

УДК 534.843.26

В.В. Усик<sup>1</sup>, И.Г. Мягкий<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный технический университет "ХПИ", Харьков<sup>2</sup>ООО «Мюзикленд», Харьков

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЗУКООТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Работа посвящена разработке программного обеспечения, которое позволяет проводить проверку и конструирование профилей звукоотражающих поверхностей. Предлагаемые программные модули дают возможность проводить оценку архитектурных решений стен и потолков в проектируемых залах в САПР AutoCad. Разработка модулей велась на языке AutoLisp. Использование модулей позволило провести проектирование залов с различным назначением на Украине и в России.

**Ключевые слова:** акустические свойства помещений, геометрическая теория, программное обеспечение, звукоотражающие поверхности.

### Введение

**Постановка проблемы.** При решении задачи акустического проектирования общественных зданий, имеющих в своем составе речевые и музыкальные залы, архитекторами в первую очередь решается задача создания благоприятных акустических свойств зала. Решая поставленную задачу, архитекторы принимают объемно-планировочные решения, исходя из трех существующих теорий: статистической, волновой, геометрической.

Три теории с разных сторон объясняют акустические процессы, происходящие в помещениях. Из них только одна – статистическая, позволяет определить численно важную величину, характеризующую акустические свойства помещения, – время реверберации (однако в большинстве случаев, особенно при рассмотрении крупных помещений, она носит ориентировочный характер).

Принято разделять процесс отзвука, или реверберации, на две части: начальные, сравнительно редкие запаздывающие импульсы, и более уплотняющаяся во времени последовательность импульсов [1 – 5]. Первую часть отзвука оценивают с позиций геометрической (лучевой) теории, вторую – с позиций статистической теории.

Статистическая и волновая теории применимы к помещениям сравнительно малых размеров, например, к студиям звукового вещания и аудиториям различного назначения. Результаты этих теорий дополняют друг друга. Первая дает возможность оценить время реверберации, вторая – рассчитать спектр собственных (резонансных) частот, скорректировать размеры помещения так, чтобы спектр собственных частот в области нижних частот был более равномерным.

Геометрическая теория более применима к анализу акустических процессов в помещениях больших размеров: концертных и театральных за-

лах, крупных студиях. Оптимальные размеры зала (студии) определяют на основе анализа начальных отражений. При проектировании больших помещений расчет времени реверберации может дать результат, значительно отличающийся от реального, и главное – эта величина не позволяет полностью оценить акустическое качество помещения. В такой оценке главную роль играют начальные отражения. Правильное временное соотношение начальных отражений обеспечивает высокое качество звучания даже тогда, когда время реверберации отличается от оптимального [1 – 5].

Именно с этих позиций актуальной задачей является разработка способов усовершенствования, повышения достоверности, уменьшения трудоемкости использования геометрической и статических теорий при проектировании зрительских залов.

**Целью данного исследования** является создание программного обеспечения, позволяющего получать лучевые картины ранних отражений, а также строить профили звукоотражающих поверхностей с оптимальными углами наклона для обеспечения необходимого хода лучей.

**Анализ достижений по теме исследований.** Основные положения геометрической (лучевой) теории акустических процессов в помещениях основаны на законах геометрической оптики. Движение звуковых волн рассматривают подобно движению световых лучей.

В соответствии с законами геометрической оптики, при отражении от зеркальных поверхностей угол отражения равен углу падения, и падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости. Это справедливо, если размеры отражающих поверхностей много больше длины волны, а размеры неровностей поверхностей много меньше длины волны [1 – 5].

Для оценки объемно-планировочных решений в проектируемом помещении проводят анализ рас-

пределения первых отражений от различных поверхностей.

Основными формообразующими плоскостями зала являются стены и потолок, также большое влияние на качество распространения звуковых волн низкой частоты оказывают балконы, колонны, пилястры, крупные лепные украшения, люстры, расположенные в пространстве зала, которые создают диффузные звуковые поля [1 – 5].

Известно, что диффузного рассеивания звуковой волны можно достичь только поверхностью, у которой вертикальный и горизонтальный размер равен или превышает длину звуковой волны – 2 метра.

Как известно [2 – 5], архитектурное решение профиля потолка зала насчитывает множество вариантов – от простых геометрических элементов до сложных радиальных форм, сопряжённых между собой. Решение формы звукоотражающих поверхностей потолка зависит от назначения проектируемого зала.

Для залов, где зрители будут воспринимать не только музыку оркестра, но и голос певца (например, оперные театры), необходимо наличие звукоотражающего козырька или рассеивающего потолка над оркестровой ямой. Поэтому очень важно решение задачи проектирования оптимальной формы профиля и его формы. Так как звуковая энергия голоса певца, отраженная от поверхности козырька, должна достичь зрительских мест первой, рассеивающую поверхность над оркестровой ямой следует выполнять с частичным раскрытием отражающей поверхности на слушателя.

Для залов драматических театров козырёк выпуклой формы обеспечивает структуру ранних отражений при любом положении источника звука, в отличие от козырька плоской или вогнутой формы.

Форма стен оказывает не меньшее влияние на картину звуковых отражений. Благоприятным решением для профилей стен является раскрытие плоскости стен на зрительный зал, что гарантирует

наилучшую обеспеченность зрительских мест отражённым звуком. Стены, так же, как и потолок, могут быть решены дробно [2 – 5].

Архитектурные решения формы профилей звукоотражающих козырьков, формы потолков и стен зала базируются на построении лучевых картин залов. Однако построение их для помещений даже простой формы является задачей сложной и трудоёмкой, занимающей достаточно большой промежуток времени.

## Основная часть

**Разработка программных модулей.** Для создания программного обеспечения был выбран язык программирования AutoLisp и Visual Lisp, так как большая часть разрабатываемой архитектурно-строительной документации представлена в САПР AutoCad и ArChiCad.

Для построения профилей потолочных звукоотражающих поверхностей использовались чертежи продольных разрезов зрительных залов, а для построения стеновых и порталных профилей - поплановые чертежи формата dwg и dxf.

Разработаны два программных модуля PointS и PointFlow.

Модуль PointS.

1. Проводит построение лучевых картин ранних отражений.

2. Позволяет получить лучевые картины от различных точек источников звука.

3. Используется при проверке предлагаемых архитекторами объемно-планировочных решений, а также при обосновании рекомендаций для проектирования профилей стен и потолков.

4. Исходные данные – координаты трех точек: координата источника звука и две точки, определяющие плоскость отражения поверхности.

Для получения луча, отраженного от существующей звукоотражающей поверхности, используется схема, представленная на рис. 1.

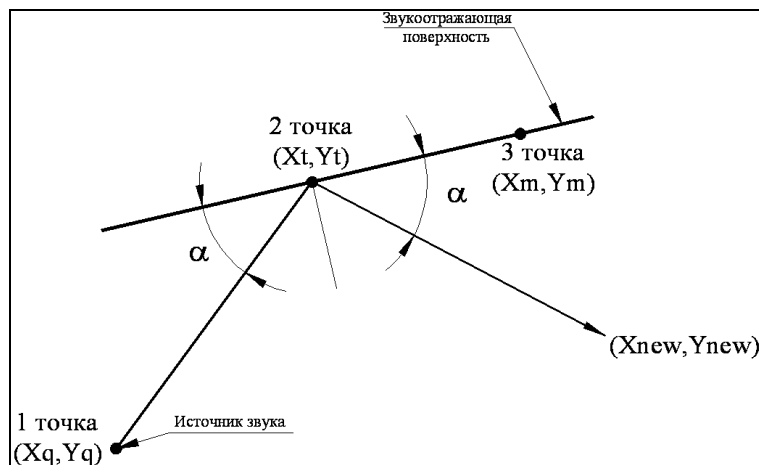


Рис. 1. Схема получения луча отражения от звукоотражающей поверхности

Модуль PointFlow.

1. Проводит построение звукоотражающей поверхности с углом наклона, обеспечивающим необходимый ход луча.

2. Позволяет построить оптимальную форму звукоотражающей поверхности для обеспечения необходимого попадания лучей ранних отражений.

3. Используется при проектировании формы профилей звукоотражающих козырьков, потолков и стеновых решений.

4. Исходные данные – координаты трех точек: источника звука, предполагаемого расположения звукоотражающей поверхности и точки, в которую должен попасть луч, отразившийся от поверхности.

Для получения требуемого наклона звукоотражающей поверхности используется схема, представленная на рис. 2.

На рис. 3 – 8 представлены примеры использования разработанных программных модулей для проектирования зрительных залов.

На рис. 3 представлен чертеж профиля звукоотражателя портальной стены, на рис. 4 – план зала с построением звуковых отражений (реконструкция здания филармонии в г. Луганске).

На рис. 5 представлен вариант конструкции профиля потолка, предлагаемый для реконструкции здания кинотеатра "Полтава" в общественно-культурный центр "Листопад" в городе Полтаве. На рис. 6 изображен разрез зала с построением звуковых отражений.

Аналогично на рис. 7, 8 представлены результаты работы модулей для звукоотражающих конструкций Органного зала Харьковской областной филармонии.

## Выводы

Разработанные программные модули использовались для

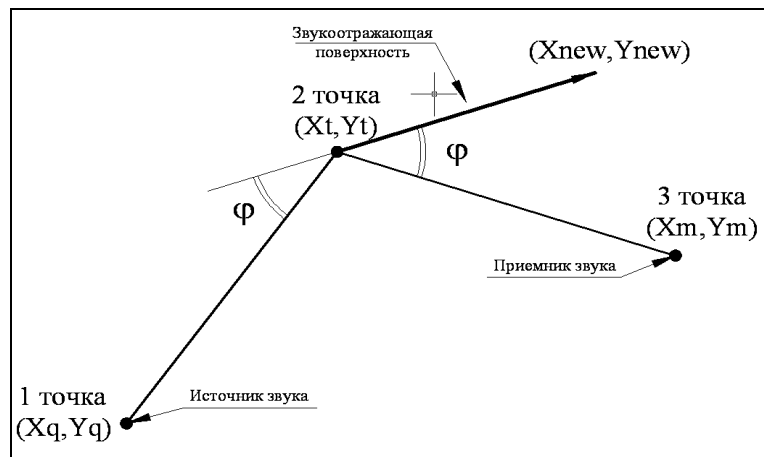


Рис. 2. Схема получения звукоотражающей поверхности

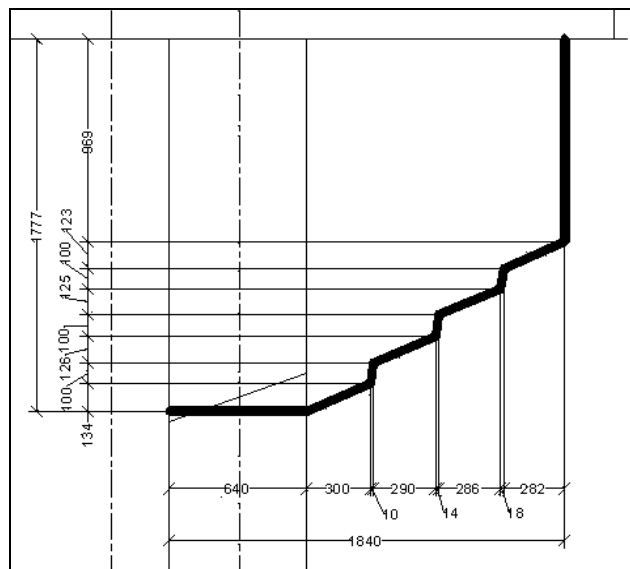


Рис. 3. Профиль звукоотражателя портальной стены (Луганск)

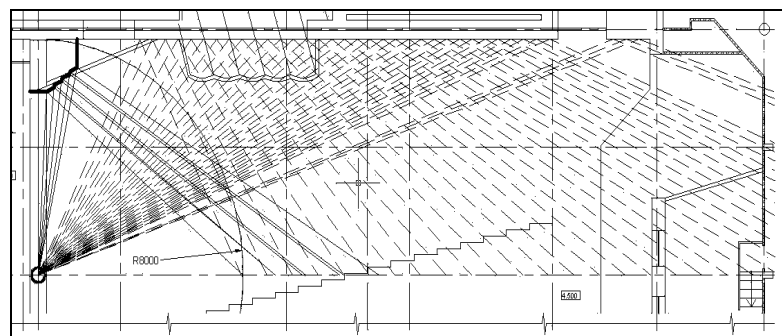


Рис. 4. План зала с построением звуковых отражений (Луганск)

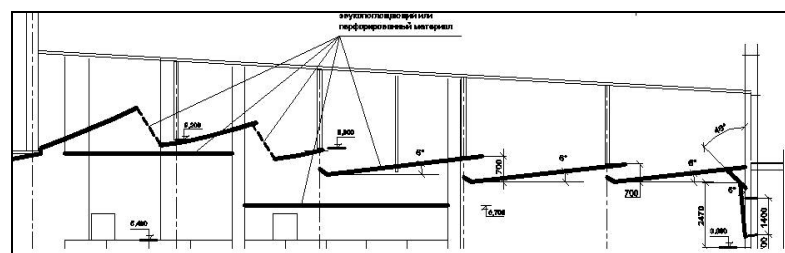


Рис. 5. Вариант решения профиля звукоотражающего потолка (Полтава)

построения звукоотражающих козырьков и профилей стен, а также для проверки предлагаемых архитекторами решений и выработки рекомендаций для указанных конструкций зрительных залов Украины и России. Использование модулей, с одной стороны, снизило трудоемкость получения лучевых картин ранних отражений, а с другой стороны, позволило повысить достоверность предлагаемых проектных решений.

Авторами ведется разработка программного обеспечения, позволяющего проводить оценку архитектурно-строительных решений звукоотражающих поверхностей в 3D.

### Список литературы

1. Ефимов А.П. Три взгляда на акустику помещений / А.П. Ефимов // *Install Pro.* – 2000. – №3(5). – С. 42-47.

2. Электроакустика и звуковое вещание: учеб. пособ. для вузов / И.А. Алдошина, Э.И. Вологдин, А.П. Ефим и др. – М.: Горячая линия-Телеком, радио и связь, 2007. – 650 с.

3. Анерт В. Техника звукоусиления / В. Анерт, Ф. Штеффен. – М., 2003. – 320 с.

4. Радиовещание и электроакустика: учеб. пособ. для вузов / С.И. Алябьев, А.В. Выходец, Р. Гермер и др.; под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Радио и связь, 2002. – 480 с.

5. Акустика: справочн. / под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Радио и связь, 1989. – 654 с.

Поступила в редколлегию 4.01.2011

**Рецензент:** канд. физ.-мат. наук, с.н.с. А.А. Можасев, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков,.

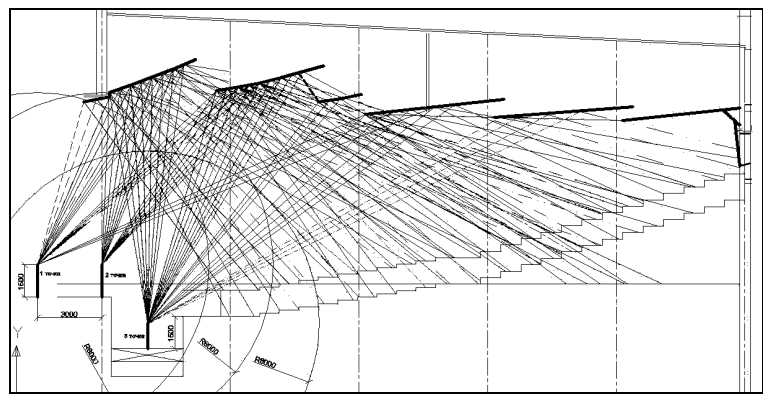


Рис. 6. Разрез зала с построением звуковых отражений (Полтава)

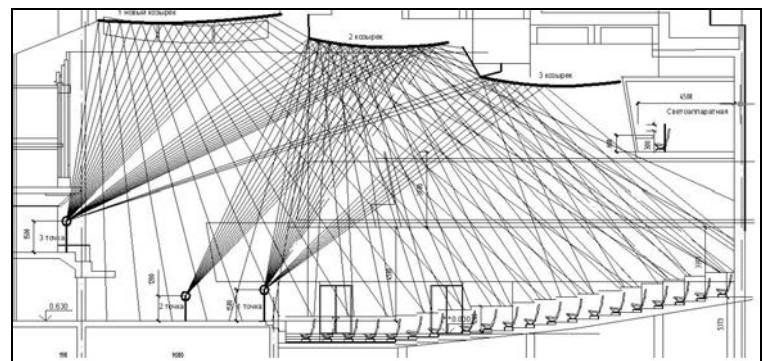


Рис. 7. Разрез зала с построением звуковых отражений (органный зал Харьковской областной филармонии)

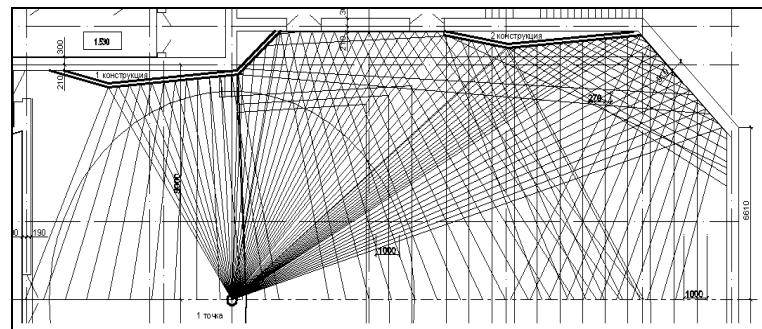


Рис. 8. План зала с построением звуковых отражений (органный зал Харьковской областной филармонии)

### ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТЕОРІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОФІЛЮ ЗУКОВІДБИВНОЇ ПОВЕРХНІ

В.В. Усік, І.Г. Мягкий

Робота присвячена розробці програмного забезпечення, яке дозволяє проводити перевірку і конструювання профілів звуковідбивних поверхонь. Запропоновані програмні модулі дають можливість проводити оцінку архітектурних рішень стін та стель в залах, що проектуються, в САПР AutoCad. Розробка модулів здійснювалась на мові AutoLisp. Використання модулів дозволило провести проектування залів з різним призначенням на Україні і в Росії.

**Ключові слова:** акустичні властивості приміщень, геометрична теорія, програмне забезпечення, звуковідбивні поверхні.

### APPLICATION OF THE GEOMETRIC THEORY TO BUILD THE PROFILE OF THE SURFACE ZUKOOTRAZHAYUSHCHEY

V.V. Usik, I.G. Myagkiy

Work is devoted to software development ensures-baking, which enable verification and concentration profiles struirovane sound-reflecting surfaces. These software modules provide an opportunity to evaluate the architectural design of the walls and ceilings in rooms designed in a CAD AutoCad. Development modules was conducted in the language of AutoLisp. Using modules enabled a projection-of rooms with different purposes in Ukraine and Russian.

**Keywords:** acoustic properties of space, geometric theory, software, sound-reflecting surface.