

**АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА**

**ИВАНОВА Я.А.**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26), e-mail: kanz@mgsu.ru**

Согласно известному изречению "архитектура - это застывшая музыка", то архитектурная акустика - это "ожившая музыка" и основная ее задача: позволить произведениям в помещении звучать естественно и впечатляюще.

Архитектурная акустика – будучи одной из древнейших областей человеческого знания, наряду с философией, многие века успешно опиралась на интуитивный и эмпирический фундамент и лишь в конце XIX века стала приобретать черты науки благодаря Уоллесу Сэбину. Первые практические успехи надолго предопределили пути последующего развития акустики закрытых помещений. Вплоть до сравнительно недавнего времени научной-технической работа в этой области не выходила за пределы горизонта, очерченного этими работами. Поэтому представляется целесообразным изложить предварительно некоторые соображения, определяющие задачи и метод архитектурной акустики в период её первых практических успехов. Сегодня строительство концертных залов в России выходит на новый уровень и в архитектуре зарождаются новые тенденции. Изучение архитектурной акустики позволяет на стадии проектирования знать акустические параметры помещения и корректировать их.

Акустическое проектирование включает в себя согласованные с архитектором проекта объёмно-планировочные решения пространства помещения с детальным перечнем элементов, формирующих акустическое окружение. Применяемые материалы и конструкции, инженерные системы, конструкции окон и дверей, мебель, занавесы и люстры, а также все другие большие и малые элементы интерьера – характеризуют параметры акустической среды и уровень акустического комфорта.

Ключевые слова: архитектурная акустика, реверберация, проектирование

**ARCHITECTURAL ACOUSTICS**

**IVANOVA Y.A.**

**NATIONAL RESEARCH MOSCOW STATE UNIVERSITY OF CIVIL ENGINEERING (129337, Moscow, 26, Yaroslavskoye Shosse), e-mail: kanz@mgsu.ru**

If according to the famous dictum «architecture is frozen music», then architectural acoustics is «animated music» and its must help to sound music natural and impressive.

Architectural Acoustics is one of the oldest areas of the human knowledges, like philosophy. And its long successfully relied on the intuitive and empirical foundation and only in the late 19th century became to acquire features science thanks to Wallace Clement Sabine. The first practical gains for long path determined the subsequent development of indoor acoustics. Until relatively recently, the scientific and technical work in this area does not extend beyond the horizon, defined these works. So it seems appropriate to present some preliminary considerations that define the tasks and the method of Architectural Acoustics during its first practical success. Today construction of concert halls in Russia reaches at new level and became new architectural trends. Architectural Acoustics must help to design concert halls and to correct their parameters.

Acoustic design includes the project space-planning solutions space with a detailed list of the elements that make up the acoustic environment. Applied materials and constructions, engineering systems, furniture, curtains and chandeliers and all other large and small elements of the Interior is characterized by sound environment and level of acoustic comfort.

The key words: architectural acoustics, reverberation, design

Проблематика определения условий наилучшей слышимости в больших закрытых помещениях находится в списке задач, поставленных ещё во времена классической древности. Несмотря на уникальные, с акустической точки зрения, сооружения Древнего Мира, архитектурная акустика многие века успешно опиралась на интуитивный и эмпирический фундамент и лишь в конце XIX века стала приобретать черты науки благодаря Уоллесу Сэбину. Когда он экспериментально установил один из важнейших факторов, определяющих акустическое качество аудиторий и его практические успехи надолго

предопределили пути последующего развития акустики закрытых помещений. Вплоть до сравнительно недавнего времени научно-техническая работа в этой области не выходила за пределы горизонта, очерченного этими работами. [4, с.382]

Основным фактором, определяющим акустическое качество аудиторий, является длительность процессов отзвука или, как иначе говорят, продолжительность реверберации. Под этим термином подразумевается остаточное звучание в помещении после прекращения действия источника звука. Как показывает опыт, продолжительность реверберации должна лежать в некоторой области оптимальных значений, за пределами которой аудитория оказывается акустически неполноценной или дефектной. Значение, которое приписывается длительности реверберации, как критерию акустической оценки аудиторий, объясняет то обстоятельство, что теоретические интересы архитектурной акустики направлены в первую очередь на исследование нестационарных акустических процессов, к числу которых относится отзвук. На примере музыки легко уяснить, что акустическим дефектом помещения может явиться не только чрезмерная длительность отзвука, но также и недостаточная его продолжительность. Действительно, при очень быстром отзвуке (т. е. при значительном поглощении звука) музыка звучит сухо, утрачивая ту связность звучания, к которой мы привыкли при слушании концертной музыки в качестве одного из факторов её эстетического воздействия. Период реверберации различен для каждого вида музыки, так например для камерной подходит 1,2-1,6 секунды, для оркестровой — 1,7-2,2, а для органной более 2,5. Более того, для каждого инструмента существует свой оптимум реверберации.

Архитектурно-акустическая теория встала на путь статистического описания звуковых полей, оперируя со средними значениями плотности звуковой энергии в помещении и не претендуя на определение давлений и колебательных скоростей в отдельных его точках. Предполагая, что ориентации, амплитуды и фазы налагающихся друг на друга волн распределены более или менее хаотически, мы можем рассматривать эти волны как некогерентные и считать, что плотность энергии в каждой точке помещения есть сумма плотностей энергии, связанной с каждой из этих волн. Если волновое движение в помещении действительно имеет такой неупорядоченный характер без наличия преобладающих направлений колебательного движения и симметрий распределению амплитуд, то статистические методы исследования совершенно законны и приводят к важным практическим результатам. [4, с.385]

Согласно общепринятой архитектурно-акустической теории, одни и те же акустические процессы в помещениях описываются тремя языками – тремя теориями: волновой, статистической и геометрической. Все три метода имеют значительную

взаимосвязь, дополняя друг друга, и как показывает опыт, только одним методом не удаётся решить конкретную задачу.

Геометрическая (лучевая) теория акустических процессов в помещениях основана на законах геометрической оптики, где движение звуковых волн рассматривают подобно движению световых лучей. Здесь характер отражений зависит от формы отражающей поверхности. И, согласно этой теории, размеры помещения будут соотноситься по «золотому сечению».

Волновая теория основывается на том, что при включённом источнике звука звуковые волны распространяются в различных направлениях: осевом, касательном и наклонном, отражаются от ограничивающих помещение плоскостей и, складываясь с прямыми волнами, создают стоячие волны. Спектра сложного звукового (музыкального) сигнала может содержать частоты, которые отсутствуют или которых мало в спектре собственных колебаний воздуха, находящегося в помещении. Что вызовет ответное (в резонанс) колебание воздушной среды на частотах, совпадающих с частотами источника. При получении добавочной энергии затухание собственных колебаний будет продолжаться дольше, соответственно, изменится период реверберации, а значит и акустические параметры помещения.

Статистическая теория говорит о том, что когда источники не одинаково удалены от различных плоскостей, нельзя считать равной вероятностью падения звуковых волн на различные участки плоскостей. Отражения волн от плоскостей приходят в точку прослушивания с разными временами задержки отзвука, на которые оказывают влияние не только размеры помещения, но и форма, и наличие структурированной поверхности. [3]

Так со времени первых работ Сэбина надлежащая длительность реверберации в её соответствии с оптимумом для определённого случая справедливо считается необходимым условием акустической полноценности аудитории.

При проектировании больших залов расчёт периода реверберации может дать результат, значительно отличающийся от реального, и главное – эта величина не всегда 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. Используя несколько акустических теорий одновременно можно оценить время реверберации, найти оптимальное количество начальных отражений и рассчитать спектр собственных (резонансных) частот, скорректировать размеры помещения так, чтобы спектр собственных частот в области нижних частот был более равномерным.

Акустическое проектирование зрительных залов рекомендуется проводить в 4 взаимосвязанных этапа – подготовительный, планировочный, геометрический и отделочный.

*Подготовительный* – этап ставит своей целью определение исходных данных для акустического проектирования. Основные задачи этапа:

- определение геометрических параметров зала (форма и размеры зала, сцены, эстрады, площадь, объем, удаление зрительских мест и т.д.);
- определение основных акустических показателей и критериев проектируемого зала (оптимальные значения времени реверберации и структуры ранних отражений).

*Планировочный* этап. Его главная цель – разработка эскизного решения плана зала. Основные задачи этапа:

- размещение зрительских мест с учетом зон комфортности (зрительной и акустической);
- размещение сцены, эстрады, киноэкрана и другого оборудования;
- обеспечение требований норм эвакуации (проектирование проходов и выходов).

Так при выборе формы зала в плане следует учитывать, что с позиции акустики:

- расстояние между источником звука и слушателем должно быть минимальным;
- угол между лучами, направленными от источника к крайним передним местам, должен быть как можно меньше;
- отражающие поверхности, расположенные вблизи источника, должны посылать максимум звуковой энергии в конец зала;
- гладкие вогнутые поверхности стен могут создавать очаги концентрации звука (фокусировать отражение в зале);
- при параллельных гладких стенах наблюдается изменение спектра отраженного звука и «порхающее» эхо.

Этап *геометрического* проектирования. Цель этапа – определение точной формы зала с учетом звукоотражений. В основные задачи этапа входит:

- построение профиля пола (или подъема зрительских мест);
- уточнение формы зала в плане;
- построение балконов, лож, галерей;
- построение профиля потолка и отражающих экранов;
- определение зон ранних отражений на поверхностях.

Проектирование *отделки* интерьеров ставит целью обеспечение оптимальных условий звучания. Задачи, решаемые на этом этапе:

- подбор отделочных материалов для обеспечения оптимального времени реверберации;

- пластическая обработка поверхностей и размещение отделки для повышения степени диффузности звукового поля в зале.

При размещении поглощающей отделки следует учесть, что:

- недопустимо применение поглощающих материалов в зонах раннего отражения;
- звукопоглощение необходимо в местах, дающих многократное отражение звука (углы помещения, задняя стена и т.д.);
- оптимальным является равномерное распределение поглощения в зале. [1]

Так обеспечить оптимальное время реверберации (или регулировать его) в большинстве случаев позволяют современные акустические материалы и конструкции, с помощью которых создается дополнительное поглощение звука в помещении. Для обеспечения необходимого звукопоглощения наибольшее внимание уделяется потолочному пространству. Поэтому уже довольно давно выпускаются «акустические» потолки, поглощающие звук. В больших помещениях, где для улучшения акустики не хватает одного только потолочного пространства, рекомендуется также использовать звукопоглощающие стеновые панели. К техническим характеристикам потолочных и стеновых звукопоглотителей относятся: акустические и гигиенические показатели, влагостойкость, пожарно-технические характеристики, ударопрочность, светотехнические показатели и долговечность. На сегодняшний день разработаны и с успехом применяются современные акустические материалы, которые эффективно гасят ненужные отражения звуковых волн и пригодны для решения не только одной задачи, но и целого комплекса требований.

Совершенствование архитектурно-акустических принципов непрерывно продолжается и современные концертные залы строятся по иным типологическим схемам, чем 10-15 лет назад. Можно выделить следующие тенденции:

- Современные концертные залы проектируются как landmark buildings – «знаковые здания», современные памятники архитектуры.
- Вовлечение зрителя в процесс и, как следствие, отказ от размещения исполнителей на сцене театрального типа или сцене-эстраде в пользу выдвинутой в центр зала эстраде без занавеса. Такой тип площадки оптимален для больших филармонических, камерных и литературных выступлений, также, такая схема хорошо подходит для использования в современных конференц-залах, в типологии которых также прослеживаются тенденции к отказу от фронтальной схемы размещения лектора—зрителей в пользу кольцевой.

Это связано с тем, что интенсивность звука резко падает с удалением слушателя от исполнителя и необходимо размещать максимальное число зрителей в

непосредственной близости от эстрады. Зрители в этом случае размещаются не только перед площадкой, но и по бокам от нее и даже за ней (на приподнятых галереях), оказываясь на минимальном расстоянии в зоне прямого звука. Не рекомендуется размещать на расстоянии свыше 27 метров от эстрады слушателей литературных концертов, свыше 30 метров – камерных, свыше 45 метров – больших филармонических. Галереи по бокам и позади сценической площадки используются также для размещения хора в случае его совместного выступления с оркестром, или оркестра, если на основной площадке выступает хореографический коллектив.

- За счёт изменения типа площадки, современные залы имеют сложную конфигурацию, определяемую акустическими расчетами (часто круглую или эллиптическую).
- Автономное размещение залов и, как следствие, запрещается размещение вентиляционных и/или лифтовых шахт, других помещений повышенной шумности в непосредственной близости от залов ( в первую очередь акустических), не рекомендуется размещать залы вблизи авто- и железнодорожных магистралей, линий метрополитена, трамвая, троллейбуса.

Так, для того, чтобы избежать внешних влияний на зал, современные концерт-холлы проектируются в виде автономных акустических «капсул», связанных с остальными конструкциями здания через специальные амортизаторы (залы подвешиваются на тросах или опираются на резиновые подушки). В России такое решение впервые применено в Московском Международном Доме Музыки.

- Длительность реверберации для концертного зала один из главных акустических критериев и обычно она неизменна. Однако отказ от ортогональной формы зала и стремление к абсолютному акустическому качеству привели к тому, что сегодня существуют такие залы, где время реверберации можно заранее настроить на характер запланированной музыки. В залах широко используются мобильные и трансформируемые архитектурные элементы подвешиваемые над эстрадой и залом: звукоотражающие экраны, накладные звукопоглощающие элементы в задней части зала.

Существует два типа таких залов: залы с изменяемой геометрией, где настройка реверберации осуществляется за счет поворота специальных панелей и изменения их звукопоглощающих свойств, второй – электронный, где применяются современные акустические системы. [2]

Сегодня искусство должно быть экономически оправданно и физически применимо. Архитектурная акустика становится тем новым «витком» развития, который мы увидим в ближайшем будущем. Отходя от привычной нам камерности и статичности, проектирование

будущего будет завязано на постоянном движении и перерождении физики, музыки, мироощущения.

При архитектурной акустике одновременно и гармонично сочетаются две функции: акустическая и эстетическая, причем не в ущерб друг другу, а дополняя, усиливая положительное эмоциональное воздействие на слушателя.

### Список литературы

1. Великовский Л.Б. Архитектурное проектирование гражданских и промышленных зданий / Л. Б. Великовский // Подольск : «Технология» – 2005. – т.4 – 26-32 с.
2. Глазычев, В. Л. Архитектура. Энциклопедия / В. Л. Глазычев. – М.: Астрель, АСТ, 2002. – 672 с.
3. Оболенский Н.В. Архитектурная физика / Н. В. Оболенский // М : Архитектура-С– 2007. – С. 378-384.
4. Фурдуев В.В. Электроакустика / В. В. Фурдуев // М : Государственное издательство технико-теоритической литературы. – 1948. – С. 382–385.
5. СНиП 2 «Кинотеатры». Нормы проектирования – С. 73 – 76
6. СНиП 2 «Театры». Нормы проектирования. – С. 20 – 69
7. СНиП 2 «Клубы». Нормы проектирования. – С. 16 – 71