

Старший преподаватель **Козак Ю. В.**

Кафедра архитектурных конструкций

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ АКУСТИКИ ЗАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ В ВИДЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ

Аннотация. В области архитектурной акустики при акустическом расчете залов подбирают отражающие поверхности, которые могут обеспечить диффузное распространение звуковых лучей и перенаправить звуковую энергию на удаленных от источника звука слушателей. При названном подходе, форма такой поверхности играет главенствующую роль. В статье предлагается способ подбора таких форм.

Ключевые слова: архитектурная акустика, отражающая поверхность, поверхность нормалей, поверхность отраженных лучей

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования в области архитектурной акустики напрямую связаны с исследованием свойств поверхностей 2-го и высшего порядков. К сечениям многих из них известны поверхности нормалей. Получение отражений от поверхностей 2-го и высшего порядков в виде поверхностей отраженных лучей дает перспективу комбинации сложных интерьерных решений и правильной акустической ситуации в залах.

Отражающий свойства поверхностей, а также методы построения отражений и теория поверхностей отраженных лучей широко представлены в работах проф. Подгорного А. Л. [1; 2] и его учеников.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЙ

Поиск и подбор отражающих экранов для отражения звуковой энергии к слушателям можно представить четырьмя пунктами:

1. Анализ отражающих поверхностей, применяемых в архитектуре.
2. Систематизация отражающих поверхностей.
3. Исследование поверхностей нормалей.
4. Получение поверхностей отраженных лучей.

Первый пункт широко представлен в архитектурной практике. Старая архитектура использовала в основном плоскостные поверхности, конус, сферические и цилиндрические. Сферические и цилиндрические отражающие экраны традиционно используются для строительства культовых сооружений. Эту форму придают куполам, нефам и апсидам. Построение отражений от таких поверхностей показывают, что эта форма не всегда эффективно решает проблему доставки звуковой энергии слушателям. Сводчатая конструкция в форме параболоида с древних



Рис. 1. Планетарий в Бохуме (Германия)

времен использовалась еще в Средней Азии и имеет название «балхи». В европейской истории параболоид применили при строительстве куполов собора Св. Петра в Риме (Италия) и Исаакиевского Собора в Санкт-Петербурге (Россия). В наши времена, эту форму использовали при строительстве покрытий Педагогического музея в Киеве (Украина), Московского планетария (Россия), церкви в Оклахома-сити (США), планетария в Бохуме (Германия) (рис. 1) и др.

Современная архитектура не ограничивает себя в выборе форм и силуэтов зданий ни стилистически, ни технологически. Это можно увидеть в проектах и реализациях современных разработок концертных залов и культовых сооружений. Форма гиперболического параболоида является довольно распространенной в строительной практике. В качестве примера можно привести покрытие здания Дворца права в

Антверпене (Голландия), церкви Святого Йосифа в Мексике, Стадион в г. Калгари (Канада), крыша Национальной медицинской библиотеки в США, Commonwealth Institute в Лондоне (Великобритания), покрытие культового сооружения Mary's Cathedral в г. Сан-Франциско (США) состоит из восьми гипаров (рис. 2).



Рис. 2. Культовое сооружение Mary's Cathedral в г. Сан-Франциско (США)

Современные архитекторы также используют и более сложные формы внутренних поверхностей стен и потолков. Так, проект оперы в Гуанчжоу демонстрирует подобные смелые решения (рис. 3).

Безусловно, для того, чтобы использовать на практике столь сложные формы, все многообразие отражающих поверхностей необходимо систематизировать, что упростит построения и позволит подобрать оптимальную форму экранов.

Существуют различные варианты классификаций поверхностей [3]. Однако, с точки зрения отражений, есть смысл систематизировать от-

ражающие поверхности в привязке к методу построения отражений. Основываясь на построение отражений от нормали к поверхности, можно систематизировать отражающие поверхности по типу поверхностей нормалей к их сечениям. Таблица 1 демонстрирует разбиение поверхностей на четыре группы, соответствующие поверхностям нормалей



Рис. 3. Проект оперы в Гуанчжоу (Китай)

в виде плоскости, гиперболического параболоида, кругового конуса и поверхности нормалей 4-го порядка.

Пользуясь предложенной классификацией, были разработаны акустические проекты помещений сложной формы. Осуществлены акустические расчеты многих церквей, спроектированных проектным бюро «Лицензиарх» под руководством доктора арх., профессора кафедры основ архитектуры и архитектурного проектирования Слепцова О. С. Отражающие поверхности сложной формы были опробованы в таких проектах, как церковь в храмовом комплексе Иконы Божьей Матери Живоносный Источник в г. Киеве на ул. Симиренко 12, храм Святого Пророка Божиего Ильи в г. Славутич Киевской области, храм Святителя Николая Чудотворца Мир Ликийских в г. Чернигове и др. Для обеспечения отраженным звуком прихожан, когда источник звука скрыт за иконостасом, в храме Святого Пророка Божиего Ильи рекомендовано использовать завершение апсиды в форме эллипсоида (рис. 4).

Выводы. На основании предложенной классификации открывается возможность исследователям проблем акустики, а также инженерам в этой области подбирать по наперед заданным условиям наиболее подходящие поверхности в качестве отражающих экранов, объединяя при

Систематизация отражающих поверхностей
по типу поверхности нормалей

Поверхность нормалей	Отражающая поверхность	Уравнение отражающей поверхности
Плоскость (I группа)	Плоскость	$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1$
	Цилиндр	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
	Конус (эллиптический)	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Торс	$r = r(u, v) = a(v) + u(v)$
Гиперболический параболоид (II группа)	Гиперболический параболоид	$z = \frac{x^2}{2p} - \frac{y^2}{2p}$
	Однополостный гиперболоид	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Линейчатые спиралевидные поверхности	$z = \pm\sqrt{x^2 + y^2 - a^2} \operatorname{ctg} \gamma + p \operatorname{Arctg} \frac{y}{x} \pm p \operatorname{Arctg} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 - a^2}}{a} \right)$
Круговой конус (III группа)	Круговой конус	$\frac{x^2 + y^2}{a^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$
	Эллипсоид вращения	$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Однополостный гиперболоид вращения	$\frac{x^2 + y^2}{a^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$

Продовження табл. 1

Поверхность нормалей	Отражающая поверхность	Уравнение отражающей поверхности
	Двуполостный гиперboloид вращения	$\frac{-x^2 - y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Параболоид вращения	
	Тор	$(x^2 + y^2 + z^2 + a^2 - b^2)^2$
	Циклиды Дюпена	$(x^2 + y^2 + z^2 - \mu^2 + b^2)^2 = 4(cx - a\mu)^2 + 4b^2y^2$
	Поверхности Иоахимсталя	$(x^2 + y^2 + z^2 - 2\mu ax)^2 = 4a^2(x^2 + y^2)$
Поверхность нормалей 4-го порядка (IV группа)	Конус общего вида	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$
	Эллипсоид общего вида	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Однополостный гиперboloид общего вида	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Двуполостный гиперboloид общего вида	$-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
	Параболоид общего вида	$z = \frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2p}$

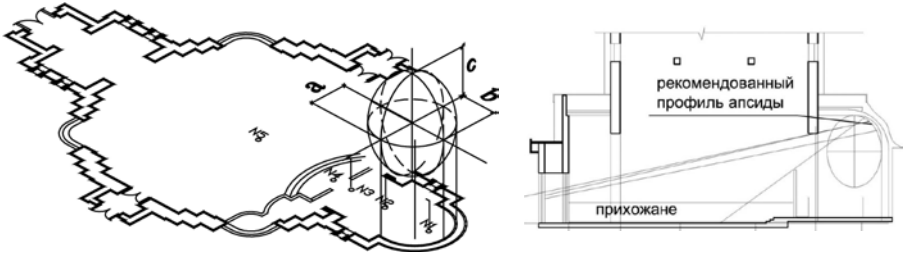


Рис. 4. Апсида в храме Святого Пророка Божиего Ильи

этом эстетические требования с акустическим эффектом, приемлемыми в требуемом помещении.

Литература

1. Підгорний О. Л. Розшарування конгруенцій нормалей поверхонь 2-го порядку вздовж ліній плоских перерізів // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КДТУБА, 1996. – Вип. 60. – С. 8-14; Вип. 61. – С. 10-12.
2. Подгорный А. Л. Поверхности отражённых лучей // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К.: Будівельник, 1975. – Вип. 20. – С. 13-16.
3. Кривошапко С. Н., Иванов В. Н. Энциклопедия аналитических поверхностей. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 556 с.

Анотація. В області архітектурної акустики при акустичному розрахунку залів підбирають відбиваючі поверхні, які можуть забезпечити дифузне розповсюдження звукових променів та перенаправити звукову енергію на віддалених від джерела звука слухачів. У названому підході форма такої поверхні грає головну роль. У статті пропонується засіб підбору таких форм.

Ключові слова: архітектурна акустика, відбиваюча поверхня, поверхня нормалей, поверхня відбитих променів

Annotation. The choice of form of reflection surfaces is a main component of acoustics calculation. Systematization of reflecting surfaces and analysis of reflections was proposed as new decisions in architecture.

Keywords: architectural acoustics, reflecting surface, surface of normals, surface of reflected rays