
УДК 515.2

Козак Юрій Валентинович

Старший викладач кафедри архітектурних конструкцій

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ШЛЯХИ ЕКОНОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АКУСТИКИ ЗАЛІВ ЗА РАХУНОК
МАКСИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДБИТОЇ ЕНЕРГІЇ ЗВУКІВ**

***Анотація.** Історія архітектурної акустики свідчить про тенденцію розвитку методів проектування відбиттів для підсилення звуку видовищних та культових залів, завдяки чому в сучасному акустичному середовищі природні засоби підсилення звуку у вигляді відбиваючих екранів без використання звукопідсилюючої апаратури направляють відбиття на слухачів. Використання поверхонь 2-го та вищих порядків в якості відбиваючих екранів та їх трансформація дозволяють проектувати сучасні зали зі складними формами внутрішніх поверхонь та проводити акустичний розрахунок відбиттів від них.*

***Ключові слова:** акустика; поверхні 2-го та вищих порядків; трансформовані відбиваючі екрани; поверхня відбитих променів*

Постановка проблеми.

Історичний досвід розвитку архітектурного проектування та проектування акустичного середовища видовищних та культових приміщень свідчить про необхідність вивчення поверхонь 2-го та вищих порядків в якості огорожуючих та відбиваючих. Проф. Підгорний О.Л. та його учні доклали багато зусиль для вивчення звукових та світлових відбиттів, що відображено в багатьох публікаціях та дисертаційних роботах. Розроблені методики та способи розрахунку підсилення звукової енергії за допомогою поверхонь відбитих променів [1]. Подальші дослідження проводяться в області розширення найменувань відбиваючих поверхонь та дослідження поверхонь відбитих променів від їх твірних. Ці дослідження дозволять вирішити зворотну задачу отримання відбиваючих поверхонь по відомій поверхні відбитих променів, тобто, задача взаємозамінності відбиваючих екранів.

При вирішенні задач акустики проектувальники стикаються з проблемами змінної кількості глядачів, вимогами багатofункціональності залів, явищами концентрації та розсіюванні потоків звукової енергії. Розробки в області трансформації форми відбиваючих поверхонь та їх положення дозволяють змінювати ревербераційні характеристики залів, підсилувати звук та вирішувати проблему луни.

Аналіз основних досліджень та публікацій.

В публікації [1] розглянуті способи побудова поверхонь відбитих променів за допомогою поверхонь

нормалей до твірних відбиваючих поверхонь. Це дозволило розширяти перелік відбиваючих поверхонь. В публікаціях [2, 3] розглядаються торсові поверхні, методи їх побудови, їх класифікація та можливості їх використання в якості відбиваючих поверхонь.

Впровадження в акустиці, світлотехніці та геліотехніці відбиваючих властивостей поверхонь розглянуто в статтях [4, 7, 9], розроблені методики побудови поверхонь відбитих променів, проектування концентраторів та розсіювачів, запропоновано об'єднану геометричну інтерпретацію хвильового та променевого трактувань розповсюдження коливань.

В [9] зібрані дослідження поверхонь, їх аналітичний опис та візуалізація.

Публікація [5] розглядає один із варіантів опису поверхонь відбитих променів. За допомогою геометричного та аналітичного опису поверхонь відбитих променів можливо вирішити зворотню задачу по отриманню відбиваючих поверхонь при відомій поверхні відбитих променів. Це можливо зробити в рамках систематизації відбиваючих поверхонь по типу поверхонь нормалей до їх твірних [6].

Формулювання мети статті.

Метою статті є удосконалення методів акустичного розрахунку за допомогою дослідження відбиттів від відбиваючих екранів складних форм у вигляді аналітичних поверхонь 2-го та вищих порядків.

Задачі статті - розглянути способи збільшення кількості видів відбиваючих поверхонь в залежності від типу поверхонь нормалей до їх твірних, знайти засоби покращення акустичних властивостей залів за рахунок трансформації та зміни відбиваючих екранів, що дозволить універсалізувати видовищні зали.

Основна частина

Етапи розвитку науки про проектування акустичного середовища видовищних споруд умовно можна розділити на кілька періодів. Античний період характеризується як правило відкритими театрами, максимальним наближенням слухачів до джерела. Відбиваючим екраном для підсилення звуку була стіна за сценою, що недостатньо підсилювало звук за рахунок перших відбиттів. Так, ще до кінця XIX сторіччя, коли почався активний розвиток театрального та концертного мистецтва, архітектори не використовували для підсилення звуку відбиваючі екрани, використовуючи грецький та римський принципи акустики по прямому розповсюдженню звуку від джерела до слухачів, часто за допомогою рупорів. Далі, починаючи з XVIII сторіччя, під час зростаючої потреби в видовищних закритих залах, спочатку використовували не зовсім пристосовані для концертів зали, а вже з XIX сторіччя почалось цільове будівництво видовищних споруд та стрімкий розвиток акустичного проектування. Перший концертний зал датується 1748 роком; коли на границі XVIII и XIX сторіч пройшли революційні зміни в соціальних обставинах концерта, що перетворило його к середині XIX сторіччя в загальнодоступне музикальне явище практично сучасних часів. За сторіччя між 1840 и 1940 роками остаточно склався набір необхідних елементів архітектурної мови, набір форм, достатніх для побудови практично будь-якого видовищного залу, які практично не змінилися за наступні 70 років.

Створення закритого театру дозволяє архітектору більш суттєво впливати на його акустику у замкнутому приміщенні. Крім прямого звуку (який звучить безпосередньо від джерела) виникають звукові відбиття від внутрішніх поверхонь. Вони створюють процес реверберації у приміщенні, що істотно залежить від геометрії й обробки залу.

На стику століть відбулося остаточно розділення професії музиканта на самостійні вільні професії – композитора, виконавця і диригента. Музика входить в число «високих мистецтв», музичні спільноти різко професіоналізуються. Так, якщо в Товаристві любителів музики Оксфорда (1745) з 30 постійних членів тільки п'ять були професійними музикантами-педагогами, то в 1813 році Філармонічне товариство Лондона було створено як професіоналами, так і аматорами, а далі, Нью-йоркське Філармонічне

товариство, створене у 1842-му, було вже повністю професійним. Створюються професійні оркестри в Гарварді (1808), Цюріху (1818), Гамбурзі та Парижі (1828), Зальцбурзі (1841), Відні (1842). Стають повністю професійними оркестри у Франкфурті (1808), Лейпцигу (1820-і).

Найважливішим джерелом професійних кадрів стали консерваторії нового типу (до цього моменту консерваторіями називалися виховні заклади з музичним ухилом, з початку XIX століття вони принципово змінили своє призначення). Такі консерваторії відкрились в Парижі (відкрита в 1796), Мілані (1807), Відні (1819), Лондоні (1822), Гаазі (1826), Брюсселі (1826), Женеві (1835), Лейпцигу (1843).

У 1877-78 роках виходить друком двотомна «Теорія звуку» лорда Релея (Дж.У.Стретт) [3], яка звела в єдину систему ряд найважливіших теоретичних і експериментальних досліджень попередніх ста років з різних областей фізики і математики. Книга миттєво стала настільною як серед представників теоретичної фізики, так і серед інженерів-будівельників, для яких найбільш важливим застосуванням нової науки було зменшення шуму в будівлях і розробка нових ефективних технічних методів акустичної ізоляції. По суті, основним значенням цієї праці стало те, що вперше було запропоновано комплекс конкретних методів оцінки і розрахунку акустики концертного залу ще на стадії його проектування.

І все ж XIX сторіччя характерно багатоярусними театрами оперного типу, де в основному використовувались пряму звуку від джерела к слухачу.

XX сторіччя принесло нові тенденції проектування акустики залів. Так, зал Radio City Music Hall (Нью-Йорк), місткістю 5933человека, побудований архітектором Е. Д. Стоун, за участю Д. Дески в 1932 році, розташований на 10-11 поверхи в хмарочосі «Рокфеллер-центру». Дев'ять перших поверхів зайняті звукозаписними студіями і радіостудіями. Радіо-Сіті являє собою величезний багатофункціональний зал, в якому зібрані всі новітні досягнення архітектурної акустики. Серед новітніх для того часу архітектурно-акустичних рішень Радіо-Сіті звертають на себе увагу, по-перше, сегментовані стіни з рухомими сходами, які відіграють роль регульованих акустичних дзеркал, а по-друге, сегментований ступінчастий склепінчаста акустична стеля з регульованими консольними акустичними екранами. По-третє, для поліпшення звукоізоляції застосовані акустичні порожнини між архітектурним і акустичним стелями. Зал має складну подвійну сегментно-еліпсоподібну форму з трьома ярусами консольних балконів.

Починаючи з середини ХХ сторіччя, акустична наука ставить перед архітекторами умови проектування, завдяки яким змінюється форма залів та удосконалюються методи передачі та підсилення звука.

Для універсализації акустичних властивостей зала використовують трансформовані зали. Природня акустика залів для музикальних концертів чи аудиторій з мовним звучанням потребують різні властивості відбиваючих поверхонь або часу реверберації. При зменшенні кількості слухачів в залі необхідно зменшити об'єм залу, що можна зробити за рахунок опускання відбиваючих екранів стелі або стін, перенаправити звукові відбиття на існуючих слухачів. Зменшення часу реверберації можливо як за рахунок зменшення об'єму залу, так і підвищенням звукопоглинаючих можливостей поверхонь. Таким чином, для вирішення акустичних питань для універсальних залів використовують такі засоби трансформації як рухомі відбиваючі екрани, змінний об'єм зала, перемінний час реверберації, трансформація сценічного простору, трансформація положення глядацьких місць та зміна місткості залу.

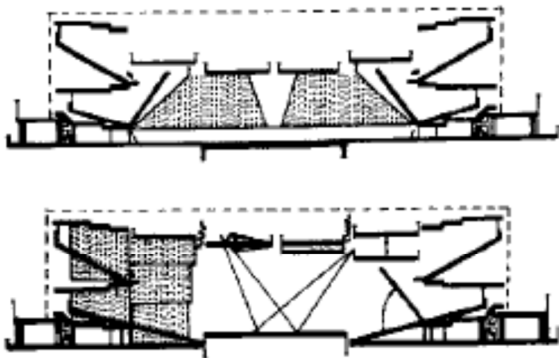


Рисунок 1. Палац Республіки в Берліні. Вертикальна трансформація залу.

Виходячи з розглянутих прикладів можна зробити наступні висновки. В другій половині ХХ сторіччя та в ХХІ сторіччі людство відмовилось від облаштування залів за принципом прямого звуку від джерела до слухача, як будували в часи греків та римлян, а також відмовились від традиційного в ХVІІІ-ХІХ сторіччях принципу багатоярусних театрів з найближчим шляхом від сцени до глядацьких місць. Сучасні архітектори не обмежують себе в виборі форм залів. Головною задачею інженера-акустика з точки зору забезпечення звуком слухачів, вибрати необхідне розташування, форму та кількість відбиваючих екранів, не змінюючи задумку архітектора.

Таким чином, простежується тенденція в розвитку способів природнього підсилення звуку за

рахунок перенаправлення відбитої звукової енергії на слухачів.

Сучасні архітектурні рішення видовищних споруд передбачають використання складних форм оздоблюючих конструкцій залів. Так, опера в Гуанчжоу, спроектована Захой Хадид ілюструє саме такий приклад (рис.2)



Рисунок 2. Опера в Гуанчжоу, арх.Заха Хадид.

Для проектування складних форм відбиваючих екранів необхідно дослідити властивості відбиваючих поверхонь.

Запропоновано [6] розділити відбиваючі поверхні по типу поверхонь нормалей до їх твірних. Так, виникає п'ять основних типів поверхонь з поверхнями нормалей вздовж їх твірних у вигляді площини паралельних прямих, гіпара, плоского пучка прямих, кругового конуса та поверхні 4-го порядку. В границях свого типу ці поверхні взаємозамінні вздовж своїх твірних, тобто, завдяки наведеній систематизації можна вирішити зворотню задачу побудови відбиваючого екрана по відомим поверхням нормалей та відбитих променів.

Перший тип (рис.3), для якого поверхнями нормалей до твірних є площини, цікавий тим, що до нього відносяться розгортні лінійчаті поверхні, які можна використовувати як трансформовані. За допомогою такої трансформації форми можна змінювати акустичні характеристики залу, концентрувати або розсіювати звук, перенаправляти в інше місце або на інші екрани для використання других відбиттів для підсилення звуку. До відбиваючих поверхонь першої групи відносяться площина, циліндричні поверхні, конус, торс.

Окрім відомих поверхонь, до першого типу можна віднести також такі екзотичні поверхні, як циліндрична поверхня з ланцюгової лінії, спіралі Архімеда, гіперболи, параболи, лемніскатний [9] циліндр і таке інше.

Разом з першим типом чотири останні теж можна використовувати у трансформації, але це буде

трансформація в першу чергу у зміні положення. Зміна положення екранів в просторі дозволяє змінювати ревербераційні характеристики залів, їх призначення, що робить зали багатофункціональними. Зміна положення також може регулювати область опромінення.

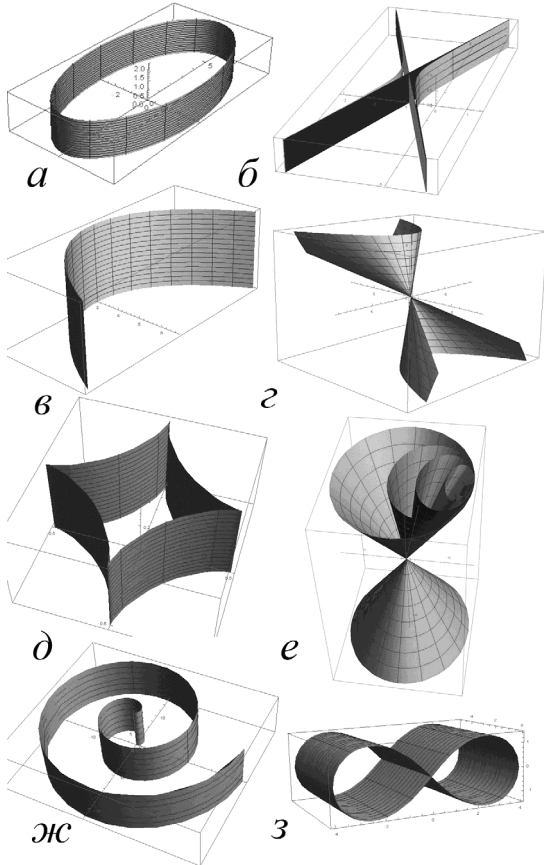


Рисунок 3. Поверхні першого типу. а-еліптичний циліндр, б-гіперболічний циліндр, в-ланцюгова циліндрична поверхня, г-параболічна конусна поверхня, д-астроїдальна циліндрична поверхня, е-конуси загального вигляду, які стикаються по прямолінійній твірній, ж- пряма циліндрична поверхня з напрямною Спіраллю Архімеда, з-лемніскатний циліндр.

До другого типу поверхонь відносяться поверхні з нормаллями у вигляді гіперболічних параболоїдів. Такими поверхнями є лінійчаті косі поверхні.

Третій тип цікавий своїм різноманіттям. До нього відносяться поверхні обертання. В джерелі [9] наведено великий перелік алгебраїчних поверхонь обертання з рівняннями та основними характеристиками.

До четвертого типу відносяться поверхні з плоскими пучками нормалей вздовж їх твірних. Це різні поверхні, трубчаті та окремі випадки поверхонь з інших груп.

П'ятий тип це поверхні другого порядку загального виду, вздовж криволінійних твірних яких створюються поверхні нормалей 4-го порядку.

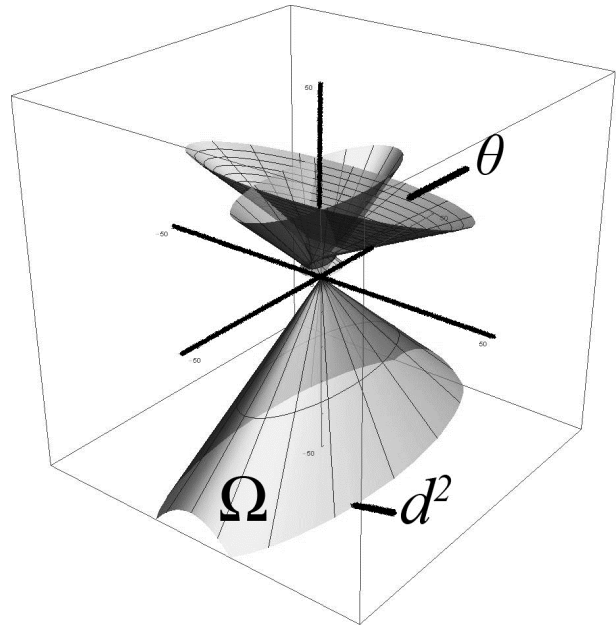


Рисунок 4. Поверхня нормалей 4-го порядку θ вздовж твірного еліпса конуса 2-го порядку загального виду Ω .

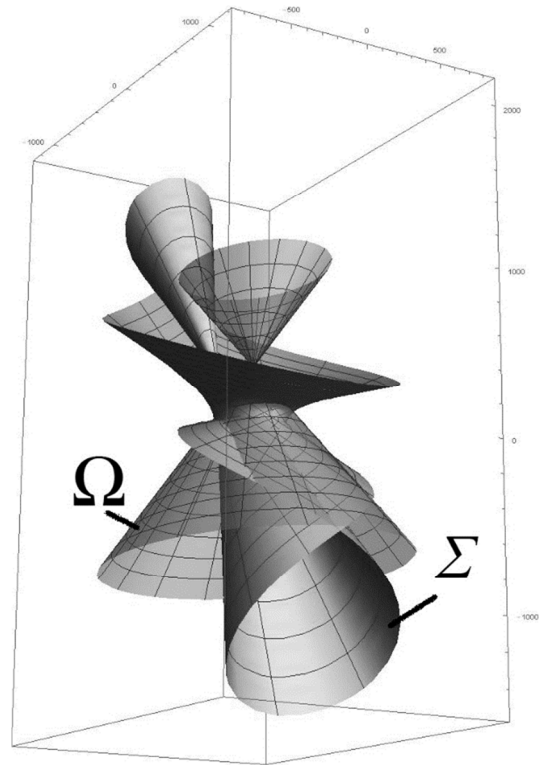


Рисунок 5. Поверхня Σ відбитих променів від твірного еліпса конуса 2-го порядку загального виду Ω .

При побудові відбиттів від твірних перелічених поверхонь створюються поверхні відбитих променів, що дозволяє взаємозамінити, в рамках типів, відбиваючі поверхні вздовж їх твірних. Таким чином вирішується зворотня задача знаходження відбиваючої поверхні при відомих характеристиках залу, твірної та відбиттів.

Література

1. Подгорный А.Л. Поверхности отражённых лучей // Прикладная геометрия и инженерная графика. Вып. 20. –К.: Будівельник, 1975. – С.13 -16.
2. Підгорний О.Л. Возможности использования торсовых поверхностей в качестве відбивачів сонячних променів.// Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2008. Вип. 80. – С. 11-15.
3. Обухова В.С. Конструктивні способи утворення алгебраїчних торсів 4-го класу./ Обухова В.С., Підгорний О.Л.//Прикладна геометрія та інженерна графіка. Вип.4, т.11.-Мелітополь:ТДАТА 2000.-122с.
4. Підгорний О.Л. Моделирование ланцюжків прямих, відбитих, заломлених та дифрагуючих випромінювань на основі об'єднання хвильового та променевого трактувань розповсюдження коливань. //Геометричне та комп'ютерне моделювання., Харків, 2004, Випуск 4, стор.20-31.
5. Козак Ю.В., Исследование отражающих поверхностей высших порядков в приложении к акустическому расчету помещений. Тези доповідей наукової кримської конференції, Сімферополь, 2005, С.9-12.
6. Козак Ю.В., Дослідження поверхонь нормалей як засіб систематизації поверхонь відбиття// Енергоефективність в будівництві та архітектурі.Вип.5.-К.:КНУБА, 2013.-с.66-69.
7. Підгорний О.Л. Відбиття від ортотоміки при паралельних падаючих променях/ Підгорний О.Л., Дворецький О.Т. //Праці ТДАТА. 2002.-Вип.4.том15.-С.9-15.
8. Подгорный А.Л. Алгоритм автоматизированного проектирования звукового комфорта зрелищных помещений./ Подгорный А.Л., Высоцкий А.Н., Лунев Г.В., Мартиросов А.Л. // Прикладная геометрия и инженерная графика. Вып. 11. –К.: Будівельник, 1970. –С.10-13.
9. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей.-М., Книжный дом «Либроком», 2009. 556стр.

Стаття надійшла в редколегію 06.04.17

Рецензент: д.т.н., проф. В. О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Козак Юрий Валентинович

Старший преподаватель кафедры архитектурных конструкций
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ПУТИ ЭКОНОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АКУСТИКИ ЗАЛОВ ЗА СЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАЖЕННОЙ ЭНЕРГИИ ЗВУКОВ

Аннотация. История архитектурной акустики свидетельствует о тенденции развития методов проектирования отражений для усиления звука зрелищных и культовых залов, благодаря чему в современной акустической среде средства естественного усиления звука в виде отражающих экранов без использования звукоусиливающей аппаратуры направляют отражения на слушателей. Использование поверхностей 2-го и высших порядков в качестве отражающих экранов и их трансформация позволяют проектировать современные залы со сложными формами внутренних поверхностей и проводить акустический расчет отражений от них.

Ключевые слова: акустика; поверхности 2-го и высших порядков; трансформированные отражающие экраны; поверхность отраженных лучей

Kozak Yurii V.

Chair of Architectural Constructions
Kiev National University of Construction and Architecture

WAYS OF ECONOMY DESIGN OF HALLS ACOUSTICS USING REFLECTED SOUND ENERGY

Abstract. History of architectural acoustics shows the trend to design reflections for reinforcement of reflected sound. Modern architectural acoustics uses reflected screens without amplification system for aim of electricity economy. Using surfaces of 2-nd and higher order as reflecting screens and their transformations allows to design modern halls with complex forms and make acoustical design of reflections from these screens.

Keywords: acoustics; surfaces of 2-nd and higher order; transformable reflecting screens; surfaces of reflected rays