілля досягається мінімізацією відходів і викидів, підтримкою циркулярної економіки шляхом переробки та повторного використання. Підтримка екологічної сертифікації гарантує дотримання стандартів, таких як LEED, BREEAM, WELL або DGNB.

Методи інтеграції екологічних стандартів включають вибір екологічних матеріалів із сертифікатами відповідності (FSC, Cradle to Cradle), використання натуральних і перероблених матеріалів для меблів, перегородок і панелей. Енергоефективність забезпечується через використання енергоефективних систем освітлення, опалення, кондиціонування, а також теплоізоляційних матеріалів із акустичними властивостями. Оптимізація акустичного середовища досягається завдяки інтеграції акустичних матеріалів, які відповідають екологічним стандартам, і використанню звукопоглинальних і звукоізоляційних матеріалів із натуральних компонентів. Мультифункціональність рішень включає меблі, які поєднують акустичні, ергономічні та естетичні функції, а

також інтеграцію природних елементів, таких як зелені стіни. Інтелектуальні системи управління освітленням, вентиляцією, звуком і температурою зменшують енергоспоживання завдяки автоматизації. Підтримка локальних виробників сприяє зменшенню вуглецевого сліду транспортування.

Висновки за розділом 2

У розділі 2.1 розглянуто, як дизайн середовища впливає на акустичні характеристики приміщення, враховуючи матеріали, геометрію простору, розташування меблів та обладнання, а також декоративні елементи. Комплексний підхід до проектування дозволяє створювати середовище, яке забезпечує оптимальний акустичний комфорт і функціональність. Матеріали інтер'єру, їх текстура і щільність суттєво впливають на звукопоглинання та звуковідбиття. Використання пористих матеріалів сприяє зменшенню реверберації, тоді як тверді поверхні забезпечують спрямоване відбиття звуку. Геометрія приміщення, особливо уникнення паралельних стін і використання вигнутих форм, дозволяє мінімізувати стоячі хвилі та нерівномірний розподіл звуку. Планування розташування меблів і обладнання також відіграє важливу роль, створюючи додаткові звукопоглинальні зони або, навпаки, відбиваючі поверхні. Декоративні елементи, такі як текстиль, картини або панелі, можуть одночасно виконувати естетичну та акустичну функції. Особливу увагу приділено взаємодії освітлення та кольору з акустичним сприйняттям. Хоча ці фактори безпосередньо не впливають на звук, вони формують атмосферу приміщення та його сприйняття користувачами, створюючи відчуття комфорту. Ергономічні рішення, такі як зонування простору та адаптивність елементів дизайну, сприяють підвищенню акустичного комфорту. Інтеграція акустичних технологій, наприклад, активних акустичних систем, у предметно-просторовий дизайн дозволяє адаптувати приміщення до змінних потреб і функцій, забезпечуючи гнучкість та універсальність. Таким чином, дизайн середовища є

невід'ємною частиною створення акустично збалансованого простору. Комплексний підхід, що враховує матеріали, геометрію, меблі та декоративні елементи, дозволяє досягти високого рівня акустичного комфорту, відповідаючи естетичним і функціональним вимогам.

Розділ 2.2 присвячений аналізу акустичних матеріалів, їх властивостей і застосування в дизайні приміщень. Акустичні матеріали є ключовим інструментом для створення комфортного звукового середовища, забезпечуючи баланс між звукопоглинанням, відбиттям і дифузією звуку. Розглянуто класифікацію акустичних матеріалів за їх функціональністю. Звукопоглинаючі матеріали, такі як акустичні панелі, текстиль і перфоровані елементи, знижують реверберацію та покращують розбірливість звуку. Звуковідбиваючі матеріали, зокрема скло, метал і тверді поверхні, використовуються для спрямування звукових хвиль у бажаному напрямку. Дифузійні матеріали сприяють рівномірному розподілу звуку, що особливо важливо у великих приміщеннях. Критерії вибору матеріалів враховують такі фактори, як функціональність, естетика, екологічність і відповідність бюджету. Комбінація різних типів матеріалів дозволяє досягти оптимального акустичного результату, враховуючи призначення та архітектурні особливості приміщення. Таким чином, акустичні матеріали є важливим компонентом предметно-просторового дизайну, який впливає на якість звукового середовища, естетичність та комфорт користувачів. Використання різноманітних матеріалів, від традиційних до інноваційних, дозволяє створювати ефективні акустичні рішення, що відповідають сучасним потребам і стандартам.

Розділ 2.3 висвітлює важливість екологічного підходу в проектуванні громадських приміщень, акцентуючи увагу на поєднанні екологічності, функціональності та акустичного комфорту. Екологічний дизайн базується на принципах сталого розвитку, враховуючи раціональне використання ресурсів, зменшення впливу на довкілля та створення комфортного середовища для користувачів. Використання натуральних і перероблених матеріалів у

акустичному дизайні сприяє зниженню вуглецевого сліду будівель та одночасно забезпечує високі акустичні характеристики. Натуральна деревина, текстиль, волокнисті матеріали на основі рослинних компонентів стають важливим елементом сучасного екологічного дизайну. Енергоефективність, зокрема правильне планування опалення, вентиляції та освітлення, позитивно впливає на акустичне середовище, знижуючи рівень шуму від технічного обладнання. Сертифікація "зелених" громадських приміщень, таких як LEED або BREEAM, визначає стандарти, які поєднують акустичні та екологічні вимоги, сприяючи створенню стійких архітектурних рішень. Особлива увага приділяється здоров'ю користувачів, адже акустичний комфорт є важливою складовою загального благополуччя. Зниження шумового забруднення та створення середовища з оптимальним рівнем звуку допомагає підтримувати продуктивність, концентрацію та психоемоційний стан. Інтеграція екологічних стандартів у предметно-просторовий дизайн є необхідною умовою для розвитку сучасної архітектури. Це дозволяє досягати балансу між естетикою, функціональністю та екологічністю, роблячи громадські приміщення привабливими та комфортними для користувачів. Таким чином, екологічний підхід у дизайні громадських приміщень є важливим фактором у забезпеченні сталого розвитку та створенні просторів, які одночасно відповідають вимогам естетики, функціональності, екології та акустичного комфорту.

РОЗДІЛ 3.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПІВ ДИЗАЙНУ В АКУСТИЧНІЙ КОРЕКЦІЇ ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ В УКРАЇНІ

3.1. Адаптація міжнародного досвіду вирішення проблем акустики до українських реалій

Аналіз міжнародних стандартів акустичного дизайну. Міжнародні стандарти акустичного дизайну встановлюють вимоги до якості звукового середовища в приміщеннях. Вони враховують аспекти звукопоглинання, звукоізоляції, часу реверберації, рівня шуму та розбірливості мови. Такі стандарти застосовуються для проектування різних типів приміщень, зокрема громадських, комерційних та житлових, і сприяють створенню комфортного акустичного середовища.

Основні міжнародні стандарти акустичного дизайну:

- ISO (International Organization for Standardization). Серія стандартів ISO 3382. Встановлює методи вимірювання часу реверберації та інших акустичних параметрів приміщень. ISO 3382-1: Акустика великих приміщень (театри, концертні зали), ISO 3382-2: Акустика звичайних приміщень (офіси, класні кімнати). ISO 140 - визначає методи вимірювання звукоізоляції між приміщеннями, ISO 717 - оцінює рівень звукоізоляції приміщень [33].

- DIN (Deutsches Institut für Normung): DIN 18041 - охоплює акустичні вимоги для невеликих і середніх приміщень (наприклад, класні кімнати, конференц-зали). Фокусує увагу на розбірливості мови та часу реверберації [25].

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Включає стандарти щодо контролю шуму від вентиляційних і кондиціонерних систем у будівлях [31].

- ANSI (American National Standards Institute), ANSI S12.60 - стандарти для забезпечення акустичного комфорту в навчальних приміщеннях. Визначає максимально допустимий рівень шуму, час реверберації та звукоізоляцію.

- BS (British Standards), BS 8233 - надає рекомендації щодо контролю рівня шуму та створення комфортного акустичного середовища у будівлях.

- WELL Building Standard - фокусує увагу на акустичному комфорті як частині загального здоров'я та благополуччя користувачів.

Основні вимоги міжнародних стандартів:

- Час реверберації (RT). Оптимальний час залежить від типу приміщення. Для класних кімнат: $\leq 0.6-0.8$ с, для концертних залів: $1.5-2.0$ с. Час реверберації має бути адаптований до функції простору.

- Розбірливість мови. Висока розбірливість необхідна для навчальних закладів, конференц-залів та офісів. Показник Speech Transmission Index (STI) повинен бути ≥ 0.6 для гарної розбірливості [36].

- Рівень шуму. Максимально допустимий рівень шуму: офіси: ≤ 35 дБ(А), школи та дитячі садки: $\leq 30-35$ дБ(А), житлові приміщення: ≤ 30 дБ(А).

- Звукоізоляція. Між приміщеннями оцінюється за показником R_w (Weighted Sound Reduction Index). Для житлових приміщень: ≥ 50 дБ. Для громадських приміщень: ≥ 55 дБ.

- Рівномірність звукового середовища. Забезпечення відсутності "мертвих зон" або зон із надмірним підсиленням звуку.

Виклики при адаптації міжнародних стандартів: різниця в кліматичних і будівельних умовах (потрібна адаптація стандартів до місцевих умов), обмеженість доступу до матеріалів (не всі рекомендовані матеріали можуть бути доступними в локальному контексті), вартість впровадження (виконання вимог міжнародних стандартів може потребувати додаткових витрат).

Приклади успішних проектів громадських приміщень за кордоном. Успішні проекти громадських приміщень за кордоном демонструють інтеграцію передових технологій, акустичних матеріалів та інноваційних дизайнерських

рішень, що забезпечують високий рівень акустичного комфорту. Ці проекти є прикладами того, як грамотний акустичний дизайн може поєднувати функціональність, естетику та відповідність екологічним стандартам.

Концертний зал Elbphilharmonie (Гамбург, Німеччина) (рис.3.1). Дизайнерською родзинкою стала унікальна "біла шкіра" (white skin) – спеціально розроблене акустичне покриття з гіпсових волокон, що забезпечує ідеальний розподіл звукових хвиль. Архітектор Herzog & de Meuron, акустик Ясухіса Тойота. Серед акустичних рішень - дифузійні панелі, що забезпечують рівномірний розподіл звуку у великому просторі. Реверберація оптимізована для оркестрової та камерної музики. У результаті - простір із бездоганною акустикою, який отримав високу оцінку музикантів і слухачів.



Рис. 3.1 - Концертний зал Elbphilharmonie

Конференц-центр Qatar National Convention Centre (Доха, Катар). Один із найбільш енергоефективних конференц-центрів у світі, сертифікований за стандартом LEED Gold. Розроблено для проведення конференцій, виставок і концертів. Використані підвісні акустичні панелі для контролю реверберації та звукоізоляція між залами для уникнення перехресного шуму. Як результат - простір із чудовою акустикою, що дозволяє проводити заходи різного формату.



Рис. 3.2 - Конференц-центр Qatar National Convention Centre

Штаб-квартира компанії Google (Mountain View, США). Офісний простір, спроектований із врахуванням акустичного та екологічного комфорту. Орієнтація на креативність і продуктивність співробітників. Акустичні рішення:

використання звукопоглинальних перегородок і підвісних панелей для зменшення рівня шуму в відкритих просторах, інтеграція натуральних матеріалів, таких як деревина та текстиль, для забезпечення естетики та функціональності. Таким чином, організовано простір, що сприяє концентрації та ефективній роботі в умовах мінімального шуму.

Музей Лувр Абу-Дабі — поєднує в собі естетику, інноваційний дизайн і продумані акустичні рішення. Цей проект був розроблений французьким архітектором Жаном Нувелем і відкритий у 2017 році (рис 3.3).

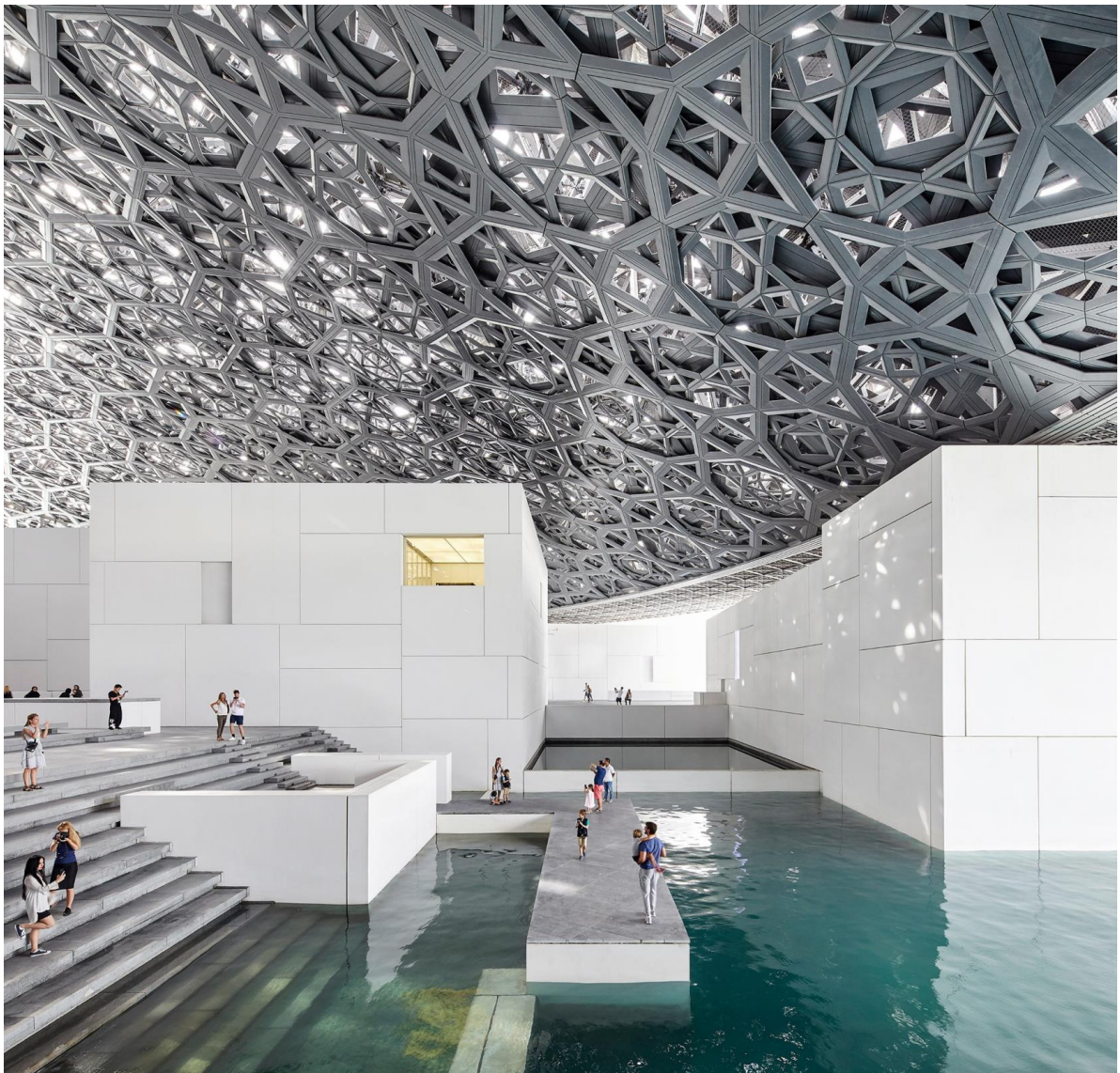


Рис. 3.3 - Музей Лувр Абу-Дабі

Музей став культурним мостом між Сходом і Заходом, а його дизайн і акустика відіграють ключову роль у створенні унікальної атмосфери. Складна структура купола діє як природний акустичний дифузор, розсіюючи звук рівномірно по відкритих просторах. Це забезпечує комфортне звукове середовище навіть у зовнішніх частинах музею. Великий простір під куполом, де взаємодіють вода, вітер і люди, потребував ретельного підходу до контролю шуму. Високоякісні звукопоглинальні матеріали інтегровані в підлогу та стіни, щоб мінімізувати реверберацію. Зали музею мають спеціальні стелі та стінові панелі з акустичними властивостями, які поглинають звук і запобігають його відбиттю. Це забезпечує комфортне середовище для сприйняття мистецьких експонатів без акустичних перешкод. Музей захищений від шуму ззовні за рахунок багат шарових вікон і дверей із високим рівнем звукоізоляції. Використання каменю та металу для акустичного балансу. Деякі з поверхонь мають мікроперфорацію, що сприяє поглинанню звуку. Розташування музею на воді створює природний шумовий фон, який гармонійно доповнює акустичне середовище. Звуковий ландшафт ретельно спроектований, щоб уникнути відбиттів або фокусування звуку.

Школа Evelyn Grace Academy, розташована в Лондоні, Великобританія, була завершена у 2010 році. Проект розробила архітектурна студія Zaha Hadid Architects під керівництвом відомої архітекторки Заха Хадід. Будівля є прикладом сучасного освітнього простору, де дизайн і функціональність тісно пов'язані з потребами учнів. Архітектура будівлі вирізняється динамічними формами та чіткими лініями, які створюють відчуття руху та простору. Вона спеціально спроектована для максимального використання обмеженої площі міського середовища, забезпечуючи при цьому комфорт і зручність. Складна багаторівнева структура будівлі поділяє простір на окремі навчальні блоки, що відповідають віковим групам і навчальним потребам. Акустичні рішення були особливо важливими для створення сприятливого середовища для навчання. У класних кімнатах і коридорах використано перфоровані панелі, які зменшують

рівень шуму та реверберацію, сприяючи чіткій розбірливості мови [30]. Спеціальні акустичні стелі та підвісні елементи допомагають контролювати звук у великих залах і спортивних приміщеннях. Звукоізоляція між навчальними блоками дозволяє уникнути перешкод від сусідніх класів, що особливо важливо для активних занять і творчих просторів. Завдяки таким рішенням школа створює комфортне середовище, яке підтримує концентрацію учнів і сприяє продуктивному навчанню [26].

Концертний зал Walt Disney Concert Hall (рис.3.4) у Лос-Анджелесі був відкритий у 2003 році. Архітектором цього унікального проекту став Френк Гері, а за акустику відповідав відомий інженер Ясукіца Тойота з компанії Nagata Acoustics.

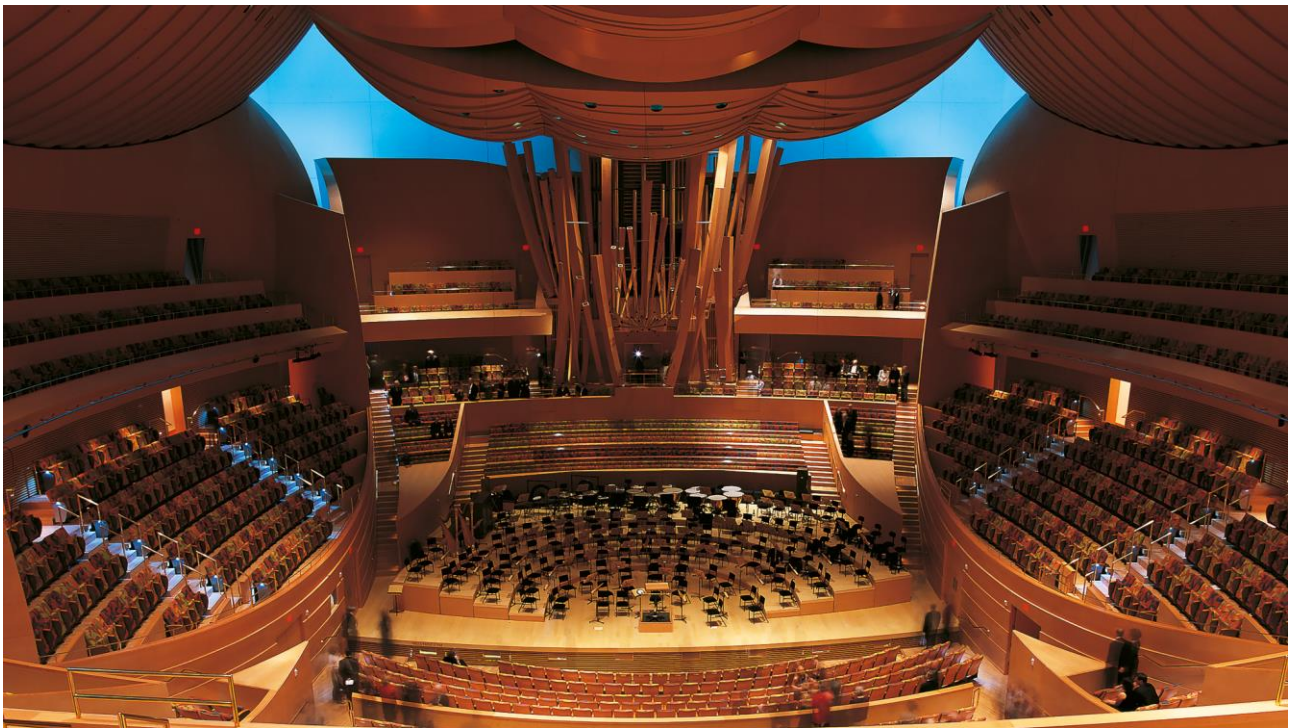


Рис. 3.4 - Концертний зал Walt Disney Concert Hall

Дизайн будівлі вирізняється сміливими формами та використанням металевих поверхонь, що стали впізнаваною рисою архітектурного стилю Френка Гері. Хвилясті вигини фасаду, виконані з нержавіючої сталі, створюють враження руху, динаміки та сучасності. Усередині залу простір наповнений

теплою атмосферою завдяки використанню натуральної деревини для обшивки стін, стелі та сцени. Особливістю дизайну є "вітрильна" форма залу, що оточує сцену, дозволяючи глядачам відчувати себе ближчими до виконавців, незалежно від місця у залі. Акустика залу розроблена з урахуванням найвищих стандартів. Для забезпечення ідеального звучання використано спеціально підібрані дерев'яні панелі, які відображають звук, створюючи насичене і природне звучання. Стеля виконана з матеріалів, які забезпечують рівномірну дифузію звукових хвиль. Величезна органічна форма даху та стін працює як резонатор, підсилюючи акустичний ефект. Завдяки роботі Ясухіси Тойоти, зала має виняткову здатність передавати чистоту та багатство звуку, що робить її одним із найкращих концертних майданчиків у світі.

Особливості адаптації матеріалів та технологій в українському контексті. Адаптація матеріалів і технологій в українському контексті вимагає врахування багатьох факторів, таких як кліматичні умови, економічна ситуація та доступність інноваційних рішень. Через складну логістику й високу вартість імпортованих матеріалів часто виникає необхідність пошуку місцевих альтернатив. Це стимулює використання ресурсів українського виробництва, наприклад, деревини, пробки або переробленого текстилю, які можуть замінити дорогі зарубіжні аналоги. Клімат України з різкими перепадами температур і високою вологістю впливає на вибір матеріалів. Для забезпечення довговічності вони повинні бути стійкими до цих умов. Наприклад, утеплювачі, що також мають акустичні властивості, повинні витримувати екстремальні температурні режими. Окрім цього, українські будівельні норми та стандарти, які часто відрізняються від міжнародних, ускладнюють безпосереднє впровадження зарубіжних рішень. Це змушує адаптувати технології під місцеві регуляції, зберігаючи при цьому їх ефективність. Екологічні матеріали також набувають популярності в Україні. Наприклад, локальне виробництво матеріалів із волокон льону чи конопель відкриває можливості для зниження залежності від імпорту, одночасно підтримуючи сталий розвиток. Використання місцевих ресурсів у поєднанні з

інноваційними технологіями, такими як цифрове моделювання акустики, може суттєво покращити якість проєктів. Хоча впровадження таких технологій поки що обмежене через дефіцит кваліфікованих кадрів, це створює потенціал для їх розвитку в майбутньому. Таким чином, адаптація матеріалів і технологій до українських умов потребує гнучкого підходу. Баланс між якістю, доступністю та відповідністю місцевим потребам дозволяє створювати сучасні, функціональні й стійкі рішення, які враховують локальні особливості й відповідають глобальним тенденціям.

Вплив кліматичних умов на акустичний дизайн в Україні. Кліматичні умови в Україні мають значний вплив на проектування акустичного середовища в приміщеннях. З огляду на різкі перепади температур між сезонами, високу вологість у деяких регіонах і сильні вітри, акустичний дизайн повинен враховувати ці фактори, щоб забезпечити довговічність матеріалів і стабільність акустичних характеристик.

Зимові температури в Україні можуть спричиняти термічне розширення або стиснення будівельних матеріалів, що впливає на герметичність конструкцій і звукоізоляцію. Наприклад, вікна чи двері, які недостатньо щільно прилягають до рам, можуть пропускати шум із зовнішнього середовища, знижуючи комфорт у приміщенні. Для уникнення цього важливо використовувати високоякісні матеріали, стійкі до температурних змін, зокрема багатошарові вікна зі звукоізоляційними властивостями.

Висока вологість, характерна для південних і західних регіонів України, також впливає на вибір матеріалів. Наприклад, дерев'яні акустичні панелі чи текстильні елементи можуть вбирати вологу, що змінює їхні звукопоглинальні властивості. Це створює потребу в додатковій обробці матеріалів або заміні їх на більш стійкі альтернативи, такі як вологостійкі панелі з перфорованого металу чи спеціальних композитів.

Шумове забруднення від сильних вітрів або дощу також може бути серйозною проблемою для приміщень із поганою зовнішньою звукоізоляцією. У

таких випадках необхідно використовувати спеціальні фасадні матеріали, які не лише зменшують тепловтрати, а й ефективно блокують шум. Це особливо актуально для приміщень, розташованих у багатоповерхових будівлях або на відкритій місцевості. Вибір матеріалів та їхня адаптація до умов експлуатації мають критичне значення для забезпечення не лише акустичного комфорту, а й загальної функціональності приміщень.

Реалізація принципів екологічного розвитку в українських проектах.

Реалізація принципів екологічного розвитку в українських проектах стає все більш актуальною, особливо в умовах глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату та виснаженням природних ресурсів. У сучасних українських будівельних та дизайнерських проектах екологічні принципи поступово інтегруються, хоча цей процес потребує значної адаптації до місцевих умов.

Все більше проектів звертають увагу на використання екологічно чистих матеріалів, таких як натуральна деревина, льон чи перероблений текстиль, які є доступними в Україні. Такі матеріали не лише знижують вуглецевий слід, а й забезпечують високу функціональність у дизайні приміщень. Наприклад, використання панелей із льонових волокон може поєднувати акустичні та теплоізоляційні властивості, зберігаючи при цьому природну естетику.

Енергоефективність також стала важливим аспектом екологічних проектів в Україні. Інтеграція систем утеплення, енергоощадного освітлення та вентиляції, а також використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, дозволяють не лише знизити витрати, але й мінімізувати вплив на навколишнє середовище. Наприклад, в сучасних офісних і освітніх просторах активно впроваджуються системи "розумного управління" для оптимізації енергоспоживання та створення комфортного середовища.

Важливим аспектом є також збереження культурної спадщини, яка часто переплітається з екологічним підходом. Відновлення історичних будівель із використанням сучасних еко-матеріалів демонструє гармонійне поєднання

традицій та інновацій. Це дозволяє не лише зберегти архітектурну автентичність, але й адаптувати такі об'єкти до сучасних стандартів енергоефективності та комфорту. Принципи екологічного розвитку в українських проектах поступово інтегруються завдяки поєднанню локальних матеріалів, інноваційних технологій та глобальних тенденцій сталого розвитку. Цей напрямок набирає обертів і має великий потенціал для покращення якості життя та збереження природних ресурсів у країні.

Проблеми та виклики імплементації іноземного досвіду. Імплементація іноземного досвіду в українських проектах стикається з рядом проблем і викликів, які впливають на швидкість і ефективність цього процесу. Одним із ключових питань є різниця в економічних можливостях. Багато передових рішень, які успішно застосовуються за кордоном, потребують значних фінансових ресурсів, що може бути недосяжним для багатьох українських проектів через обмежені бюджети. Висока вартість імпортованих матеріалів і технологій часто стає бар'єром для їх використання.

Ще однією проблемою є різниця у будівельних нормах і стандартах. Українські ДБН (Державні будівельні норми) не завжди відповідають міжнародним стандартам, таким як ISO чи LEED. Це ускладнює безпосереднє впровадження іноземних рішень без адаптації до місцевих регуляцій. Крім того, кліматичні особливості України, зокрема різкі перепади температур і висока вологість у деяких регіонах, потребують адаптації матеріалів і технологій до цих умов.

Не менш важливим викликом є недостатня підготовка фахівців. Для успішної імплементації передових технологій потрібні кваліфіковані кадри, які мають досвід роботи з інноваційними матеріалами та розуміння принципів екологічного дизайну. На жаль, освітня база в Україні ще не повністю відповідає потребам сучасного ринку, що змушує компанії витратити час і ресурси на додаткове навчання персоналу.

Логістика і доступність технологій також є значним викликом. Багато матеріалів і обладнання, які широко використовуються в інших країнах, недоступні в Україні через відсутність локальних постачальників або високі витрати на транспортування. Це змушує шукати альтернативи, які не завжди мають такі ж високі технічні характеристики.

Потенціал інтеграції міжнародних рішень у місцеві архітектурні традиції. Інтеграція міжнародних рішень у місцеві архітектурні традиції має значний потенціал для розвитку української архітектури, створюючи гармонійне поєднання сучасних технологій і багатой культурної спадщини. Українські архітектурні традиції, з їхнім акцентом на натуральні матеріали, декоративні елементи та гармонію з природою, є унікальним підґрунтям для впровадження інноваційних підходів, які пропонують глобальні тенденції.

Одним із головних напрямків такої інтеграції є адаптація сучасних екологічних технологій до локальних умов. Використання енергоефективних матеріалів, інтелектуальних систем управління будівлями та передових акустичних рішень може не лише підвищити функціональність споруд, а й зберегти їхню автентичність. Наприклад, інтеграція зелених дахів або вертикальних садів у традиційну архітектуру дозволяє покращити енергоефективність будівель, не порушуючи їхнього зовнішнього вигляду.

Ще одним важливим аспектом є відновлення та модернізація історичних будівель. Поєднання сучасних матеріалів, таких як скло або композитні панелі, із традиційними елементами, такими як камінь чи деревина, відкриває нові можливості для реставрації. Це дозволяє зберігати культурну спадщину, водночас пристосовуючи будівлі до сучасних потреб і стандартів.

Потенціал інтеграції також виявляється у розвитку громадських просторів. Створення багатофункціональних площ, парків і зон відпочинку із використанням передових міжнародних практик може значно покращити якість міського середовища. При цьому врахування місцевих традицій, таких як

відкриті тераси чи елементи народного декору, робить ці простори більш впізнаваними та привабливими для громади.

3.2. Рекомендації щодо використання сучасних матеріалів і технологій, доступних на українському ринку

Сучасні звукопоглинаючі матеріали на українському ринку. Сучасні звукопоглинаючі матеріали, представлені на українському ринку, стають все більш різноманітними та доступними, відповідаючи потребам як житлових, так і громадських приміщень. Вони використовуються для зменшення реверберації, зниження шуму та створення комфортного акустичного середовища. Усі ці матеріали можна умовно поділити на традиційні та інноваційні, кожен із яких має свої переваги залежно від завдань проекту [9]. Одним із найпопулярніших рішень залишається мінеральна вата, яка використовується у вигляді панелей або рулонів. Вона поєднує чудові звукопоглинальні властивості з теплоізоляційними, що робить її універсальним матеріалом для багатьох приміщень. Такі панелі часто застосовуються в громадських просторах, наприклад, у школах або офісах, де важливо контролювати шум і створювати комфортне середовище для роботи або навчання. Окрім традиційних матеріалів, на ринку з'являються інноваційні рішення, які відрізняються як зовнішнім виглядом, так і функціональністю. Наприклад, акустичні панелі з переробленого текстилю або полімерів, які не лише ефективно поглинають звук, а й відповідають сучасним екологічним стандартам. Такі матеріали часто використовуються в сучасних офісах або креативних просторах, адже вони не лише виконують функціональне завдання, а й додають естетичної привабливості. Також варто зазначити зростаючий інтерес до природних звукопоглинальних матеріалів, таких як пробка чи волокна льону. Вони активно використовуються в проектах, орієнтованих на екологічність та натуральність, і добре зарекомендували себе у приватних житлових приміщеннях та невеликих

офісах. Завдяки простоті монтажу та приємній текстурі такі матеріали набувають популярності серед дизайнерів.

Розглянемо конкретні матеріали:

Панелі з мінеральної вати:

- Izovat Acoustic (Україна) – панелі на основі базальтової мінеральної вати, що поєднують звуко- та теплоізоляційні властивості. Використовуються для стін, перегородок та підвісних стель.

- Rockwool Acoustic Panels (Данія) – ефективне рішення для звукопоглинання, широко застосовується у громадських та житлових приміщеннях.

Акустичні поролонові панелі:

- Ecostrum Acoustic Foam (Україна) – популярний вибір для студій звукозапису, домашніх кінотеатрів чи офісів. Ці панелі забезпечують якісне поглинання середніх і високих частот.

- Auralex Acoustics (США) – імпортований бренд, який пропонує широкий асортимент акустичних поролонів для професійних і побутових потреб.

Дерев'яні акустичні панелі:

- Akustik+ Panels (Німеччина) – перфоровані панелі, що виготовляються з натуральної деревини. Вони мають високу естетичну цінність і чудово поглинають звук, особливо у громадських приміщеннях.

- DomAkustik (Україна) – локальний виробник дерев'яних панелей із перфорацією, орієнтований на екологічність і естетику.

Натуральні матеріали:

- Acoustic Cork (Португалія) – панелі з пробки, які є екологічними, довговічними і мають високі звукопоглинальні властивості. Використовуються як для стін, так і для підлоги.

- Ляні панелі "ЕкоБуд" (Україна) – матеріал із натурального льону, що має звукопоглинальні та теплоізоляційні властивості. Це доступний і екологічний вибір для житлових приміщень.

Перероблені матеріали:

- Echosorb Panels (ЄС) – акустичні панелі, виготовлені з переробленого текстилю. Це інноваційне рішення, яке ідеально підходить для креативних просторів, офісів і навчальних закладів.

- ReFelt Acoustic (Нідерланди) – панелі на основі переробленого поліестеру, які мають стильний вигляд і добре працюють для офісних приміщень.

Інноваційні рішення:

- Vicoustic Flexi Panel (Португалія) – поєднання естетичного дизайну та акустичних характеристик. Використовуються для студій звукозапису, домашніх кінотеатрів або сучасних офісів.

- Тканинні акустичні панелі Acoustic Group (ЄС) – елегантні тканинні панелі для стін і стель, доступні в широкій палітрі кольорів, що дозволяє інтегрувати їх у будь-який дизайн.

Гіпсокартон із акустичними властивостями

- Knauf Acoustic Boards (Німеччина) – гіпсокартонні панелі з перфорацією, які мають вбудовані звукопоглинальні елементи.

- Gyproc Acoustic Panels (Франція) – спеціальні панелі для стель і стін, що поєднують звукоізоляцію та звукопоглинання.

Звукоізоляційні рішення для громадських приміщень. Звукоізоляційні рішення для громадських приміщень на українському ринку представлені широким асортиментом матеріалів та технологій, які дозволяють ефективно знижувати рівень шуму й забезпечувати акустичний комфорт. Такі рішення знаходять застосування в офісах, школах, лікарнях, театрах, ресторанах та інших просторах, де важливо зменшити шумовий фон та забезпечити конфіденційність.

Одним із найбільш поширених рішень є використання акустичних плит і панелей на основі мінеральної вати. Такі матеріали, як Rockwool Acoustic або Izovat Acoustic, забезпечують високий рівень звукопоглинання та звукоізоляції. Вони підходять для створення перегородок, обшивки стін або підвісних стель у громадських приміщеннях. Їхня популярність пояснюється не лише ефективністю, але й відносно доступною вартістю.

Для звукоізоляції між приміщеннями активно використовуються гіпсокартонні системи з акустичними властивостями, наприклад, Knauf Acoustic чи Gyproc Acoustic. Ці панелі, у поєднанні зі звукопоглинальними наповнювачами, забезпечують зменшення проникнення звуку через стіни чи стелі. Вони часто застосовуються в офісах відкритого типу або багатофункціональних просторах, де важливо створити ізольовані зони.

На ринку також представлені акустичні мембрани, такі як Tecsound. Цей матеріал використовується для покриття стін, стель або підлоги й дозволяє суттєво зменшити передачу звуку через конструкції. Мембрани особливо ефективні для приміщень із високими вимогами до звукоізоляції, наприклад, студій звукозапису чи конференц-залів.

Для підлоги пропонуються амортизуючі підкладки, наприклад, Silent Running чи Isolgomma, які зменшують передачу ударного шуму. Це актуально для багатоповерхових громадських будівель, де шум від руху людей чи меблів може створювати дискомфорт.

Сучасні рішення також включають звукоізоляційні двері та вікна. Наприклад, українські виробники, такі як Steko або WDS, пропонують багат шарові склопакети зі спеціальними герметиками, які знижують проникнення зовнішнього шуму. Ці рішення широко використовуються у громадських приміщеннях, розташованих у шумних районах міста.

Дифузійні панелі та їх адаптація для місцевих проектів. Дифузійні панелі на українському ринку стають все більш популярними як ефективний

інструмент для покращення акустики у громадських і приватних приміщеннях. Вони забезпечують рівномірний розподіл звукових хвиль, зменшують реверберацію і допомагають уникати "мертвих зон", створюючи комфортне акустичне середовище. На українському ринку доступні як продукція локальних виробників, так і імпорتنі аналоги, які можна адаптувати для місцевих проектів.

Серед локальних виробників, компанії DomAkustik пропонують панелі з натуральної деревини, які поєднують акустичні властивості з естетичним дизайном. Їхні продукти відзначаються доступною вартістю та можливістю налаштування під індивідуальні проекти. Дерев'яні панелі з геометричною перфорацією добре працюють у невеликих приміщеннях, таких як офіси чи домашні кінотеатри, і можуть стати стильним елементом інтер'єру.

Імпорتنі аналоги, такі як панелі від Vicoustic (Португалія) чи Echophon (Швеція), пропонують широкий вибір матеріалів і дизайнів, включаючи полімерні або композитні панелі зі складною геометрією. Ці рішення зазвичай дорожчі, але забезпечують виняткову ефективність і використовуються у висококласних проектах, таких як концертні зали чи креативні простори. Їх адаптація до місцевих проектів часто включає вибір матеріалів, які витримують українські кліматичні умови, або налаштування розмірів під специфіку приміщення.

Важливою перевагою локальних рішень є можливість використання місцевих матеріалів, таких як фанера, натуральне дерево або перфорований гіпсокартон. Такі панелі можуть виготовлятися за індивідуальними замовленнями, що дозволяє інтегрувати їх у дизайн конкретного приміщення. Водночас, для реалізації складних проектів, де потрібні найвищі акустичні стандарти, імпорتنі панелі є оптимальним вибором.

Для адаптації дифузійних панелей у місцевих проектах важливо враховувати особливості приміщень, функціональне призначення та бюджет. Наприклад, у невеликих залах чи конференц-румах можуть використовуватися локально вироблені панелі з простим дизайном, які забезпечують базовий рівень

акустичного комфорту. Водночас, для великих концертних залів чи студій звукозапису доцільно обирати високотехнологічні імпорتنі рішення.

Інноваційні акустичні системи та обладнання. Інноваційні акустичні системи та обладнання відкривають нові горизонти для створення комфортного звукового середовища в приміщеннях різного типу. Сучасні технології дозволяють не лише вирішувати класичні завдання, як-от зменшення шуму чи контроль реверберації, але й забезпечують інтелектуальне управління звуком, що підвищує функціональність простору. Одним із таких інновацій є активні акустичні системи, які використовуються для динамічної адаптації звукового середовища до змінних умов у приміщенні. Такі системи, як правило, включають цифрові алгоритми для обробки звуку, які можуть налаштовувати реверберацію, балансувати рівень гучності або компенсувати шум у реальному часі. Це особливо актуально для багатофункціональних просторів, наприклад, конференц-залів або театрів, де акустичні вимоги можуть змінюватися залежно від події. Ще одним прикладом є направлені акустичні системи, які дозволяють створювати зони з локалізованим звуком. Це рішення широко застосовується у відкритих офісах, музеях чи виставкових центрах, де важливо забезпечити звуковий комфорт, не порушуючи тишу в інших частинах приміщення. Завдяки цій технології звук передається лише у певній зоні, що зменшує загальний шумовий фон. Інновації також стосуються матеріалів, що використовуються в акустичних системах. Наприклад, панелі зі змінною структурою поверхні дозволяють комбінувати звукопоглинальні та звуковідбиваючі функції, забезпечуючи гнучкість у налаштуванні акустичних параметрів. Такі системи можуть бути автоматизованими, що дозволяє користувачам легко змінювати акустичні характеристики приміщення. Поєднання таких технологій із системами "розумного управління" робить акустичне середовище не лише комфортним, а й інтерактивним. Завдяки мобільним додаткам або іншим інтерфейсам користувачі можуть дистанційно керувати акустиккою приміщення, налаштовуючи параметри під конкретні завдання чи умови. Це забезпечує

максимальну зручність і функціональність, що особливо важливо для сучасних громадських приміщень.

Кілька прикладів виробників таких систем:

- Audientec (Україна). Місцевий виробник, який пропонує адаптивні акустичні панелі та інші рішення, орієнтовані на потреби українського ринку, включаючи економічні проекти для офісів і навчальних закладів.

- Meyer Sound (США). Компанія є лідером у створенні високоякісних акустичних систем для концертних залів, театрів і громадських просторів. Їхні системи Constellation активно використовуються для створення адаптивної акустики в приміщеннях.

- Bose Professional (США). Відомі своїми направленими акустичними системами, які широко застосовуються у виставкових центрах, музеях і торгових залах. Bose створює акустичні рішення з фокусуванням звуку на певних зонах.

- d&b audiotechnik (Німеччина). Компанія пропонує інноваційні акустичні системи для великих концертних просторів і театрів. Їхні системи Soundscape забезпечують тривимірне просторове звучання з використанням цифрових алгоритмів.

- JBL Professional (США). JBL спеціалізується на створенні як професійних акустичних систем для великих просторів, так і локалізованих звукових рішень для громадських приміщень. Їхні технології Adaptive Sound оптимізують звукове середовище в реальному часі.

- Vicoustic (Португалія). Цей виробник спеціалізується на акустичних панелях із змінною структурою поверхні. Їхні рішення поєднують звукопоглинання і дифузю, підходячи для багатofункціональних просторів.

- L-Acoustics (Франція). Один із провідних брендів у галузі професійного звуку. Їхні інноваційні системи активно використовуються для концертів, театрів і громадських просторів, забезпечуючи виняткову якість звуку.

- Genelec (Фінляндія). Виробник, який фокусується на направлених акустичних рішеннях для студій, офісів і виставкових залів. Їхні активні системи поєднують інноваційні технології зі стильним дизайном.

Екологічні матеріали для акустичної корекції. На українському ринку з'являється все більше екологічних матеріалів для акустичної корекції, які відповідають сучасним вимогам до якості та сталого розвитку. Одним із найбільш популярних матеріалів є деревина, яка використовується для створення акустичних панелей та елементів інтер'єру. Вироби з натуральної деревини, зокрема панелі з перфорацією чи різьбленням, добре поглинають звук і водночас підкреслюють природну естетику приміщення. Українські виробники часто пропонують такі панелі, виготовлені з локальної сировини, що знижує вуглецевий слід виробництва. Серед інших матеріалів варто відзначити пробку, яка стає все більш популярною завдяки своїм екологічним та звукопоглинальним властивостям. Вона чудово підходить для використання в офісах, навчальних закладах чи житлових приміщеннях. Пробкові панелі легко встановлюються та забезпечують високу ефективність у зменшенні рівня шуму. Крім того, цей матеріал повністю поновлюваний, що робить його ідеальним вибором для екологічних проектів. Унікальною для українського ринку є продукція з волокон льону чи конопель, які мають чудові акустичні характеристики та підходять для різних типів приміщень. Ці матеріали є натуральними, доступними та мають значний потенціал для використання в проектах, орієнтованих на екологічність. Наприклад, панелі з льону не лише поглинають звук, а й забезпечують теплоізоляцію, що робить їх універсальним рішенням. Також зростає популярність матеріалів із переробленого текстилю чи пластику, які чудово поєднують сучасний дизайн і високу функціональність. Такі акустичні панелі зазвичай використовуються в офісах, креативних просторах чи громадських приміщеннях. Вироби з перероблених матеріалів підтримують принципи циркулярної економіки та сприяють зниженню негативного впливу на довкілля.

Ось кілька прикладів виробників екологічних матеріалів для акустичної корекції, які доступні на українському ринку, та їхні продукти.

Панелі з натуральної деревини:

- DomAkustik (Україна) – виробляє дерев'яні акустичні панелі з перфорацією та декоративними елементами, що підходять для офісів, залів і житлових приміщень.

- SolidWood (Україна) – пропонує натуральні дерев'яні панелі для стін і стель, які поєднують акустичні властивості з естетикою.

Пробкові матеріали:

- CorkStyle (Україна) – спеціалізується на пробкових панелях для стін і підлог, які мають звукопоглинальні властивості й доступні в широкому асортименті текстур і кольорів.

- Thermocork (Португалія, дистрибуція в Україні) – натуральна пробка для акустичних рішень, яка застосовується у житлових і комерційних приміщеннях.

Волокна льону та конопель:

- ЕкоБуд (Україна) – виготовляє акустичні панелі з волокон льону, які підходять для житлових приміщень і офісів.

- Hempire UA (Україна) – пропонує акустичні панелі з волокон конопель, які мають високу екологічність і звукопоглинальні характеристики.

Перероблені матеріали:

- ReFelt (Нідерланди, дистрибуція в Україні) – акустичні панелі з переробленого текстилю, які мають сучасний вигляд і широко використовуються в офісах і громадських просторах.

- Echophon (Швеція, дистрибуція в Україні) – панелі з переробленого скловолокна, які забезпечують високу якість звукопоглинання та відповідають екологічним стандартам.

Інші інноваційні матеріали:

- Vicoustic (Португалія, дистрибуція в Україні) – пропонує естетично привабливі акустичні панелі, виготовлені з переробленого пластику та інших екологічних матеріалів.

- Knauf Acoustic (Німеччина, дистрибуція в Україні) – акустичні гіпсокартонні панелі з перфорацією, які поєднують екологічність і функціональність.

Локальні виробники та імпортні аналоги: порівняльний аналіз.

Локальні виробники та імпортні аналоги акустичних матеріалів мають свої переваги та недоліки, які впливають на вибір матеріалів для акустичної корекції в українських проектах. Основні відмінності між цими двома категоріями зумовлені якістю продукції, ціною, доступністю, екологічністю та можливістю адаптації до місцевих умов. Локальні виробники акустичних матеріалів, такі як DomAkustik або ЕкоБуд, пропонують доступніші за ціною рішення, оскільки їхня продукція виготовляється з місцевих сировинних ресурсів, таких як деревина, льон чи коноплі. Це знижує вартість транспортування і робить такі матеріали більш економічно вигідними для проектів із обмеженим бюджетом. Крім того, локальні виробники краще розуміють специфіку кліматичних умов України, що дозволяє їм адаптувати свої продукти для довговічності в умовах високої вологості чи перепадів температур. Проте, за якістю та інноваційністю їх продукція часто поступається деяким імпортним аналогам, які мають більший досвід у впровадженні передових технологій. Імпортні аналоги, наприклад, Vicoustic (Португалія) або Echophon (Швеція), зазвичай відзначаються більш високими технічними характеристиками та різноманітністю дизайнерських рішень. Ці матеріали часто мають сертифікацію за міжнародними стандартами, такими як LEED чи ISO, що робить їх більш привабливими для преміальних проектів або тих, які орієнтовані на експортний ринок. Однак імпортна продукція значно дорожча, і її логістика може бути ускладненою через економічні чи політичні фактори. Крім того, не всі імпортні матеріали підходять до специфічних умов експлуатації в Україні без додаткової адаптації. З точки

зору екологічності, локальні виробники часто пропонують рішення з природних і поновлюваних ресурсів, що знижує вуглецевий слід і відповідає сучасним екотрендам. Водночас імпорتنі матеріали можуть використовувати інноваційні підходи, наприклад, перероблений текстиль чи пластик, що також сприяє збереженню довкілля, але вимагає ретельного вибору для адаптації до місцевих реалій. Таким чином, вибір між локальними виробниками та імпортними аналогами залежить від конкретних потреб проекту, бюджету та вимог до екологічності й функціональності. Локальні матеріали підходять для більшості стандартних проектів, забезпечуючи баланс між якістю й ціною, тоді як імпортні аналоги є ідеальним вибором для складних або висококласних рішень, де потрібна найвища якість та інноваційність.

Впровадження цифрових технологій для оптимізації акустики.

Впровадження цифрових технологій для оптимізації акустики стало важливим етапом у створенні комфортного звукового середовища в сучасних приміщеннях. Ці технології дозволяють не лише точно проектувати акустичні параметри, але й динамічно керувати звуковим середовищем у реальному часі, адаптуючи його до змінних умов. Однією з основних технологій є використання програмного забезпечення для акустичного моделювання. Такі програми дають змогу архітекторам і акустикам створювати тривимірні моделі приміщень, прогнозувати їхню акустику і коригувати проект ще на етапі планування. Завдяки цьому можна досягти оптимального часу реверберації, рівномірного розподілу звуку та уникнути зон надмірного шуму чи акустичних "мертвих зон". Цифрові технології також активно використовуються для адаптивного керування акустикою у багатофункціональних просторах. Активні акустичні системи, наприклад, Meyer Sound Constellation або LARES, дозволяють змінювати параметри звукового середовища залежно від типу заходу. Такі системи застосовуються в театрах, конференц-залах чи концертних залах, де акустичні вимоги можуть суттєво відрізнятися для кожної події. Іншою інновацією є інтеграція акустичних рішень із системами "розумного управління

будівлями". Наприклад, за допомогою мобільних додатків чи панелей управління користувачі можуть налаштовувати акустику приміщення, регулюючи рівень звуку, компенсуючи зовнішні шуми чи активуючи спеціальні профілі для різних сценаріїв використання. Штучний інтелект і алгоритми машинного навчання також знаходять своє застосування в акустиці. Вони використовуються для аналізу акустичного середовища в режимі реального часу і автоматичного коригування системи для досягнення найкращого звучання. Наприклад, у великих громадських приміщеннях такі технології можуть зменшувати шумовий фон або оптимізувати звук для кращого сприйняття мови. Впровадження цифрових технологій не тільки покращує якість звукового середовища, але й дозволяє робити процес проектування більш точним, швидким і економічно ефективним. Це відкриває нові можливості для інтеграції акустичних рішень у сучасні архітектурні проекти, забезпечуючи баланс між функціональністю, комфортом і технологічною інноваційністю.

3.3. Популяризація акустичного дизайну через навчальні програми для українських дизайнерів і архітекторів

Аналіз існуючих навчальних програм у сфері дизайну та архітектури. Аналіз навчальних програм для українських дизайнерів і архітекторів демонструє, що більшість із них зосереджена на традиційних аспектах архітектури, урбаністики та дизайну інтер'єру, приділяючи обмежену увагу вузькоспеціалізованим напрямкам, таким як акустичний дизайн. Програми, які пропонують провідні університети, зокрема Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури (НАОМА) та Львівська політехніка, орієнтовані на базові знання архітектури, будівельних конструкцій, естетики та проектування. Специфічні теми, пов'язані з акустичним дизайном, зазвичай інтегруються в курси із проектування громадських будівель, інженерії чи

екологічного дизайну. Наприклад, студентів знайомлять із вимогами до акустики театрів, концертних залів чи офісів, але це подається поверхово, без поглибленого вивчення технологій акустичної корекції, використання спеціалізованих матеріалів чи сучасного програмного забезпечення для моделювання звукового середовища. Це створює прогалину, особливо для тих студентів, які прагнуть працювати з сучасними підходами до акустичного дизайну. Важливо відзначити, що курси з цифрових технологій та програмного забезпечення, таких як AutoCAD, Revit чи 3ds Max, часто включають основи моделювання, але рідко охоплюють інструменти, необхідні для акустичного аналізу, наприклад, EASE чи Odeon. Це означає, що випускники програм не завжди мають достатній рівень підготовки для роботи з акустичними параметрами у своїх проектах. У контексті міжнародного досвіду, в провідних європейських університетах, таких як Технологічний університет у Мюнхені (Німеччина) чи Університет Шеффілда (Великобританія), навчальні програми включають міждисциплінарні курси, які інтегрують архітектурний дизайн, акустику, екологічне проектування та цифрові технології. Українським навчальним закладам корисно було б запозичити цей підхід, створивши спеціальні модулі, присвячені акустичному дизайну, використанню звукопоглинальних матеріалів, інноваційним системам для громадських просторів і сучасним технологіям моделювання. Загалом, існуючі навчальні програми в Україні закладають базову основу для дизайнерів і архітекторів, але їхній подальший розвиток, зокрема включення курсів із акустичного дизайну та сучасних технологій, сприятиме підготовці фахівців, здатних відповідати вимогам сучасних проектів. Це забезпечить більш високий рівень якості українських архітектурних рішень і їх конкурентоспроможність на глобальному рівні.

Включення акустичного дизайну до освітніх стандартів. Включення акустичного дизайну до освітніх стандартів є важливим кроком для підготовки архітекторів і дизайнерів, які здатні створювати комфортні та функціональні

простори з урахуванням сучасних вимог. Цей напрямок потребує інтеграції міждисциплінарних знань, поєднання архітектури, акустики, матеріалознавства та інноваційних технологій у процесі навчання. Сьогодні в українських освітніх програмах питання акустичного дизайну розглядаються лише фрагментарно, часто у рамках загальних курсів із проектування чи екологічного дизайну. Водночас міжнародний досвід показує, що включення окремих дисциплін, присвячених акустиці, допомагає студентам розвивати навички, необхідні для проектування комфортних громадських і житлових просторів, таких як театри, конференц-зали чи офіси. Наприклад, у провідних європейських університетах студенти мають можливість вивчати основи акустичного моделювання, використання звукопоглинальних матеріалів та принципи роботи з сучасними акустичними системами. Для інтеграції акустичного дизайну в освітні стандарти в Україні варто розробити спеціалізовані курси, які охоплюватимуть базові фізичні властивості звуку, методи акустичної корекції та використання сучасного програмного забезпечення, такого як EASE чи Odeon. Окрім теоретичних знань, важливо акцентувати увагу на практичних заняттях і кейсах, що дозволять студентам здобути досвід реального проектування з урахуванням акустичних вимог. Включення акустичного дизайну до освітніх стандартів також може бути частиною міждисциплінарних програм, які поєднують архітектуру, інженерію та дизайн. Це дозволить не лише підготувати висококваліфікованих фахівців, але й сприятиме формуванню нового покоління професіоналів, здатних працювати над проектами, що відповідають сучасним викликам і стандартам. Інтеграція акустичного дизайну в освіту відкриє нові можливості для українських архітекторів і дизайнерів, зробивши їх більш конкурентоспроможними на міжнародному ринку.

Проведення спеціалізованих семінарів і тренінгів, співпраця з міжнародними експертами. Проведення спеціалізованих семінарів і тренінгів з акустичного дизайну є ефективним способом підвищення кваліфікації архітекторів і дизайнерів, а також залучення нових знань до професійної

діяльності. Такі заходи допомагають не лише ознайомитися з теоретичними основами акустики, але й вивчити практичні аспекти проектування звукового середовища з використанням сучасних матеріалів і технологій. Семінари можуть бути присвячені різним аспектам акустичного дизайну, включаючи основи фізики звуку, методи акустичної корекції, вибір звукопоглинальних матеріалів, роботу із сучасним програмним забезпеченням для моделювання звуку. Практичні тренінги, своєю чергою, дозволяють учасникам працювати з реальними проектами, створювати акустичні моделі приміщень і оцінювати їх ефективність. Особливо важливим є запрошення до участі у семінарах провідних міжнародних експертів і спеціалістів із компаній, які займаються розробкою акустичних матеріалів чи систем. Це дає можливість ознайомитися з глобальними тенденціями, передовими технологіями та реальними кейсами з міжнародної практики. Наприклад, семінари за участю представників таких брендів, як Meyer Sound, Vicoustic чи Echophon, можуть стати платформою для обміну досвідом та налагодження професійних контактів. Окрім цього, локальні тренінги з використання українських матеріалів і рішень, наприклад, від компаній DomAkustik або ЕкоБуд, сприятимуть адаптації знань до специфіки місцевих проектів. Це дозволить учасникам працювати з реальними умовами і знайомитися з продукцією, доступною на українському ринку. Проведення таких заходів має важливе значення для розвитку індустрії акустичного дизайну в Україні. Вони сприяють формуванню спільноти професіоналів, обміну знаннями та досвідом, а також підвищенню якості проектів, створюючи комфортні й сучасні простори. Семінари й тренінги також стають інструментом популяризації акустичного дизайну серед молодих архітекторів і дизайнерів, відкриваючи нові можливості для їхньої професійної реалізації.

Спільні проекти з міжнародними експертами також відкривають можливості для створення унікальних архітектурних об'єктів, які відповідають найвищим світовим стандартам. Це можуть бути концертні зали, театри, конференц-центри або освітні простори, де акустика є одним із ключових

елементів проектування. Залучення іноземних консультантів на етапі проектування дозволяє врахувати специфічні вимоги до акустики та уникнути типових помилок. Ще одним напрямом співпраці може стати створення спільних дослідницьких програм між українськими університетами та міжнародними інститутами, які спеціалізуються на акустиці. Такі програми можуть включати обмін студентами, стажування для викладачів або спільні наукові проекти, які сприятимуть розвитку цієї сфери в Україні. Міжнародна співпраця також допомагає налагодити контакти з виробниками акустичних матеріалів і систем, які можуть надати доступ до передових технологій і навчити локальних спеціалістів працювати з ними. Це особливо важливо для розвитку локального ринку, де часто бракує високоякісних рішень чи відповідного досвіду.

Розробка онлайн-курсів з акустичного дизайну. Розробка таких курсів є актуальним і необхідним кроком для популяризації цього напрямку серед дизайнерів, архітекторів та студентів. Онлайн-формат дозволяє зробити знання доступними для широкої аудиторії, незалежно від їхнього місця перебування чи графіка, що особливо важливо в умовах сучасного ритму життя. Такі курси можуть включати кілька модулів, які охоплюють як базові аспекти акустики, так і складніші теми, пов'язані з проектуванням звукового середовища. Наприклад, у вступному модулі можна пояснити основи фізики звуку, поняття реверберації, дифузії та абсорбції. Наступні модулі можуть бути присвячені використанню акустичних матеріалів, методам акустичної корекції для різних типів приміщень і сучасним технологіям, включаючи програмне забезпечення для акустичного моделювання, таке як EASE чи Odeon. Особливу цінність мають інтерактивні компоненти курсів, зокрема практичні завдання, де учасники можуть створювати власні проекти з урахуванням акустичних вимог. Також доцільно включити демонстрації реальних кейсів із міжнародної та локальної практики, щоб слухачі могли зрозуміти, як теоретичні знання застосовуються в реальних проектах. Запрошення експертів для проведення відеолекцій чи вебінарів може зробити курс ще більш інформативним і цікавим. Онлайн-курси також мають

включати елементи зворотного зв'язку: форуми для обговорення, перевірку домашніх завдань або сесії запитань і відповідей із викладачами. Це дозволяє учасникам не лише отримати знання, а й вирішити конкретні питання, пов'язані з їхньою професійною діяльністю. Для розробки таких курсів можна співпрацювати з університетами, міжнародними компаніями, що займаються акустичними рішеннями, або платформами для онлайн-освіти, такими як Coursera, Udey чи Prometheus. Курси можуть мати різний рівень складності: базові для студентів і початківців, а також просунуті для професіоналів, які бажають поглибити свої знання. Онлайн-курси з акустичного дизайну стануть важливим внеском у розвиток галузі в Україні, підвищать професійний рівень дизайнерів та архітекторів і допоможуть популяризувати акустичний підхід до проектування просторів. Це також сприятиме створенню більш якісних і комфортних середовищ, що відповідають сучасним стандартам.

Популяризація успішних кейсів серед студентів і професіоналів.

Популяризація успішних кейсів у сфері акустичного дизайну серед студентів і професіоналів є важливим інструментом для підвищення обізнаності про можливості та перспективи цієї галузі. Вивчення реальних прикладів, де акустичні рішення відіграли ключову роль у створенні функціональних і комфортних просторів, надихає молодих фахівців і допомагає їм зрозуміти значення акустики у дизайні та архітектурі. Один із найефективніших способів популяризації кейсів — проведення відкритих лекцій, семінарів і презентацій, під час яких експерти розповідають про свої проекти. Наприклад, аналіз акустичних рішень у відомих міжнародних проектах, таких як концертний зал Elbphilharmonie в Гамбурзі чи Walt Disney Concert Hall у Лос-Анджелесі, дозволяє студентам побачити, як теоретичні знання втілюються в реальних умовах. Подібні кейси також демонструють, як акустика може поєднуватися з естетикою та сучасними технологіями. В Україні важливо поширювати інформацію про локальні успішні кейси, такі як реалізація акустичних проектів для українських театрів, студій звукозапису чи багатofункціональних

громадських просторів. Наприклад, популяризація проектів із використанням матеріалів від локальних виробників, таких як DomAkustik або ЕкоБуд, може стати джерелом натхнення для студентів і молодих фахівців, показуючи можливості роботи з українськими ресурсами. Соціальні мережі, професійні форуми та спеціалізовані онлайн-платформи також відіграють значну роль у популяризації кейсів. Публікація візуальних матеріалів, таких як 3D-моделі, відеоогляди чи інтерактивні презентації проектів, робить їх доступними для ширшої аудиторії. Крім того, кейси можуть включати деталі про технічні рішення, вибір матеріалів і процеси реалізації, що дає можливість студентам і професіоналам краще зрозуміти всі етапи роботи. Популяризація кейсів також сприяє створенню діалогу між професійною спільнотою та молодим поколінням дизайнерів і архітекторів. Це дозволяє не лише ділитися досвідом, але й стимулювати обговорення нових ідей і підходів до проектування. Зрештою, це допомагає зміцнити роль акустичного дизайну як важливої складової сучасної архітектури та сприяє розвитку професійного рівня в Україні.

Роль професійних асоціацій у підвищенні кваліфікації дизайнерів та архітекторів. Професійні асоціації відіграють ключову роль у підвищенні кваліфікації дизайнерів та архітекторів, створюючи платформу для обміну досвідом, поширення нових знань і впровадження сучасних стандартів. Вони є сполучною ланкою між професійною спільнотою, науковими установами та практикою, забезпечуючи фахівців необхідними ресурсами для професійного зростання. Одним із головних напрямів діяльності асоціацій є організація навчальних програм, семінарів і майстер-класів, які орієнтовані на розширення знань у специфічних галузях, таких як акустичний дизайн. Наприклад, міжнародні асоціації, як-от International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV) або Acoustical Society of America (ASA), пропонують спеціалізовані курси й тренінги, де дизайнери й архітектори можуть дізнатися про новітні технології та рішення в акустиці. Участь у таких заходах дає змогу фахівцям залишатися в курсі глобальних тенденцій і впроваджувати їх у своїх проектах. Українські

професійні організації, такі як Національна спілка архітекторів України або Асоціація дизайнерів інтер'єру України, можуть сприяти впровадженню міжнародного досвіду шляхом співпраці з зарубіжними експертами. Вони також можуть розробляти локальні програми підвищення кваліфікації, орієнтовані на використання доступних на українському ринку матеріалів і технологій, адаптованих до місцевих умов. Окрім цього, асоціації сприяють сертифікації фахівців, що є важливим для встановлення високих стандартів у професії. Сертифікаційні програми, які включають навчання з акустичного дизайну, допомагають фахівцям отримати підтвердження своїх компетенцій, що сприяє підвищенню їхньої конкурентоспроможності на ринку праці. Також асоціації є майданчиком для публікацій професійних журналів, організації конкурсів та участі в міжнародних виставках. Це не лише допомагає популяризувати акустичний дизайн, але й відкриває нові можливості для розвитку кар'єри. Участь у таких ініціативах дозволяє дизайнерам і архітекторам демонструвати свої досягнення, знаходити партнерів для співпраці та отримувати зворотний зв'язок від колег і експертів.

3.4. Авторська пропозиція дизайну інтер'єру конференц-залу в смт. Брюховичі Львівської області

Концепція дизайну: ідея та обґрунтування. Основна концепція дизайну конференц-залу для рекреаційного центру УКГЦ полягає в створенні універсального простору, що поєднує сучасні технології, естетику та традиційні церковні потреби. Цей зал має бути адаптованим до різних типів заходів, таких як конференції, церковні богослужіння, а також спеціалізовані церковні голосування та переклади для міжнародних учасників. Концепція базується на принципах функціональності, гнучкості та інклюзивності, що забезпечує комфорт та ефективність для всіх користувачів, незалежно від їхніх фізичних можливостей чи мови спілкування. Зал спроектований таким чином, щоб сприяти інтелектуальному розвитку учасників заходів, одночасно враховуючи специфічні церковні вимоги, такі як організація закритих голосувань та надання синхронного перекладу. Простір має бути не тільки функціональним, а й створювати атмосферу спокою та урочистості, що є необхідним для церковних заходів. Ключовими аспектами концепції є:

- Гнучкість використання. Зал спроектований таким чином, щоб бути адаптивним для різних сценаріїв використання, включаючи як конференції та наукові зустрічі, так і церковні заходи, такі як молитви або таємні голосування. Можливість швидкої зміни конфігурації простору дозволяє орендувати зал для різних заходів.

- Інклюзивність і доступність - дизайн залу забезпечує доступність для людей з обмеженими можливостями. Природні та штучні елементи інтер'єру спроектовані так, щоб забезпечити комфорт для людей на візках, включаючи ширші проходи та спеціальні місця для сидіння, що відповідають вимогам безбар'єрного доступу.

- Використання сучасних технологій. Важливим елементом фронтальної стіни є екран для проєктора, а також два телевізори, які використовуються для

виведення результатів голосувань. Це дозволяє забезпечити чіткість і наочність під час важливих етапів заходів, зокрема під час голосувань, що є важливим для церковних процедур. Зал оснащений сучасною електронною акустикою, яка дозволяє коригувати рівень звуку та мікрофони для забезпечення чіткості голосу під час засідань і конференцій. Для закритих церковних голосувань в залі передбачена система відсікання мікрофонів, що забезпечує конфіденційність голосування. Акустичні монітори для виступаючих, розташовані таким чином, щоб забезпечити чітке відтворення звуку для всіх спікерів без спотворень. Це дозволяє учасникам чітко чути свої виступи та коментарі, що покращує загальну якість заходів. Технології синхронного перекладу дозволяють вести заходи на кількох мовах, що є необхідним для міжнародних учасників. Три кабінки для перекладачів, що призначені для англійської, німецької та італійської мов, інтегровані в аудіосистему залу для забезпечення високоякісного перекладу.

- Естетичний аспект. Простір має бути не лише функціональним, але й створювати атмосферу, що підтримує зосередженість та духовну концентрацію. Вибір матеріалів, таких як світле дерево в обробці та сині акценти в меблях, а також використання натурального світла через великі вікна, створює теплу, затишну атмосферу. Це дозволяє учасникам відчувати себе комфортно навіть під час тривалих засідань. Дизайн поєднує сучасні технології з традиційними елементами, що відображає церковний контекст та підкреслює важливість святкової та урочистої атмосфери під час заходів.

- Просторова організація та ергономіка. Простір організований таким чином, щоб усі учасники мали зручний доступ до інформації, мікрофонів та іншого обладнання. Зручні сидіння, що включають столики та мікрофони, дозволяють максимально комфортно працювати під час конференцій і дозволяють підтримувати високий рівень концентрації. Ергономічне розташування сидінь дозволяє учасникам з різним рівнем фізичної мобільності взаємодіяти з іншими без перешкод, а також мати прямий доступ до обраних функцій залу, таких як мікрофони для виступів. Для прихованих підключень

передбачено спеціальні люки в підлозі, які дозволяють підключати різні технічні засоби, зберігаючи при цьому естетику та порядок в залі. Це забезпечує зручність і легкість у використанні технічного обладнання без створення візуальних або фізичних перешкод. Особливу увагу було приділено високим вікнам залу, що забезпечують природне освітлення і створюють відчуття простору. Щоб підтримати комфорт протягом заходів, на вікнах запроєктовані ролети з автоматичною системою керування, що дозволяють регулювати освітлення та створювати оптимальні умови для проведення конференцій.

- Забезпечення конфіденційності та безпеки. Конференц-зал розроблений для забезпечення конфіденційності церковних таємниць, таких як голосування, за допомогою сучасних технологій для відсікання звуку та безпечних мікрофонних систем. Це важливо для збереження цілісності процесів, що проводяться в залі, особливо в умовах церковних засідань, де конфіденційність є пріоритетом.

Ця концепція націлена на створення універсального, технологічно оснащеного простору, який відповідає потребам різних користувачів і забезпечує зручність, комфорт та безпеку під час різних церковних та світських заходів.

Обґрунтування потреби в акустичній корекції приміщення конференц-залу. Акустична корекція є необхідним етапом у проектуванні будь-якого приміщення, яке призначене для проведення лекцій, конференцій та інших подібних заходів. Особливо важливою ця корекція стає для конференц-залу реклекційного центру Курії Львівської Архієпархії УГКЦ, який розрахований на велику кількість слухачів і використовуватиметься для проведення заходів із системою звукопідсилення.

Зала має просту прямокутну форму з розмірами, що є достатньо великими для такого типу приміщення. Однак, одна з основних проблем, яку слід врахувати, це те, що конференц-зал має непропорційні розміри і фактично близький до квадратного в плані. Така геометрія приміщення може призвести до виникнення

акустичних проблем, таких як відлуння або луна, що значно погіршить якість звуку і знизить ефективність проведених заходів.

Особливо це стосується ефекту луни, який виникає, коли звукові хвилі відбиваються від великих, паралельних площин, таких як бокові стіни, і знову потрапляють до слухачів із затримкою. Це може призвести до того, що мова стане неясною або нечіткою, а відсутність акустичної корекції знизить розбірливість звуків, що є критично важливим для проведення лекцій і конференцій.

Враховуючи, що конференц-зал буде обладнаний системою звукопідсилення на базі лінійних масивів та сабвуферів, акустична корекція стає ще більш важливою. Система озвучування створює потужний звуковий потік, і без належної акустичної обробки приміщення цей потік може бути спотворений через відлуння, що виникає на стінах, стелі та підлозі. Для досягнення максимальної чіткості та ефективності звуку необхідно зменшити ефект луни і відлуння.

За результатами комп'ютерного моделювання акустичних параметрів зали, проведених за допомогою програмного комплексу EASE, було виявлено, що час реверберації в залі без акустичної корекції значно перевищує рекомендовані значення для такого типу приміщень. В приміщенні з традиційними будівельними матеріалами (гіпсокартонна стеля, оштукатурені стіни, ковролін на підлозі) спостерігався ефект луни і знижена розбірливість мови. Згідно з результатами моделювання, індекс передачі мови (STI) становить 0,49, що вказує на погану розбірливість мови (рівень "fair") і відносить приміщення до класу "G" за акустичними стандартами.

З огляду на ці результати, виникає нагальна потреба в акустичній корекції. Вона включає використання звукопоглинальних матеріалів, які будуть сприяти зниженню рівня відлуння і поліпшенню чіткості звуку в залі. Для цього в проекті було передбачено використання акустичних панелей Sewood, мінеральної вати

Acoustic Wool Sonet та спеціальних конструкцій на основі металевих профілів, що забезпечують оптимальні акустичні умови.

Акустичні панелі Sewood, розташовані на стінах і стелі, дозволяють значно зменшити реверберацію звуку. Крім того, використання двошарового гіпсокартону в конструкціях облицювання допомагає створити додаткові бар'єри для проникнення звуків через стіни та вентиляційні системи. Вибір акустичних матеріалів, таких як вата Acoustic Wool Sonet, забезпечує високий рівень звукоізоляції, що дозволяє контролювати акустичні параметри в залі.

Акустична корекція має безпосередній вплив на якість заходів, які будуть проводитися в конференц-залі. Чіткість звуку і зручність сприйняття мови мають вирішальне значення для комфортного проведення лекцій, конференцій та інших подій. Правильне акустичне облаштування зменшить рівень шуму і дозволить учасникам заходів зосередитись на матеріалі без відволікань через погану розбірливість або надмірне відлуння.

Планувальне рішення та функціональна організація простору.

Конференц-зал розроблений з урахуванням високих вимог до функціональності, акустики та доступності для різних категорій учасників. Зал призначений для проведення конференцій, церковних заходів, голосувань та інших подій, що потребують сучасних технічних рішень і комфорту для учасників з різними потребами. Планувальне рішення та організація простору враховують специфічні потреби залу, такі як інклюзивність, акустична корекція, а також забезпечення конфіденційності під час голосувань.

Загальна організація простору. Зал має прямокутну форму, що дозволяє ефективно організувати простір для усіх учасників. Це дозволяє забезпечити кращий огляд сцени та екранів, а також комфорт для людей з обмеженими можливостями, оскільки останні можуть розміщуватись у перших або останніх рядах. Просторова організація залу також враховує вимоги до проведення церковних голосувань, що потребують конфіденційності.

Столи для учасників є стаціонарними, монтуються анкеруванням і не знімаються, що забезпечує стійкість і зручність під час проведення заходів. Кожен стіл оснащений мікрофоном та екраном для голосування, що дозволяє учасникам безперешкодно брати участь у голосуваннях і ефективно взаємодіяти під час дискусій. На стадії будівництва в бетоні залу прокладаються коробка для кабелів, що дозволяє організувати на кожному секцію столів окремі розгалуження для підключення технічних засобів.

Для забезпечення високої якості звуку та акустичного комфорту на кожному робочому місці, в залі розміщуються акустичні монітори. Мікрофони, встановлені на кожному столі, підключені до загальної системи, що забезпечує чіткість звуку. Акустичні рішення також включають правильне розташування панелей для зниження відлуння та коригування звукових хвиль, що забезпечує оптимальне звучання по всьому залу.

Кабінки для перекладачів знаходяться збоку від основної частини конференц-залу, що дозволяє уникнути перешкод у залі і забезпечити акустичну ізоляцію. Кабінки розміщені так, щоб забезпечити комфорт для перекладачів під час тривалих сеансів, а також гарантувати високу якість синхронного перекладу на три мови: англійську, німецьку та італійську. Кожна кабінка підключена до аудіосистеми залу. В одному приміщенні з кабінами для перекладачів знаходиться кімната для адміністратора, який контролює технічні аспекти, включаючи вентиляцію, клімат, акустику та електроніку. Це забезпечує оперативне коригування всіх параметрів для підтримки комфорту та ефективності проведення заходів.

Враховуючи специфіку залу, пандуси для доступу до залу не передбачені у постійному вигляді. Люди з обмеженими можливостями будуть розміщуватись лише у перших або останніх рядах, що дозволяє забезпечити зручний доступ до них, враховуючи організацію простору. Однак передбачена можливість встановлення знімних пандусів, що дозволить створити доступ до останнього

ряду для учасників з обмеженими можливостями, а також забезпечить гнучкість у використанні простору для різних типів заходів.

Вся підлога залу покрита ковроліном, що забезпечує комфорт і тепло в приміщенні. Це також покращує акустичні характеристики залу, зменшуючи відлуння та створюючи комфортну атмосферу для тривалих заходів. Вибір ковроліну як покриття також підвищує естетичний вигляд залу, додаючи йому затишку та сучасного вигляду.

Вибір матеріалів для акустичної корекції кабінки перекладачів. При виборі матеріалів для акустичної корекції кабінки перекладачів основним завданням було створення комфортного середовища для роботи перекладачів з максимальною звукоізоляцією від зовнішнього шуму та мінімізацією відлуння всередині кабінки. Для перегородок кабінки використовуються кілька ефективних акустичних матеріалів. Звукопоглинаюча обшивка ламель Fantoni 4akustik RK F4S203 має спеціальну структуру, що знижує рівень шуму в кабінці. Вона поєднується з мінімальною ватою Acoustic Wool Sonet, яка додає додаткове поглинання звуку, а демпфовані профілі допомагають зменшити передачу вібрацій і шуму. Плита Sewood Superfine товщиною 25 мм також ефективно поглинає звук і працює разом з акустичною ватою, що забезпечує додатковий рівень акустичного комфорту. Для досягнення високої звукоізоляції використовується подвійний каркас Titan CW75, який включає чотири листи гіпсокартону з акустичною мінватою між ними. Це дозволяє ефективно ізолювати кабінки від зовнішніх звуків. Іншим варіантом є звукоізоляційна обшивка Vibrofix CW108ML ultra, що складається з двох листів гіпсокартону з акустичною мінватою між ними. Вона гарантує високий рівень звукоізоляції, мінімізуючи проникнення шуму. Для додаткової ізоляції також використовуються матеріали, такі як ЗПС-III-Ультра, що включає один лист гіпсокартону з акустичною мінватою.

Для стелі кабінки вибрані звукоізолюючі і звукопоглинаючі матеріали. Стеля підвісна акустична Vibrofix PU 115 ML допомагає знижувати рівень шуму,

що може проникати з верхніх поверхів або інших приміщень. Вона є важливим елементом для створення акустичного комфорту в кабінці. Іншим варіантом є підвісна акустична стеля з плитами Cewood Superfine товщиною 25 мм, в поєднанні з ватою Acoustic Wool Sonet (50 мм), що активно поглинає звук і покращує акустичні характеристики. Покриття підлоги кабінки ковроліном зменшує звукопередачу через підлогу і підвищує акустичний комфорт. Крім того, ковролін додає затишку і тепла, що є важливим для довготривалих робочих сесій. Вибір цих матеріалів дозволяє створити ідеальні умови для точного та чіткого перекладу, зберігаючи комфорт і концентрацію перекладачів під час роботи.

Вибір матеріалів для акустичної корекції конференц-залу. Для забезпечення оптимальної акустики конференц-залу вибрані матеріали, які ефективно поглинають звук та зменшують відлуння, створюючи комфортне середовище для слухачів і виступаючих.

Фронтальна стіна з екраном обшита матеріалами, які мають відмінні звукопоглинаючі властивості. Використано кілька варіантів обшивки, зокрема ламель Fantoni 4akustik RK F4S203 з мінімальною ватою Acoustic Wool Sonet і демпфованими профілями, що дозволяє значно знизити відлуння та покращити якість звуку в зоні екрану. Крім того, використовуються плити MDF і Cewood товщиною 15 мм, що також мають високу звукопоглинаючу здатність. Для посилення ефекту в конструкції застосовано мінімальну вату Acoustic Wool Sonet (50 мм) і демпфовані профілі, що забезпечують додаткову звукоізоляцію.

Бокові стіни оздоблені гіпсокартоном з мінімальною ватою Acoustic Wool Sonet, що ефективно знижує рівень шуму і відлуння в залі. Додатково використовуються плити Cewood (25 мм) і ламелі Fantoni, що забезпечують додаткову акустичну корекцію та підтримують комфортне сприйняття звуку.

Задня стіна з повітропроводами оснащена тканинною обшивкою в поєднанні з MDF та акустичною мінватою, що дозволяє зменшити шум з вентиляційної системи. Альтернативно, використовуються гіпсокартон і панель

Саундлайн-ППП Супер, що забезпечують високу звукоізоляцію завдяки товстій акустичній міні-ваті.

Стеля конференц-залу виконана з підвісних плит Cewood Superfine, які мають товщину 15 мм і 25 мм, що дозволяє поглинати звуки та мінімізувати відлуння в залі. Додатково застосовується стеля з гіпсокартону та мінімальної вати Acoustic Wool Sonet для покращення акустичних властивостей і зниження рівня шуму.

Використання цих матеріалів гарантує комфортну акустику в залі, забезпечуючи чіткість звуку та мінімізацію відлуння, що робить його ідеальним для проведення конференцій і інших заходів.

Освітлення та його взаємодія з акустикою приміщення. Освітлення в конференц-залі було спроектовано з урахуванням не тільки естетичної функції, але й його впливу на акустичні характеристики приміщення. Основним елементом освітлення стали 87 вузьких лінійних LED світильників, акуратно захованих між акустичними плитами. Це рішення забезпечило рівномірне розподілення світла по всьому залу, не створюючи зайвих відбитків, які могли б погіршити акустичні властивості приміщення.

Світильники регулюються і програмуються через систему DALI, що дозволяє налаштовувати інтенсивність освітлення відповідно до потреб конкретного заходу. Система автоматичного регулювання інтенсивності світла залежно від природного освітлення через високі вікна дозволяє підтримувати оптимальні умови для проведення конференцій. Таким чином, рівень світла в залі змінюється в реальному часі, зберігаючи баланс між природним і штучним освітленням, що також мінімізує вплив на акустичну ситуацію.

Для створення атмосфери урочистості та зручності в залі передбачено різні режими освітлення, включаючи основне освітлення для всього простору, акцентне освітлення для підсвітки екрану і телевізорів під час голосувань, а також м'яке фонове освітлення для підтримки комфортної атмосфери. Всі ці

варіанти освітлення можуть бути налаштовані відповідно до вимог конкретного заходу, забезпечуючи оптимальні умови для слухачів і спікерів.

Особливу увагу було приділено безпеці: для аварійного освітлення були встановлені спеціальні світильники на виходах, що гарантує безперервне освітлення у випадку вимкнення основного освітлення або надзвичайних ситуацій.

Технологічне обладнання для забезпечення акустичного комфорту. Для забезпечення високого рівня акустичного комфорту в конференц-залі було обрано спеціалізоване технологічне обладнання, яке не тільки відповідає вимогам до звукової якості, але й інтегрується з іншими системами залу, сприяючи загальному комфорту під час проведення заходів.

Основним елементом для забезпечення акустичного комфорту є система електронної акустики, яка включає мікрофони, акустичні монітори, а також спеціальне обладнання для корекції звуку в реальному часі. Всі мікрофони, встановлені на столах учасників, мають можливість швидкого налаштування і відключення, що важливо для забезпечення конфіденційності під час голосувань або церковних процедур. Використання динамічних акустичних панелей дозволяє здійснювати тонке налаштування рівня звуку в залежності від кількості людей у залі та типу заходу.

Для покращення акустики також використовуються акустичні монітори, які забезпечують чітке звучання для спікерів і учасників, дозволяючи зменшити ефект зворотного зв'язку та спотворення звуку. Ці монітори мають різні налаштування для кожного сектору залу, що дозволяє рівномірно розподіляти звук і мінімізувати відлуння.

Завдяки інтеграції з системою автоматичного керування звуком, приміщення адаптується до різних умов. Система забезпечує баланс між зовнішнім і внутрішнім шумом, автоматично налаштовуючи рівень звуку під час різних типів заходів, таких як конференції або церковні служби.

Система акустичного корекційного обладнання є важливим елементом у залі, оскільки дозволяє здійснювати корекцію звукових хвиль, мінімізуючи відлуння та спотворення, що можуть виникати через конфігурацію простору. Для цього використовуються акустичні панелі з мікропористими поверхнями, які поглинають звук і сприяють рівномірному поширенню звукових хвиль по всьому залу.

Система контролю температури та вологості також має важливе значення для акустики, оскільки зміни в цих параметрах можуть впливати на якість звуку. Враховуючи це, була встановлена система, що автоматично регулює температуру та вологість, зберігаючи стабільність акустичних умов у залі.

Ці технології були інтегровані таким чином, щоб забезпечити максимальний акустичний комфорт і гармонійно працювати з іншими системами залу, такими як освітлення, вентиляція та автоматичне регулювання інтенсивності звуку. Завдяки таким рішенням, конференц-зал став ідеальним місцем для проведення як церковних, так і світських заходів, забезпечуючи високу якість звуку і комфорт для всіх учасників.

Візуалізація проекту та очікуваний ефект від реалізації. Візуалізація проекту конференц-залу для реклекційного центру УКГЦ відображає основні принципи дизайну, що включають естетичну елегантність, функціональність та акустичний комфорт. Створена 3D-модель залу демонструє оптимальне розташування меблів, освітлення, акустичних панелей та технологічного обладнання. Конференц-зал спроектовано таким чином, щоб максимально використовувати природне освітлення через великі вікна, що створює відчуття простору і відкритості. Водночас, завдяки автоматично керованим ролетам, є можливість адаптувати рівень освітлення в залежності від потреб заходу.

Фронтальна стіна з екраном та телевізорами для виведення результатів голосувань, разом з іншими технологічними елементами, надає залу сучасного вигляду і забезпечує зручність для учасників під час конференцій та церковних голосувань. Акустичні панелі і спеціальні матеріали для стін та стелі, в свою

чергу, дозволяють створити ідеальні умови для чіткої і чистої передачі звуку, з мінімальним рівнем відлуння, що критично важливо для будь-яких заходів, особливо для церковних церемоній.

Очікуваний ефект від реалізації цього проекту полягає не лише в покращенні акустичних характеристик приміщення, але й у створенні комфортного, естетично привабливого середовища, яке підтримує духовний та інтелектуальний розвиток учасників. Завдяки продуманій акустичній корекції, технологічним рішенням і ергономічному дизайну, зал буде ідеальним місцем для проведення конференцій, лекцій, церковних заходів та інших подій.

Завдяки вбудованим технологіям, таким як система автоматичного регулювання освітлення, мікрофонів та акустичних панелей, можна очікувати значне підвищення ефективності заходів. Учасники зможуть зосередитись на обговореннях, не відволікаючись на проблеми з акустикою або освітленням. Більш того, зал стане зручним і доступним для людей з обмеженими можливостями завдяки правильному розташуванню місць для сидіння та інтеграції безбар'єрного доступу.

Висновки за розділом 3

У розділі 3.1 проведено аналіз можливостей адаптації міжнародного досвіду акустичного дизайну до українського контексту. Розглянуто стандарти, проекти та технології, які демонструють високий рівень ефективності у забезпеченні акустичного комфорту, а також виклики, з якими стикається їх імплементація в Україні. Використання принципів сталого розвитку стає актуальним і для українських проектів, що дозволяє інтегрувати екологічно чисті матеріали та технології. Проблеми адаптації включають високу вартість імпортованих матеріалів, обмежений доступ до інноваційних рішень на місцевому ринку та недостатній рівень підготовки фахівців. Проте потенціал інтеграції

міжнародних підходів у контекст українських архітектурних традицій є значним, особливо з урахуванням багатого історичного досвіду та сучасних можливостей цифрових технологій.

У розділі 3.2. було розглянуто сучасні матеріали, технології та інноваційні рішення, які можна застосовувати для акустичної корекції громадських приміщень в Україні. Аналіз показав, що на українському ринку є широкий вибір як локальних, так і імпортованих матеріалів і обладнання, які відповідають сучасним вимогам до якості та функціональності. Звукопоглинаючі та звукоізоляційні матеріали забезпечують ефективний контроль реверберації, шуму та ізоляції звуку. На ринку представлені рішення, які дозволяють адаптувати акустичні параметри для приміщень різного типу: від концертних залів до офісів і коворкінгів. Дифузійні панелі та інші дизайнерські елементи пропонують можливість комбінувати функціональність із естетикою. Впровадження цифрових інструментів дозволяє досягти високої точності в проектуванні та реалізації акустичних рішень. Екологічні матеріали, такі як натуральний текстиль, деревина та матеріали з вторинної сировини, сприяють не лише акустичній ефективності, але й відповідають принципам сталого розвитку, що стає все більш важливим у сучасному дизайні. Використання сучасних матеріалів і технологій дозволяє українським дизайнерам і архітекторам створювати високоякісні акустичні середовища, які відповідають як функціональним, так і естетичним вимогам.

Розділ 3.3 висвітлює важливість популяризації акустичного дизайну в освітньому середовищі та професійній спільноті дизайнерів і архітекторів в Україні. У ньому проаналізовано сучасний стан навчальних програм, розроблено рекомендації щодо інтеграції акустичного дизайну в освітні стандарти, а також запропоновано шляхи для підвищення рівня обізнаності й кваліфікації в цій галузі. Аналіз існуючих навчальних програм виявив недостатню увагу до тематики акустичного дизайну, що обмежує професійний розвиток українських дизайнерів і архітекторів. Включення цього напрямку до освітніх стандартів, а

також розробка спеціалізованих курсів, семінарів і тренінгів допоможе формувати нові компетенції у студентів і фахівців. Системний підхід до популяризації акустичного дизайну через навчальні програми сприятиме розвитку цієї галузі в Україні, підвищуючи якість проектування громадських приміщень, а також конкурентоспроможність українських дизайнерів і архітекторів на міжнародному ринку.

Розділ 3.4 висвітлює авторський підхід до проектування конференц-залу, орієнтованого на забезпечення акустичного комфорту, функціональності та естетики. У рамках розділу розроблено комплексне рішення, яке інтегрує сучасні принципи акустичного дизайну та інноваційні технології. Концепція дизайну базується на гармонійному поєднанні естетичних і функціональних вимог, обґрунтованих особливостями використання конференц-залу. Планувальне рішення забезпечує ефективну організацію простору, враховуючи зони для виступів, аудиторії та технічного обладнання, що підвищує зручність користувачів. У виборі матеріалів для акустичної корекції акцент зроблено на використанні інноваційних рішень, таких як звукопоглинальні панелі, текстиль із акустичними властивостями та резонатори. Дизайнерські елементи враховують акустичні властивості приміщення, включаючи використання дифузійних панелей і декоративних елементів, які одночасно виконують естетичну та функціональну роль. Особлива увага приділена освітленню, яке доповнює загальний дизайн та мінімізує негативний вплив на акустику. Інтеграція технологічного обладнання, такого як системи звукового підсилення, активні акустичні панелі та системи шумозаглушення, забезпечує високу якість звучання навіть у складних умовах. Візуалізація проекту демонструє, як обрані рішення сприяють досягненню очікуваного ефекту: створення сучасного, комфортного та естетично привабливого простору, який відповідає функціональним потребам користувачів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження виконано поставлені завдання, що дозволяє зробити низку висновків щодо значення акустичного дизайну у створенні комфортного та функціонального середовища громадських приміщень.

По-перше, було вивчено історичний розвиток акустичного дизайну, починаючи від античних цивілізацій, які впроваджували елементарні принципи акустики у своїх архітектурних спорудах, і до сучасних методів, які базуються на інтеграції цифрових технологій. Це дало змогу зрозуміти, як змінювалися підходи до акустичного проектування залежно від соціально-культурних і технічних факторів. Історичний аналіз також дозволив виокремити ключові етапи формування основних принципів акустичного дизайну.

По-друге, детально проаналізовано природу звуку та його взаємодію з предметно-просторовим середовищем. Було розглянуто основні фізичні властивості звуку, його рефлексію, абсорбцію, дифузю та резонанс. Це дало змогу оцінити, як конструктивні елементи приміщення та матеріали впливають на акустичні характеристики простору. Психоакустичний аспект дослідження дозволив зрозуміти, як людина сприймає звук у різних умовах, що є важливим для створення комфортних акустичних середовищ.

По-третє, досліджено використання акустичних матеріалів та їх інтеграцію в дизайн громадських приміщень. Було розглянуто властивості звукопоглинальних, звуковідбиваючих і дифузійних матеріалів, а також їхнє функціональне застосування у різних типах просторів. Особливу увагу приділено екологічним матеріалам, таким як деревина, пробка, льон та перероблений текстиль, які набувають популярності в сучасному дизайні. Це дозволило розробити рекомендації щодо ефективного використання матеріалів залежно від умов і призначення приміщень.

Четверте завдання полягало в оцінці екологічних і естетичних аспектів застосування акустичних рішень. Екологічно чисті матеріали та технології допомагають знизити вуглецевий слід проектів, створюючи водночас естетично привабливі простори, які гармонійно вписуються в навколишнє середовище.

По-п'яте, вивчено міжнародний досвід акустичної корекції, зокрема приклади успішних проектів, реалізованих за кордоном. Проаналізовано принципи акустичного проектування, які застосовуються у відомих об'єктах. Ці приклади стали основою для адаптації іноземного досвіду до потреб українських приміщень, враховуючи локальні матеріали та кліматичні умови.

Наступним етапом стало розроблення рекомендацій щодо впровадження сучасних матеріалів і технологій в Україні. Було запропоновано використовувати локальні акустичні рішення у поєднанні з високотехнологічними імпортними матеріалами. Також акцент зроблено на важливості використання цифрового моделювання для проектування акустики приміщень, що підвищує точність і ефективність проектів.

На завершення дослідження було запропоновано авторську концепцію дизайну конференц-залу, яка враховує як акустичні, так і функціональні вимоги. Концепція базується на використанні дифузійних і звукопоглинальних панелей, інтеграції сучасних технологій для забезпечення оптимальної акустики.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило важливість акустичного дизайну для створення якісних громадських просторів і стало основою для розробки практичних рекомендацій, які можуть бути впроваджені в українській архітектурній і дизайнерській практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. "Акустика." Енциклопедія сучасної України, Національна академія наук України, <https://esu.com.ua/article-43555> (Дата звернення: 10 жовтня 2024).
2. Грінченко, В. Т., Дідковський В. С., Маципура В. Т. Теоретичні основи акустики. Київ, 1998.
3. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Прикладна акустика - 2. Архітектурна акустика. Лабораторний практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
4. Гребінь О.П., Прядко О.М., Левенець Н.Ф. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Архітектурна акустика» на тему «Проектування акустичних умов кінотеатральних зал», для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050803 Акустотехніка спеціальності „Аудіо-, відео- та кінотехніка” усіх форм навчання. Київ : КПІ, 2016.
5. Дідковський В.С., Луньова С.А. Акустична техніка. Т.4. Основи архітектурної та фізіологічної акустики : навч. посіб. Київ, 2001.
6. Дідковський В.С., Луньова С.А., Богданов О.В. Архітектурна акустика. Навч. посіб. Київ, НТУУ «КПІ», 2012.
7. Дідковський В.С., Луньова С.А., Богданов О.В. Архітектурна акустика : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2012.
8. "Енергоефективність в Будівництві: Поради та Рішення." Будуй!, 27 серпня 2023 р., <https://buduj.com.ua/energoeffic/energoefektyvnist-v-budivnycztvi-porady-ta-rishennya/>. Дата звернення: 1 грудня 2024 р.
9. "Звукоізоляція та шумоізоляція стін в квартирі - сучасні матеріали." Ecosound, <https://ecosound.kiev.ua/uk/zvukoizolyaciya>. Дата доступу 25 вересня 2024.
10. Лагода Оксана, Чжан Дунцань. "Передумови виникнення та стимули розвитку екологічного дизайну." Актуальні проблеми сучасного дизайну,

- Київський національний університет технологій та дизайну, 2022, https://stud.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/20825/1/APSD_2022_V1_P042-045.pdf. Дата доступу 18 вересня 2024.
11. Луньова С.А., Дідковський В.С., Педченко О.І. Акустика мовотворення : навч. посіб. LAP Lambert Academic Publishing, 2018.
 12. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. Мінрегіон України, 2013.
 13. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. ДБН В.2.2-16:2019. Культурно-видовищні та дозвіллієві заклади. Мінрегіон України, 2019.
 14. "Основні принципи роботи звукоізоляційної конструкції." A4 Sound, www.a4sound.com.ua/korysni-statti/osnovni-pryntsypy-roboty-zvukoizolyatsiynoyi-konstruktsiyi/. Доступ 20 листопада 2024.
 15. "Особливості сприйняття звуку." Техніка і технологія ЗМІ. Радіо- і телевізійна журналістика, https://stud.com.ua/134860/zhurnalistika/osoblivosti_spriynyattya_zvuku. Доступ 24 листопада 2024.
 16. "Психоакустика." Вікіпедія, <https://en.wikipedia.org/wiki/Psychoacoustics>. Доступ 24 листопада 2024.
 17. "Що таке реверберація?" A4 Sound, www.a4sound.com.ua/korysni-statti/shcho-take-reverberatsiya/. Дата звернення 10 жовтня 2024.
 18. American Speech-Language-Hearing Association. "Position Statement and Guidelines for Acoustics in Educational Settings." ASHA, vol. 37, no. 14, 1995, pp. 15–19.
 19. "An Architectural Approach to Analyzing Design Strategies for Acoustic Comfort in Modern Public Libraries: A Review of the University of Birmingham Library." *Cenresin Journal of Architecture and Built Environment*, vol. 3, no. 1,

- 2021, pp. 63–74, <https://cenresinjournal.com/wp-content/uploads/2021/05/Page-63-74-2021-13015.pdf>.
20. Blackstock, D. T. *Fundamentals of Physical Acoustics*. Wiley-Interscience, 2000.
21. Bateman, H. "Mathematical Theory of Sound Ranging." *Monthly Weather Review*, vol. 46, no. 1, 2007, pp. 4-11.
22. Beranek, Leo. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*. 2nd ed., Springer, 1996.
23. Canning, D. *Listening Inventories for Education U.K.* LIFE UK, City University, 1999.
24. Cavanaugh W. J., Tocci G. C., Wilkes J. A. (ed.). *Architectural acoustics: Principles and practice*. – John Wiley & Sons, 2010.
25. Deutsches Institut für Normung e.V. *DIN 18041: Acoustic Quality in Small to Medium-Sized Rooms*. Deutsches Institut für Normung e.V., 2016.
26. Department for Education and Skills. *Special Education Needs Code of Practice*. DfES/581/2001, 2001.
27. Fant, Gunnar. *Acoustic Theory of Speech Production*. Mouton, 1960.
28. Finitzo-Hieber, T., and T. W. Tillman. "Room Acoustics Effects on Monosyllabic Word Discrimination Ability for Normal and Hearing-Impaired Children." *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 21, no. 3, 1978, pp. 440–458.
29. Flanagan, James L. *Speech Analysis, Synthesis, and Perception*. Springer-Verlag, 1965.
30. Gatehouse, S., and K. Robinson. "Speech Tests as a Measure of Auditory Processing." *Speech Audiometry*, 2nd ed., edited by M. Martin, Whurr, 1997.
31. Homer, B., R. Vaughan, and K. Higgins. *Radio Aids*. National Deaf Children's Society, 2001.

32. International Electrotechnical Commission. IEC 60268-16: Sound System Equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index. 5th ed., International Electrotechnical Commission, 2020.
33. International Organization for Standardization. ISO 3382: Acoustics — Measurement of Room Acoustic Parameters. Part 1: Performance Spaces. 3rd ed., International Organization for Standardization, 2022.
34. Markides, A. "Speech Levels and Speech-to-Noise Ratios." *British Journal of Audiology*, vol. 20, no. 2, 1986.
35. Mattiske, J. A., J. M. Oates, and K. M. Greenwood. "Vocal Problems Among Teachers: A Review of Prevalence, Causes, Prevention, and Treatment." *Journal of Voice*, vol. 12, no. 4, 1998, pp. 489–499.
36. Pierce, Allan D. "Room Acoustics." *Acoustics*, Springer, Cham, 2019.
37. Picard, M., and J. S. Bradley. "Revisiting Speech Interference in Classrooms." *Audiology*, vol. 40, no. 5, 2001, pp. 221–244.
38. Penney, Terry. "Noise over 8 LONG HOURS of WORK has a new safety formula for you to apply." LinkedIn, 2016, <https://www.linkedin.com/pulse/noise-over-8-long-hours-work-has-new-safety-formula-you-terry-penney>.
39. Strutt, J. W. THE THEORY OF SOUND, VOLUME 1. in *Science and Sound in Nineteenth-Century Britain: Volume IV: Sound Transformed*. 2023.
40. Strutt, J. W. THE THEORY OF SOUND, VOLUME 2. in *Science and Sound in Nineteenth-Century Britain: Volume IV: Sound Transformed*. 2023.
41. Schneider, Alexander, et al. "Acoustic Performance-Based Design: A Brief Overview of the Opportunities and Limits in Current Practice." *Acoustics*, vol. 2, no. 2, 2020, pp. 377–391, <https://doi.org/10.3390/acoustics2020016>.
42. Urick, R. J. *Principles of underwater sound*. 3rd Edition. 1983.
43. Wilson, O., et al. *Classroom Acoustics*. Oticon Foundation in New Zealand: Wellington, 2002.

ДОДАТКИ

Додаток А

Банер кваліфікаційної роботи «Використання принципів дизайну в акустичній корекції простору громадських приміщень»



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА НА ТЕМУ: Використання принципів дизайну в акустичній корекції простору громадських приміщень
The Use of Design Principles in Acoustic Correction of Public Spaces

СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ: ЕД - ДИЗАЙН
САЛУБ'Я, ЗНАВ'Я, ОЗДОРОВЧЕННЯ І МІСЦЕВЕЦТВО

ВСТУП
Мета дослідження - дизайн громадських приміщень, що відповідає вимогам акустичної корекції простору. Ця робота досліджує принципи дизайну, що використовуються для акустичної корекції простору громадських приміщень. Ця робота досліджує принципи дизайну, що використовуються для акустичної корекції простору громадських приміщень.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ В ДИЗАЙНІ ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1. Акустичні властивості приміщень

Параметр	Означення	Вплив на акустику
Об'єм	Об'єм приміщення, що впливає на час затримки звуку.	Чим більше об'єм, тим довше звук затримується в приміщенні.
Висота стелі	Висота стелі, що впливає на відбиття звуку.	Чим вище стеля, тим більше звук відбивається.
Матеріали	Матеріали, з яких зроблено приміщення, що впливають на поглинання звуку.	М'якші матеріали поглинають звук краще.

1.2. Акустичні властивості матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт поглинання звуку
Бетон	0,01
Камінь	0,02
Кирпич	0,03
Гіпс	0,04
Дерево	0,05
Ковина	0,06
Текстиль	0,07
Порода	0,08
Піна	0,09
Вата	0,10

1.3. Принципи дизайну в акустичній корекції приміщень

Принцип	Означення	Вплив на акустику
Формування простору	Формування простору, що впливає на акустику.	Формування простору, що впливає на акустику.
Вибір матеріалів	Вибір матеріалів, що впливають на акустику.	Вибір матеріалів, що впливають на акустику.
Вибір форм	Вибір форм, що впливають на акустику.	Вибір форм, що впливають на акустику.
Вибір кольорів	Вибір кольорів, що впливають на акустику.	Вибір кольорів, що впливають на акустику.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження вивчено вплив дизайну на акустику громадських приміщень. Висновок: дизайн громадських приміщень має вплив на акустику. Дизайн громадських приміщень має вплив на акустику.

Висновки

У ході дослідження вивчено вплив дизайну на акустику громадських приміщень. Висновок: дизайн громадських приміщень має вплив на акустику. Дизайн громадських приміщень має вплив на акустику.

ВИСНОВКИ
Висновки ст. гр. ДІМ СІЛОВСЬКОЇ ВАЛЕРІЇ ОЛЕКСАНДРІВНИ
НАУКОВИЙ КЕРІВНИК, ДОКТОР ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК, ПРОФЕСОР ШКОЛИ АНАТОЛІЙСЬКОГО
КАНАДА ДИЗАЙНУ, ІНСТИТУТУ КОЛІВАНЬ
ДЕСА РКС



Висновки

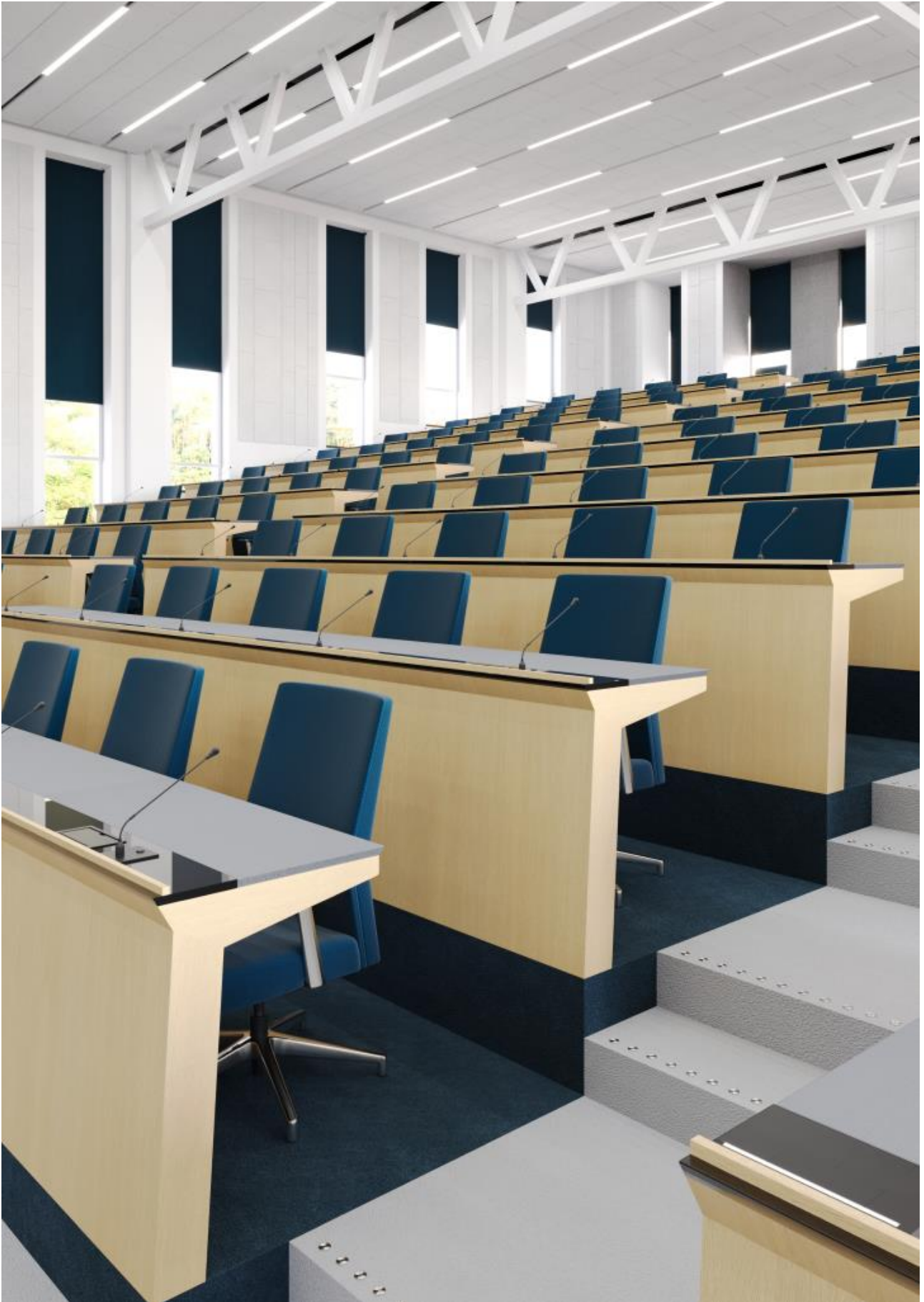
У ході дослідження вивчено вплив дизайну на акустику громадських приміщень. Висновок: дизайн громадських приміщень має вплив на акустику. Дизайн громадських приміщень має вплив на акустику.

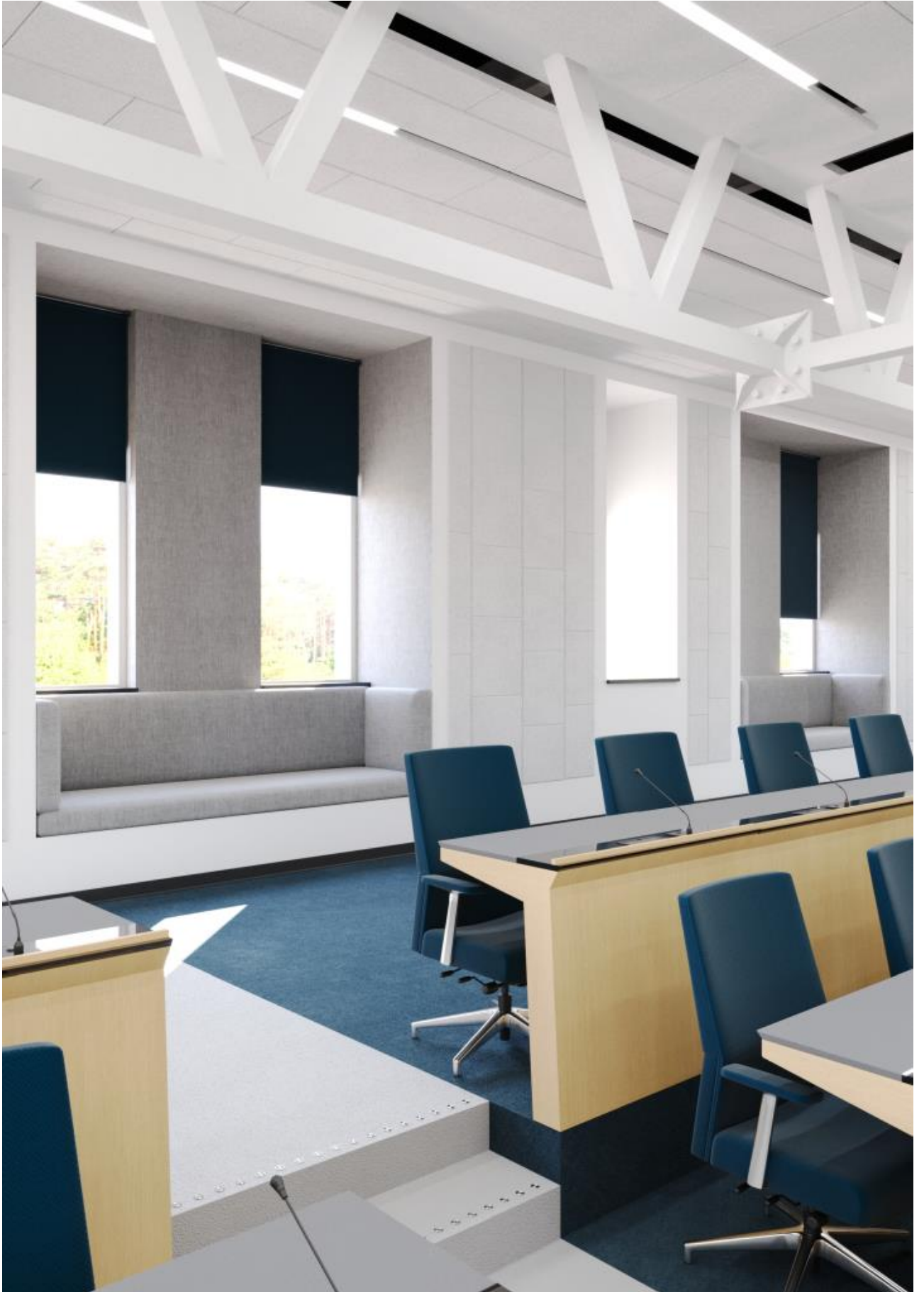
Візуалізація проєкту





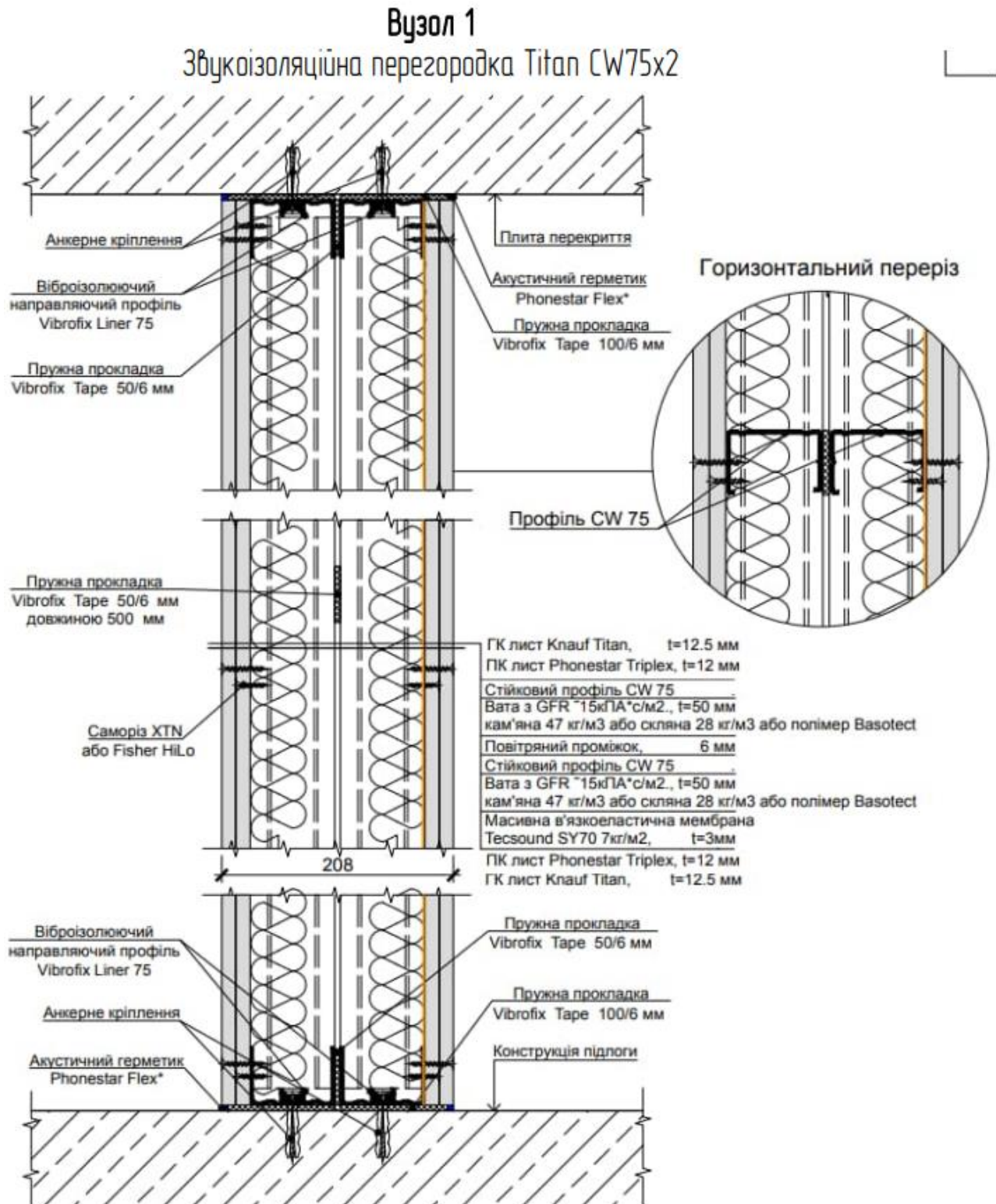








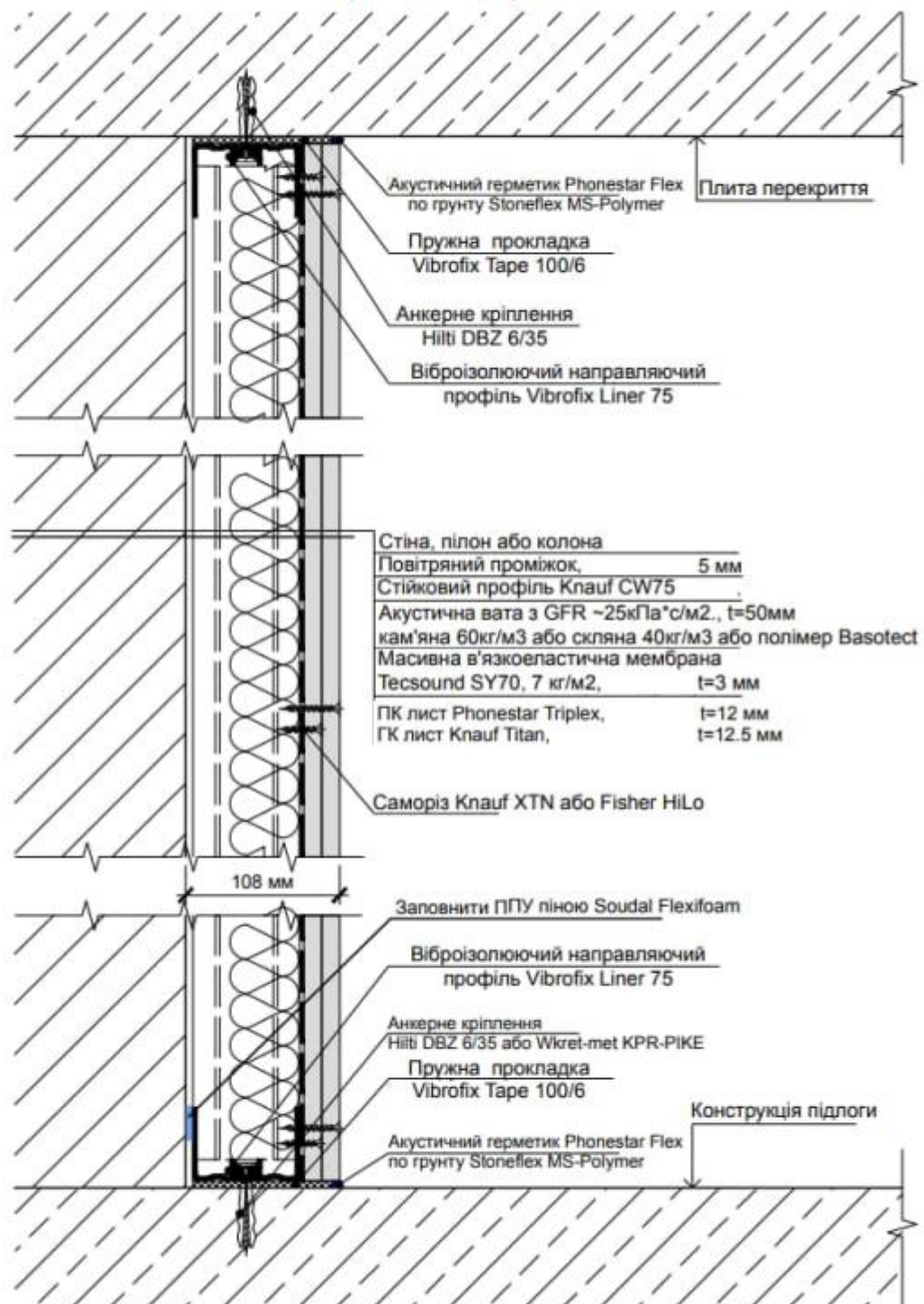
Вузли проекту



Крок 1. Влаштування звукоізолюючої обшивки

Незалежна звукоізоляційна обшивка Vibrofix CW108ML
(не анкерується до стіни)

Вертикальний розріз



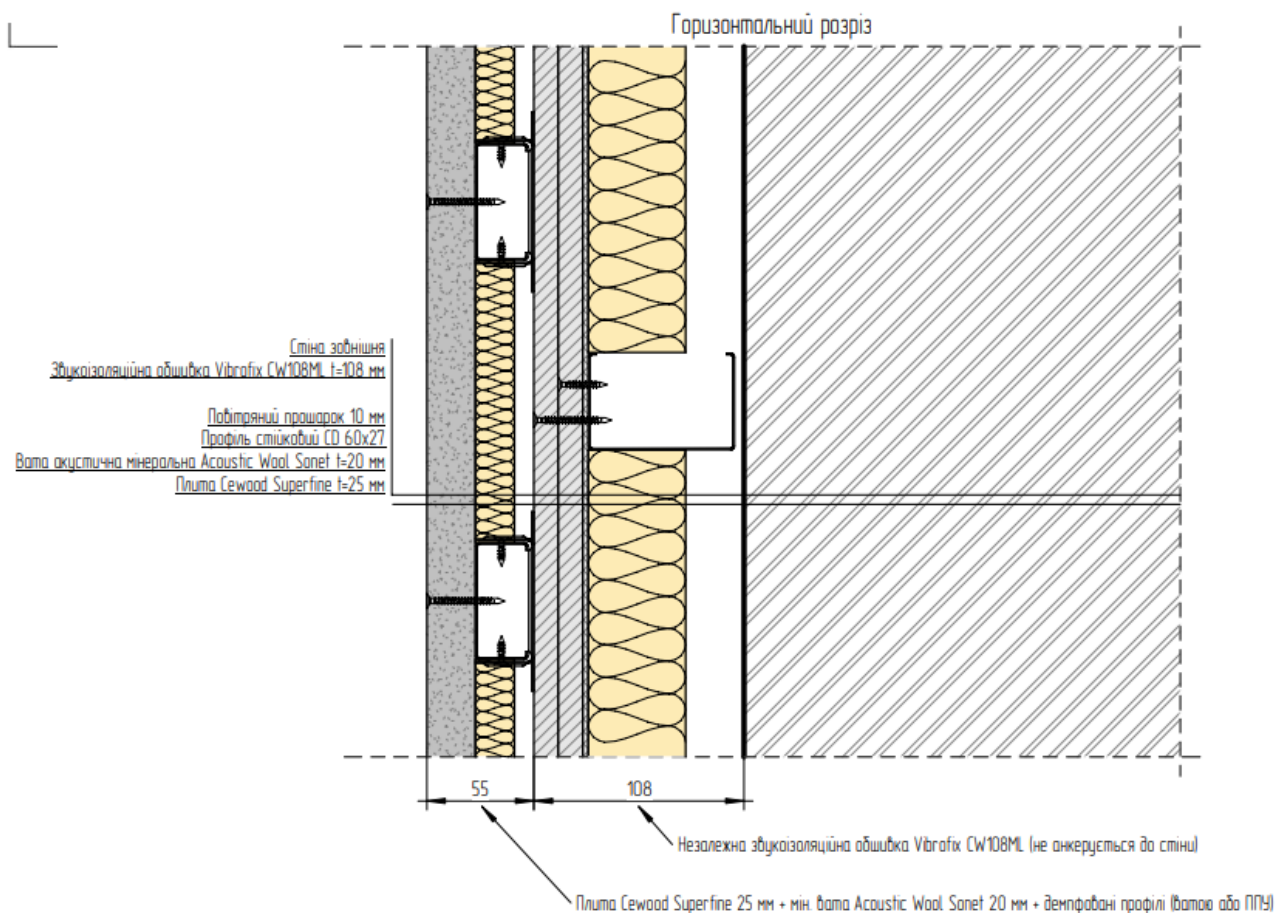
Вата

Примітки:

1. Звукоізоляційне облицювання стін виконується за схемою W626 згідно до детального аркушу "Звукоизоляционные системы Кнауф" 2015.
2. Крок стійок, в залежності від висоти приміщення, вибирається згідно до детального аркушу "Кнауф" W62.
3. Вузли сполучення профільної системи та відстані між профілями розраховані для профільної системи KNAUF. Товщина металу профільної системи KNAUF складає 0.6 мм.

Крок 2. Влаштування звукопоглинаючої обшивки

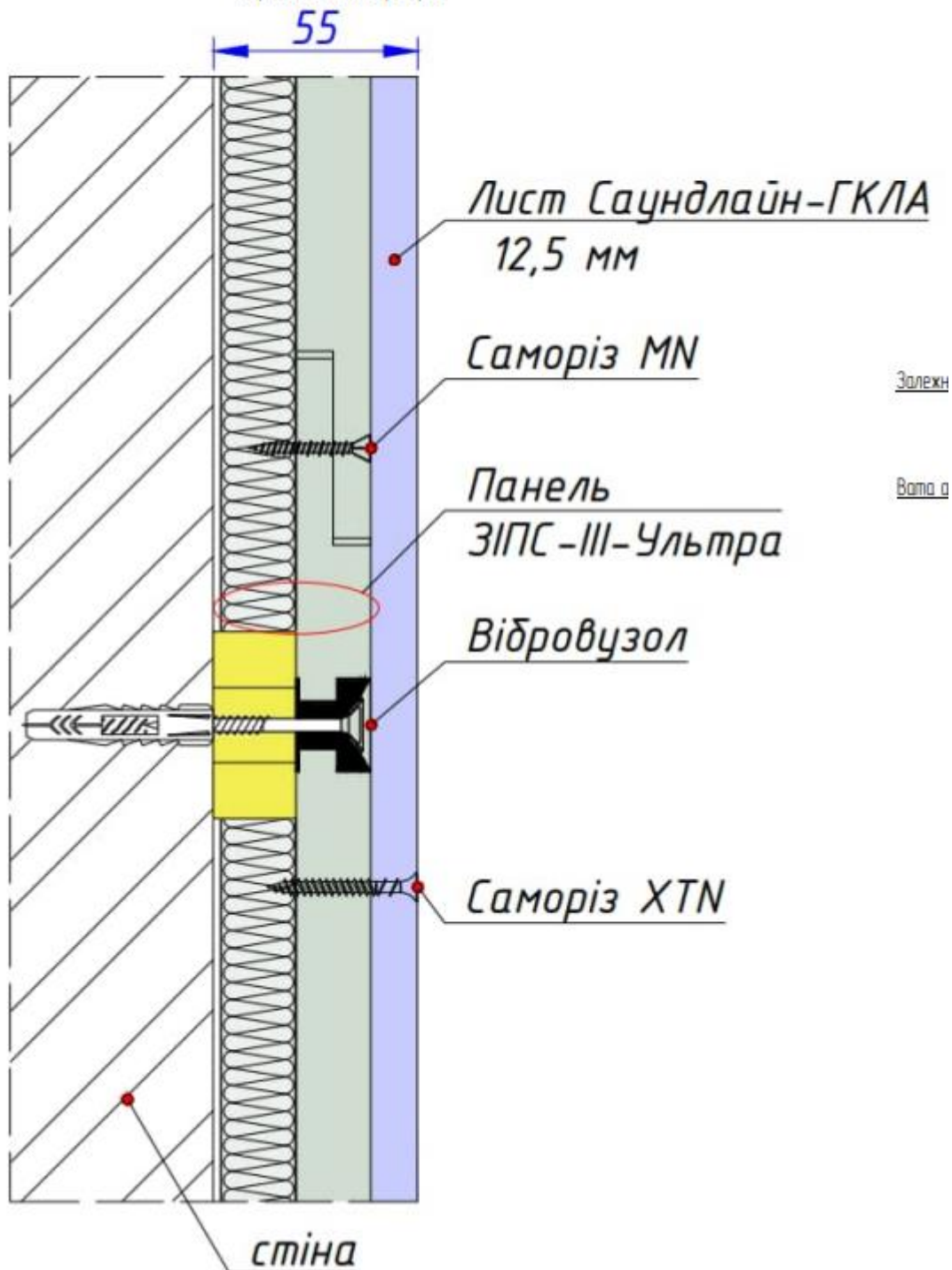
Плита Cewood Superfine + мінеральна вата,
які кріпляться на обшивку Vibrofix CW108ML



Крок 1. Влаштування звукоізолюючої обшивки

Залежна звукоізоляційна обшивка ЗІПС-III-Ультра
(анкерується до стіни)

Вертикальний розріз



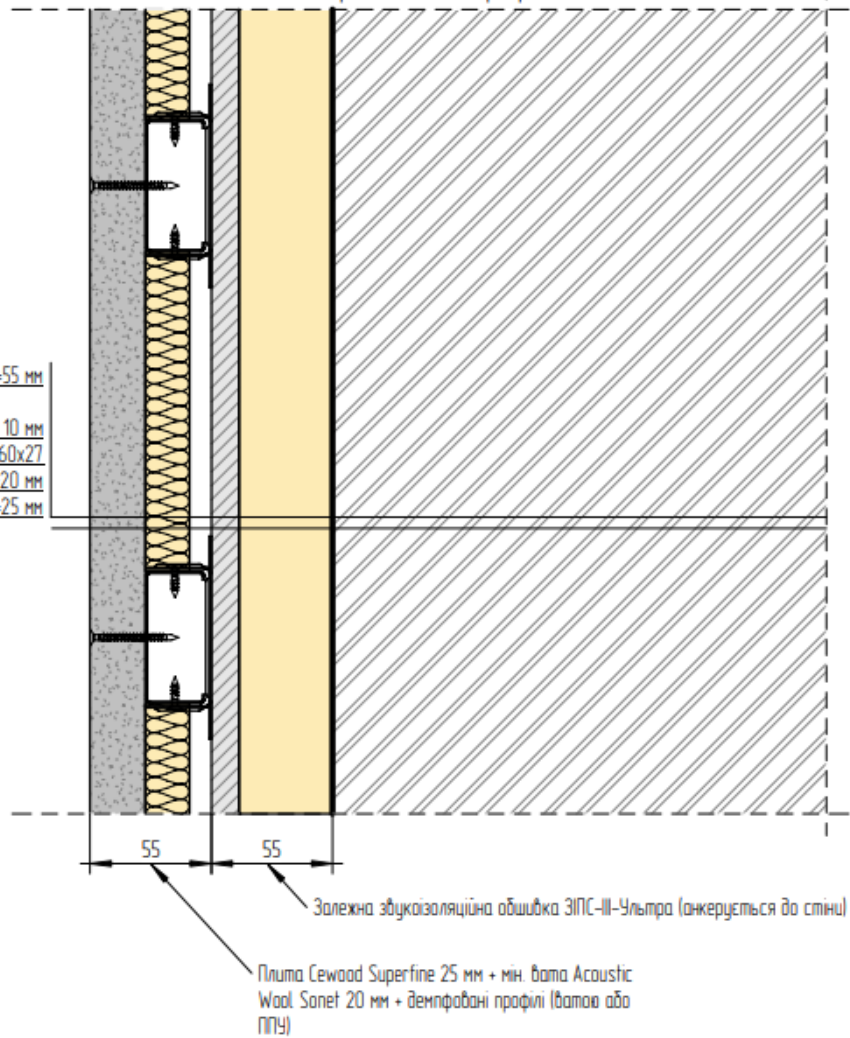
Крок 2. Влаштування звукопоглинаючої обшивки

Плита Cewood Superfine + мінеральна вата,
які кріпляться на обшивку ЗПС-III-Ультра

Горизонтальний розріз

СЛА

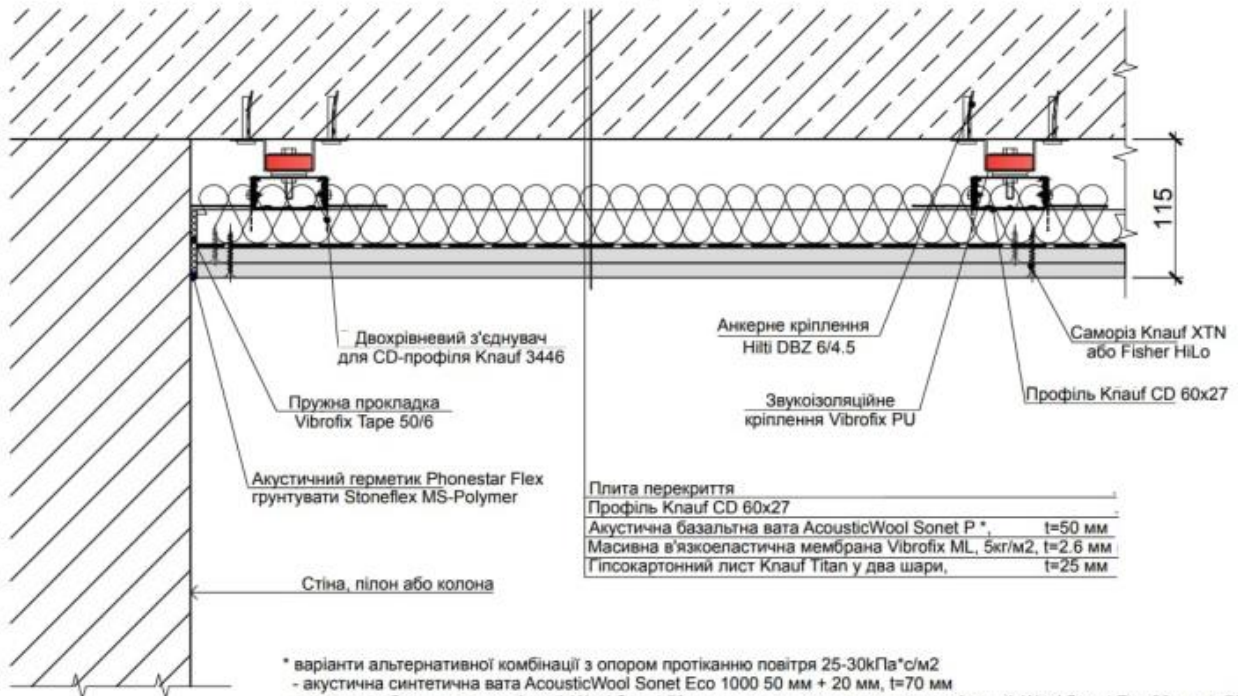
Залежна звукоізоляційна обшивка ЗПС-III-Ультра t=55 мм
 Повітряний прошарок 10 мм
 Профіль стійковий CD 60x27
 Вата акустична мінеральна Acoustic Wool Sonet t=20 мм
 Плита Cewood Superfine t=25 мм



Крок 1

Монтаж звукоізоляційної стелі Vibrofix PU 115 ML

Вертикальний розріз



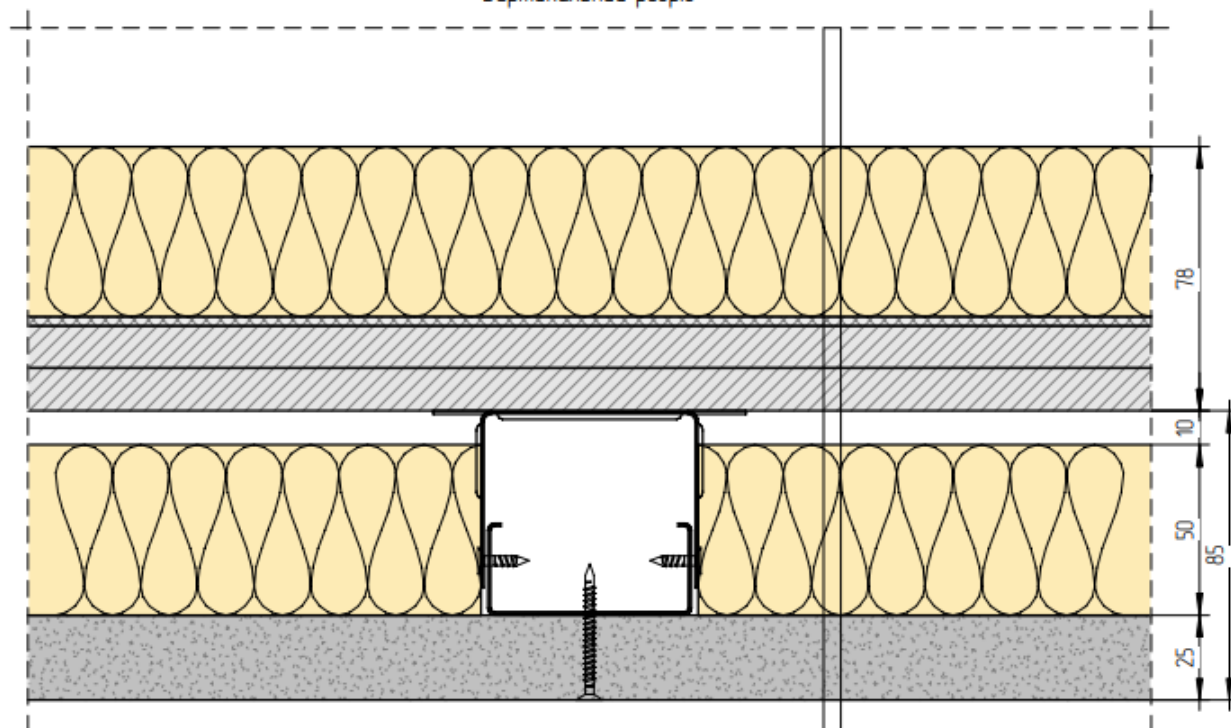
Примітки:

- Звукоізоляційне облицювання стелі виконується за схемою D112 згідно з детальним аркушем "Звукоизоляционные системы Кнауф" 2015.
- Відстань між віброізолюючими кріпленнями підвісної стелі визначається згідно з детальним аркушем "KNAUF" D11.
- Вузли сполучення профільної системи та відстані між профілями розраховані для профільної системи KBAUF. Товщина металу профільної системи KNAUF складає 0,6 мм.

Крок 2

Монтаж звукопоглинаючої стелі
Cewood Superfine на стелю Vibrofix PU 115 ML

Вертикальний розріз



Стеля Vibrofix PU 115 ML, min. $t=78$ мм

Побітряний прошарок 10 мм

Профіль стіжковий CD 60x27

Вата акустична мінеральна Acoustic Wool Sanet $t=50$ мм

Плита Cewood Superfine $t=25$ мм

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра дизайну

СУЛКОВСЬКИЙ Валерій

АНОТАЦІЯ

УДК 725:534.84

Кваліфікаційна робота магістерського рівня вищої освіти виконана на тему:
**«ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ ДИЗАЙНУ В АКУСТИЧНІЙ
КОРЕКЦІЇ ПРОСТОРУ ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ»**

Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно тематичного плану наукових досліджень кафедри дизайну НЛТУ України.

Об'єктом дослідження є дизайн предметно-просторового середовища громадських приміщень.

Предмет дослідження – принципи та методи інтеграції акустичної корекції.

Метою роботи є розробка науково обґрунтованих та практично ефективних принципів використання дизайну для акустичної корекції громадських приміщень, з урахуванням сучасних світових тенденцій і специфіки українського контексту.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (43 найменування), додатків та інформаційного банеру. Повний обсяг дослідження – 137 сторінок. Робота включає банер з анованим викладом змісту наукового дослідження та доповнюючого його ілюстративного ряду і розробки власної дизайн-пропозиції.

Одночасно з науковим дослідженням було розроблено авторську пропозицію дизайну інтер'єру конференц-залу в смт. Брюховичі Львівської області.

Ключові слова: акустичний дизайн, просторове середовище, дизайн громадських приміщень, проектування, дбн, iso.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL FORESTRY UNIVERSITY OF UKRAINE

**Educational and Research Institute of Woodworking Technologies and
Design**

Department of Design

SULKOVSKYI Valerii

ABSTRACT

УДК 725:534.84

The qualification work of the master's level of higher education was performed on the topic:

**«APPLICATION OF DESIGN PRINCIPLES IN ACOUSTIC CORRECTION
OF PUBLIC SPACES»**

The master's qualification work was carried out according to the thematic research plan of the Department of Design of the National Technical University of Ukraine.

The object of research is the design of the subject-spatial environment of public spaces.

Subject of research - principles and methods of acoustic correction integration.

The aim of the work is to develop scientifically sound and practically effective principles of using design for acoustic correction of public spaces, taking into account current global trends and the specifics of the Ukrainian context.

The qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references (43 titles), appendices and an information banner. The total volume of the research is 137 pages. The work includes a banner with an annotated presentation of the content of the research and its complementary illustrative series and the development of its own design proposal.

Simultaneously with the scientific research, an author's proposal for the interior design of a conference hall in the village of Bryukhovychi, Lviv region, was developed.

Keywords: acoustic design, spatial environment, public space design, design, dnc, iso.