

Нужна ли нам реверберация?

Сергей Л.Бородин,
tontex@aha.ru

– Концерт понравился?
– Там **такая** акустика...

Смысл ответа в интонации произнесения «такая». Задача создания акустически идеального зала полностью пока не решена. Даже старательно сделанная копия звучащего зала может оказаться глухой или неразборчивой, или «как в бане». Впрочем, есть сотни копий скрипок Страдивари и Гварнери, но ни один дубль не звучит, как оригинал. Хорошие акустики и сегодня окружены почти колдовским ореолом, потому что никому доподлинно неизвестно, как найти рецепт, теорию, универсальный метод для архитекторов, строителей, артистов и слушателей. Верность цели всегда определяется верностью средств. Рассмотрим и попробуем выбрать пути к решению на основе современных знаний и опыта.

Акустика зала – это архитектура. Профессионалов обычно ждут всего два вида заказов: как улучшить то, что уже сваяли, или как сваять хорошее.

Вот факты из не столь далекой истории. Ставший классиком Валлас Клемент Сэбин (W. C. Sabine) был в 1885 г. молодым профессором физики в Гарвардском университете, когда к нему обратился ректор: «Очень плохо с акустикой в лекционном зале нового музея искусств!». Сэбин не использовал ковры, тяжелые шторы или другие поглотители звуковой энергии. Инструментами и приборами его исследований были камера постоянной температуры в подвале физической лаборатории и лекционный зал, расположенный рядом театр Саундерса, стулья из театра, органные трубы, вольнка-насос и карманные часы. По истечении трехлетних ночных исследований (днем нужно было читать студентам лекции) звук в музее искусств был налажен. Шаг сделан, но пока только на эмпирическом уровне. Ученый продолжал размышлять, и вечером в субботу 29 октября 1898 г., сидя над таблицами и графиками своих исследований, он произнес фразу, вошедшую в историю акустики: «Мама, это же гипербола!».

Благодаря его опытам и таланту, акустики из таинственных магов стали превращаться в специалистов, вооруженных теорией. Кратко выводы Сэбина: именно объем помещений и звукопоглощение поверхностями в залах определяют реверберацию как падение звукового давления, а как следствие – звук.

Памяти Леонида Иосифовича Макриненко

С тех пор найдена связь этих выводов со вторым законом термодинамики и уточнены сами уравнения. Они стали настолько известны, что даже мэр Москвы на официальном приеме говорит, что реверберация в соборном зале храма Христа Спасителя хорошая. На базе работ профессора Гарвардского университета легко вычислить время реверберации, которое архитекторы часто считают важной, если не единственной, кроме уровня шумов, характеристикой звука в зале.

В середине 1980-х были измерены давно замеченные огрехи «чисто реверберационного» метода. Зал с точно настроенным спектром амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) времени реверберации может оказаться плохим по разборчивости, ясности, мелодичности, четкости для зрителей и неудобным, «глухим», дискомфортным – для артистов. Печальный образец – тот же соборный зал храма Христа Спасителя. И наоборот, концертные или оперные залы с заведомо «неправильными» параметрами реверберации могут быть признаны слушателями и экспертами «лучшими по акустике». Наглядными примерами таких парадоксов являются оперный театр Колумба («Колон») в Буэнос-Айресе и театр Вагнера в Байрейте, Бостонский симфонический зал (в разработке проекта которого участвовал Сэбин) и Большой зал Московской консерватории.

Посмотрим архитектурные планы таких залов: похожего в них мало. Тогда приглядимся к теории. Правильность ответа часто зависит от правильности вопроса. Формулировка задачи: создать зал, в котором на каждом месте одинаково хорошо слышно. Прежде всего нужно определить смысл слов «одинаково хорошо». Наверняка знакомы шаманские заклинания тех, кто уверенно и неграмотно подходит к этому: «Мы прокачаем зал из наших колонок!» или «Кувшины в стенке храмовой усиливают звук!».

Для наглядности и простоты исследования договоримся, что вначале мы займемся планировкой идеального зала для речи, что может улучшить условия работы преподавателей в институтах. Переход к музыкальным театральным помещениям будет обоснован и облегчен позднее на основе выбранных методов. Под речью вполне можно понимать и вокал: АЧХ человеческого голоса естественно связана с тем, говорит или поет человек, стоящий перед слушателями, но разница не столь велика.

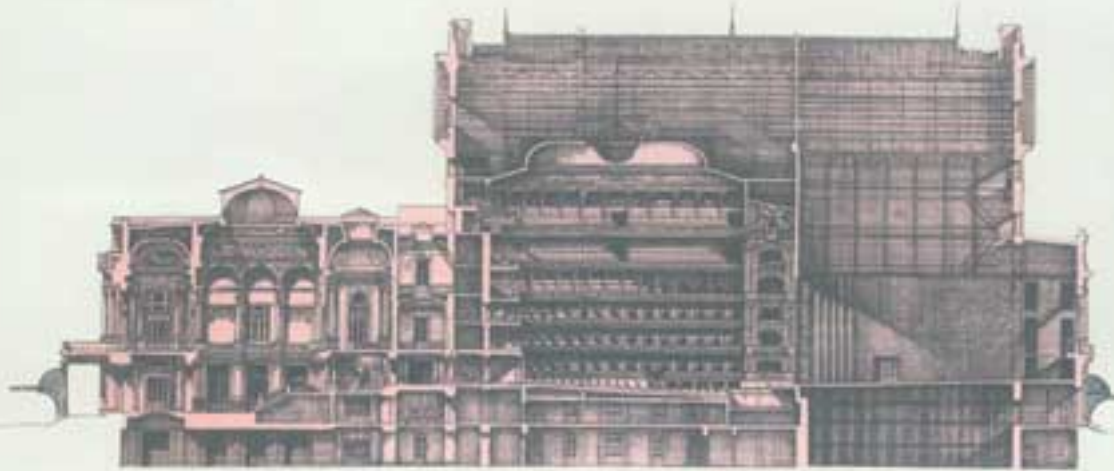
В голосе человека звуковая энергия распределена неравномерно. В четырех низкочастотных октавах, от 40 до 640 Гц, сосредоточено более 60% излучаемой

TEATRO COLON

BUENOS AIRES 1908



Frente



Corte longitudinal



Frente a la sala Dorada



Corte transversal de la sala de asientos

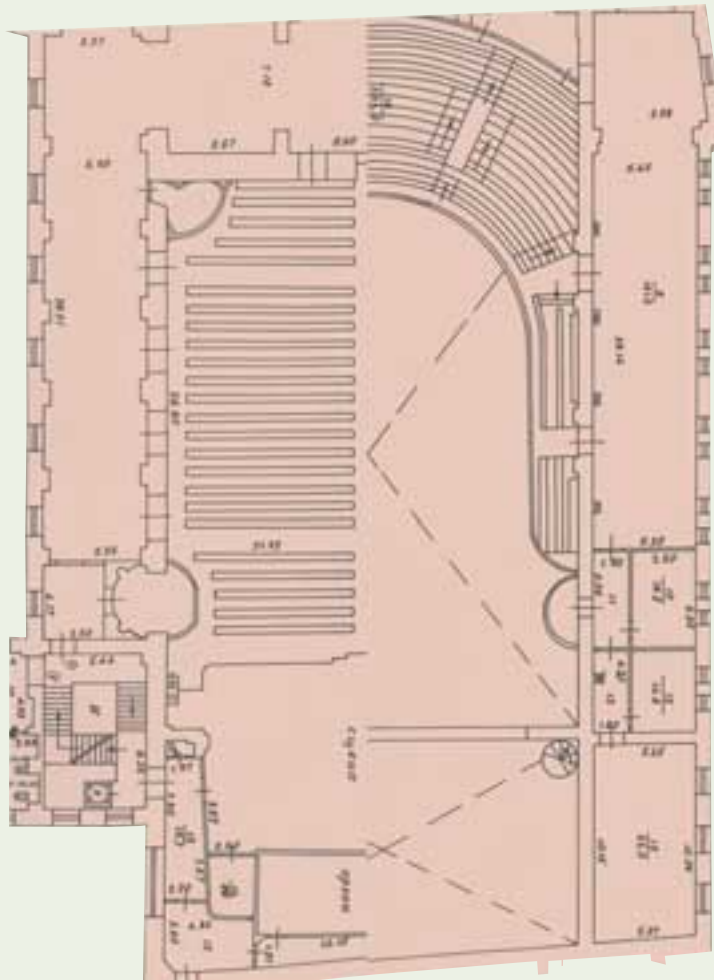


Frente a la sala Dorada

Концертные или оперные залы с заведомо «неправильными» параметрами реверберации могут быть признаны слушателями и экспертами «лучшими по акустике». Наглядным примером такого парадокса является оперный театр Колумба («Колон») в Буэнос-Айресе.



Бостонский симфонический зал



Большой зал Московской государственной консерватории

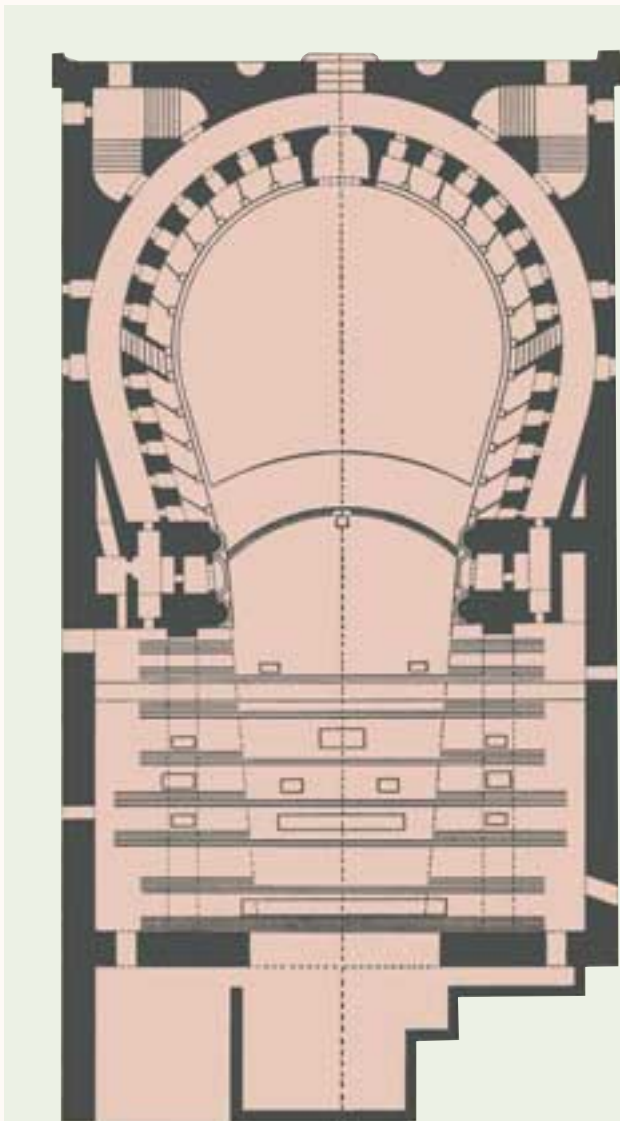
мощности, но эта часть спектра несет всего 7% информации, нужной для разборчивости. В одной октаве, от 640 до 1280 Гц, сосредоточено по 30 – 35% и звуковой мощности, и разборчивости. А в четырех октавах верхних частот, от 1280 до 20 480 Гц, только 6 – 8% силы звука передают нам от 55 до 70% информации о том, кто и что говорит.

Не удивительно, что в стенах церквей ставили кушины-голосники с резонансом от 300 до 600 Гц для поглощения лишних, мешающих разборчивости низких частот. Тот же принцип поглотителей-резонаторов Гельмгольца применялся в сооружениях оркестровых ям оперных залов. В других целях, и конструктивно иначе, древние греки и римляне в своих театрах под открытым небом встраивали резонансные камеры эхо – для искусственного ощущения гулкости.

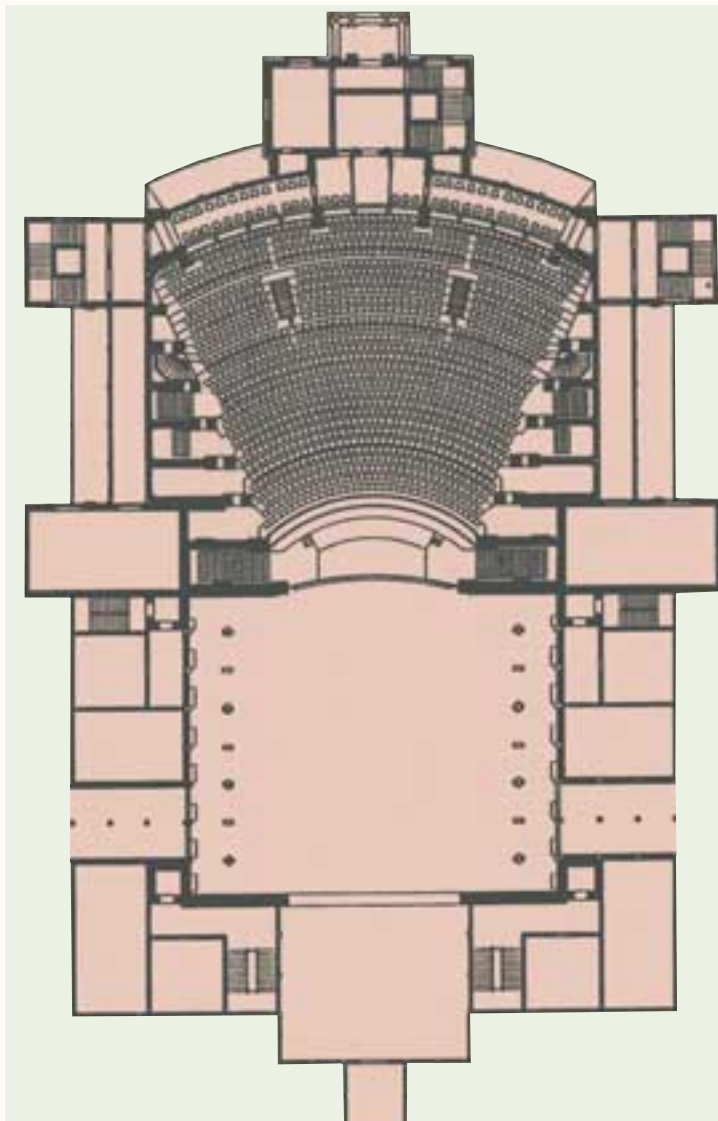
Конечно, мы не замечаем того, что звуковое давление человеческого голоса ниже 1 кГц примерно в три раза больше, чем на частотах выше этого порога. Чувствительность слухового аппарата имеет обратную характеристику в басовой области (чем ниже частота, тем хуже слышно). Знание этого лежит в теории шумоподавляющей системы Dolby SR. Так и строители древних времен боролись с низкочастотными модуляциями в помещениях, фактически снижая слышимый шум.

Сравним с теми типичными базовыми, начальными настройками эквалайзера микрофонной линейки, что рекомендуют выдающиеся звукорежиссеры на вокале. Если выбирать из всех текстов интервью, опубликованных в журналах «Mix», «Recording Engineer/Producer», «Studio Sound» за 1985 – 2001 г.г., то общий суммарный консепт совпадает с мнением Уэдамса (W. Wadhams), изложенным в его книге «Sound Advice»: «плюс 3 – 4 дБ на частоте 120 – 150 Гц, что даст сочность (мясо) звуку, минус 4 – 5 дБ на частоте 500 – 630 Гц, или на 1/5 октавы выше нижней ноты вокальной партии, что уберет излишнюю доминирующую в вокале энергию сигнала, забивающую разборчивость, и плюс 5 – 6 дБ на частоте 7,5 – 9,5 кГц, что добавит яркость, четкость, разборчивость».

В расчетах речевых залов применяются параметры индекса передачи артикуляции (RASTI) и расчет артикуляционных потерь консонант – с 1971 г. по формулам Пейтца (V. M. A. Peutz), а с 1980 г. методика Хотгаста и Стейнекема (T. Houtgast, H. J. M. Steeneken) в интегральных уравнениях Лохнера и Бергера (J. P. A. Lochner, J. F. Burger). Для расчета функции передачи модуляции используется интеграл Шредера (M. R. Schroeder). Но сложных уравнений выписывать пока не станем, а проделаем простой эксперимент, имея часы с секундной стрелкой.



Театр «Колон», Буэнос-Айрес, Аргентина



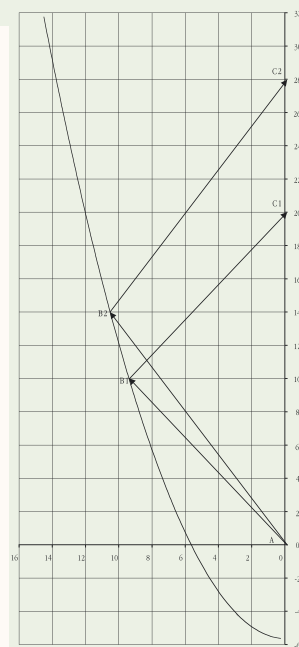
Opernhaus, Байрейт, Германия

Выберем какое-либо предложение, где есть все буквы русского алфавита, например привычное для проверки связи телеграфистами: «В чашах юга жил-был цитрус, да, но фальшивый экземпляр» или «Съешь еще этих мягких французских булок, да выпей чаю». Подобный английский аналог: «The quick brown fox jumps over the lazy dog». Подсчитаем количество звуков в предложении, учитывая, что буква «ю» – это два звука: «й» и «у», буква «е» в начале слова – это тоже два звука: «й» и «э», и так далее. Прочтем выбранное предложение максимально быстро и четко раз десять подряд, заметив время прочтения. Повторим эксперимент трижды для научной точности утром, днем и вечером. И, наконец, вычислим среднюю длительность одного звука. По разным оценкам, она при быстрой разборчивой речи составит от 58 до 74 мс. Будем использовать среднее значение – 66 мс.

Кроме прямого звука, к слушателям приходят отраженные сигналы, и звуковое давление в точках приема складывается. Если отраженный сигнал придет к слуша-

телю не позднее звучания половины прямого, первого сигнала, то он увеличит воспринимаемую амплитуду первого звука. В противном случае отражения накладываются на первое звучание уже следующего звука большей своей частью, ухудшая разборчивость и громкость, т.е. вреден фазовый сдвиг на время большее половины длительности одного звука, составляющей $66/2 = 33$ мс. Распространение самой разной речи в воздухе происходит со скоростью от 341 до 344 м/с. Итак, в случае прохладного (15°C) зала при скорости звука 341 м/с длина пути отражения не должна превышать длину пути прямого сигнала больше чем на 11,25 м ($341 \text{ м} \cdot 0,033$). Уши у нас по бокам головы, поэтому строить линии отражений звука от потолка не станем.

Найденный параметр, среднее время звучания половины звука, отмечен еще в работе Низе (H. Niese), опубликованной в 1957 г. 33 мс были там названы «критерием степени эха», этот порог разделял полезную и мешающую энергии. Под «мешающей» автор понимал превышающую экспоненциально падающую энергию



реверберации помещения. Тот звук, что громче «реверберационного хвоста» в зале в течение 33 мс с момента прихода прямого сигнала – полезная энергия, а приходящая позднее – мешающая. Кстати, за последние 45 лет к схожим значениям в 35 и 36 мс независимо и отдельно приходили в своих исследованиях и акустики, и психологи.

Какой будет конфигурация боковой стены, если путь звука с отражением от нее будет на 11,25 м больше, чем путь прямого сигнала от одной точки к другой? Разумеется, по форме это эллипс. Если слушателей много и они расположены по центральной оси зала, то, объединив все увеличивающиеся эллиптические кривые, получим геометрическое место точек по формуле

$$Y^2 = \frac{11,25 \cdot X}{2} + \frac{11,25^2}{4}.$$

Очевидно, это парабола, а строить боковые стены с параболической или эллиптической образующей в плане нельзя. Фокусирование звука такими «гиперболами» пользы не приносит. Бездарные по естественной акустике залы в центре Москвы хорошо известны своими эллиптическими формами: зал им. Чайковского и Московский Дворец молодежи. Не фокусировать, наоборот, нужно равномерно распределять полезную, информационно важную звуковую энергию по залу.

При увеличении расстояния от исполнителя в два раза звуковое давление падает в четыре раза, зависимость здесь обратная квадрату расстояния. Значит, в связи с расстоянием должно соответствующе расти количество добавляющихся отражений. Вторая по счету, не по важности, проблема связана с волновым характером звука. Нужно добиться фазового согласования прямого и отраженных сигналов на каждом месте в зале. Но волновая структура звука приводит к фазовым искажениям, из них самое наглядное – гребенчатый фильтр. Для слышимых звуков от 21 Гц до 17 кГц половина длины одной волны в воздухе составит от 8 м до 1 см. Это значит, что мгновен-

ный звуковой спектр, измеренный в зале, обязательно будет разным во всех точках пространственного восьмиметрового шара. А эффект того самого гребенчатого фильтра, когда совпадают пики и провалы одинаковых звуковых волн, наблюдается, например, на частоте 17 кГц через каждый сантиметр.

Представим, что на сцене горит свеча. Смотрим из зала и видим ее одну. Если левая и правая стены покрыты зеркалом, то нам видно три свечи. Если же зеркала нарезаны на много вертикальных полос, повернутых под углом, то, может быть, мы увидим 251 свечу: одну в оригинале и 250 отражений. Тот же принцип в хрустальной люстре – чем больше хрусталиков, тем ярче. Так равномерно осветить каждое место в зале нетрудно. Звук не очевиден, и, в отличие от света, где видимый диапазон частот – одна октава, слышимый звук занимает все десять октав. И минимальные размеры «зеркальца» для звука, к примеру, частотой в 100 Гц составят 3,4 м (340 м/100).

Постоянная плотность энергии звука, которую мы стремимся организовать на всех местах:

$E = E_D + E_R + E_N = \text{const}$. Здесь E_D – плотность энергии прямого звука; E_R – плотность первых, однократных отражений; E_N – плотность диффузного, реверберационного звука. Можно сказать, что первое слагаемое несет информацию о том, кто говорит (эффект первого звука, эффект Хааса). Второе слагаемое – что говорит, а третье – где говорит. В реальном помещении, конечно, присутствуют и двукратные, и многократные отражения, но их суммарная плотность звуковой энергии не столь существенна, и на этой стадии не будем их рассматривать.

Запишем подробнее формулу плотности энергии звука:

$$E = \frac{P_A \Omega \Phi_d^2}{4\pi r_d^2 c} + \frac{P_A \Omega}{4\pi c} \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i^2 \beta_i}{(r_i + r_i')^2} + \frac{4P_A \beta_{MID}^2}{cS(1 - \beta_{MID})} = \text{const}, \quad (1)$$

где

P_A – акустическая мощность, Вт;

Ω – коэффициент осевой концентрации излучения источника;

коэффициент направленности:

Φ_i – к точке отражения,

Φ_d – к точке приема;

r_d – расстояние до точки приема от источника;

расстояния от источника:

r_i – до точки отражения;

r_i' – от нее до точки приема;

c – скорость звука;

β_i – коэффициент отражения поверхности в точке;

β_{MID} – средний по помещению коэффициент отражения;

S – общая площадь внутренних отражающих поверхностей помещения.

Третье слагаемое в помещении с диффузным звуком постоянно, это та энергия реверберации, которую изучал Сэбин. Мощность, осевая концентрация и скорость звука также постоянны. Для источника, работаю-



щего со сцены в зал, коэффициенты направленности на точку отражения и на точку приема близки по своим значениям. На основании этого упростим указанное равенство:

$$\frac{1}{r_d^2} + \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{(r_i + r_i')^2} = const. \quad (2)$$

Предположим, что мечты сбылись, идеальный зал построен, и все отражения, приходящие на каждое место центральной оси зала, оптимизированы по фазам звуков речи и одинаковы по длине, т.е. они на 11,25 м больше прямого пути. Обозначим расстояние от источника звука до места слушателя R и перепишем равенство для определения требуемого числа отражений, допуская, что все отражающие поверхности имеют один и тот же коэффициент отражения β_{REF} :

$$n = \frac{(R + 11,25)^2 (const - 1/R^2)}{\beta_{REF}}. \quad (3)$$

Это решение позволяет выровнять плотность энергии звука так, что уровень громкости на разных местах в зале будет близким. Константа в формуле (3) определяет уровень плотности звука, который поддерживает одинаковым на местах слушателей.

Пути улучшения разборчивости и громкости намечены, и понятно, что фазово-частотные характеристики выровнять в помещении невозможно, осталось в теоретической части исследования разобраться с выравниванием амплитудно-частотных параметров. Проведем эксперимент: в зале с хорошей звуковой аппаратурой и с несколькими колонками, поставленными в разных местах (в ложах, с обеих сторон портала и т.д.), через какую-либо одну колонку подадим чистый синусоидальный сигнал частотой 1000 Гц. Попросим всех друзей с хорошим

слухом, не подходя ближе, чем на 2 м до громкоговорителей, походить по залу и определить, откуда идет звук. Удивительный факт, что это теоретически невозможно. Длина волны в 1 кГц составляет 34 см, а расстояние между ушами самого крупноголового из моих знакомых, когда он наденет шапку, – 28,5 см, что равно длине волны в 1200 Гц.

Итак, считаем доказанным, что для определения направления на источник звука необходимо думать о распределении в зале частот выше 1200 Гц. Учитывая амплитудно-частотную характеристику голоса человека, заметим, что для увеличения формантной и достижения слоговой разборчивости в 85 – 95%, т.е. отличной понятности, нужно равномерно распределять в зале частоты выше 640 Гц. Длина волны в 640 Гц составляет 54 см.

Таким образом, мы пришли к выводу, что в качестве модуля – единицы звуковых «зеркал» в отделке залов для выравнивания энергии звука – нужно использовать квадрат со стороной в 54 см. Материал, из которого следует изготавливать квадратные панели, должен как можно лучше отражать частоты выше 640 Гц. Для этого отлично подходит фанера толщиной 6 – 7 мм, так как у нее коэффициент β_{REF} отражения на частоте 125 Гц – 0,42; на 250 Гц – 0,78; на 500 Гц – 0,93; 1 кГц – 0,96; 2 кГц – 0,97; 4 кГц – 0,93.

Сосчитаем количество требуемых отражений для достижения на местах слушателей того уровня звука, что создается источником в безэховой заглушенной камере на расстоянии 5 м ($1/5^2=0,04$), т.е. приняв значение постоянной $const = 0,04$ и приняв значение коэффициента отражения $\beta_{REF} = 0,965$. В качестве шага для изменения расстояния будем использовать расстояние между соседними рядами, учитывая рекомендации из нормативных строительных документов: 90 – 95 см. Для точности и совместности с не метрическими единицами, выберем

Audio Engineering Society

21 Конференция AES

«Архитектурная акустика и озвучение помещений»

Состоится 1-3 июня 2002 г. в г. Санкт-Петербурге

Впервые с момента своего создания в 1948г Международное общество аудиоинженеров (AES) организует в России международную конференцию с участием ведущих зарубежных и отечественных специалистов.

Председатель Оргкомитета конференции – проф. Н.И. Иванов.

Председатель Научного комитета конференции – проф. И.А. Алдошина.

Программа конференции включает пленарные, заказные, секционные и стендовые доклады по следующим тематикам: развитие систем озвучивания, архитектурная акустика (включая шумы и вибрации), многоканальные звуковые системы (пространственные, бинауральные и др.), цифровая обработка музыкальных и речевых сигналов, адаптивные процессоры обработки звука в помещении, системы звукоусиления, аурализация, психоакустические методы оценки качества акустических характеристик помещений и систем звукоусиления, проблемы разборчивости речи, преобразователи (акустические системы, громкоговорители, микрофоны, усилители) и др.

Информация о конференции представлена на сайте Общества аудиоинженеров по адресу:
<http://www.aes.org/events/21>.

Адрес Оргкомитета конференции:

Проф. Н.И. Иванов, Балтийский государственный технический университет,
а/я 08А9, 1-я Красноармейская ул., 1, 198005, Санкт-Петербург, Россия.

Телефон: (812)-595-1730, (812)-110-1573

Факс: (812)-316-1559, (812)-595-1730

e-mail: 21st_papers@aes.org

<http://www.aes.org/events/21>

36'', или ровно 914,4 мм. Поставив в уравнение (3) эти значения, получим:

$$n = (R + 11,25)^2 (0,04 - 1/R^2) / 0,965.$$

С четвертого ряда, находящегося на расстоянии 7,74 м от источника звука, до 18 ряда, что на расстоянии 20,54 м, количество требуемых отражений растет почти линейно, от 9 до 39, увеличиваясь на каждом шаге на два. На три отражения больше, чем на предыдущем шаге, нужно на каждом с 19 ряда до 33, где количество требуемых отражений возрастает от 42 до 84.

Конструктивно такая отражающая стенка представляет собой многоволновую образующую, причём около сцены располагается самая крупная из выступающих в зал волн, а дальше вдоль боковой стены идут уменьшающиеся в размерах выступы. Чтобы отражать звук со стороны эстрады в рассчитанные нами точки в зале, почти все 54 см панели, кроме горизонтальных углов, должны быть наклонными в зал. В старинных театрах ложи около сцены были самыми большими, а все рядовые ложи выступали в зал индивидуальными «балкончиками». Довольно близко к этому решению акустических задач залов подошли создатели Московского Дворца молодежи, но у нас еще часто получается как всегда, если хотят как лучше. Там волны, выступающие в зал, стоят красиво, строго вертикально и отражают под углом пришедший звук со сцены в потолок. И стены сделаны из полированного камня, что мрамором блестит и отражает все низкие частоты, которые своей массой легко стирают энергией неполные верха.

Проблемы с низкочастотными модами в залах встречались всегда, и одним из решений мастеров прошлого было устройство сравнительно тонкого подвесного мембранного потолка. Второе решение – в конструкции лож, которые сами по себе работали по принципу фазовычитающего диффузора (Quadratic-Residue Diffusor). В прошлом веке не только исключили строительство лож в театрах, но и мембранные потолки иногда заливали прочным бетоном, «чтобы не рухнули деревяшки прогнившие». Один из самых грустных примеров: Большой театр, где даже время реверберации 6 с на 40 Гц и 0,6 с на 4 кГц.

В одной статье возможно только немного рассказать о путях решения задач естественной акустики в залах, список литературы и библиографические ссылки займут в два раза больше места, чем весь этот текст. Из тайны реверберации, открытой сто лет назад, выросло очень многое: уравнения Норриса-Эйринга, Хопкинса-Страйкера и Фитцроя, расчеты критической дистанции и потери передачи модуляции, измерение индекса инверсии и т. д. Задача действительно сложна, и грамотное решение акустических проектов больших залов сегодня может стоить десятки тысяч долларов. Надеюсь, что читателям теперь будет легче найти ответы на некоторые свои вопросы.

Литература

1. Йордан В.Л. Акустическое проектирование концертных залов и театров. — М.: Стройиздат, 1986. — 170 с.
2. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. — М.: Стройиздат, 1986. — 173 с.
3. Адамович В.В., Бархин Б.Г., и др. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1985. — 543 с.
4. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. — М.: Стройиздат, 1981. — 47 с.
5. Руководство по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций зданий. — М.: Стройиздат, 1983. — 65 с.
6. Architectural Acoustics. Bruel and Kjaer. 1978.
7. M. Barron. Subjective Survey of UK Concert Halls. Proc IOA Vol 7 Part 1. 1985.
8. L. Beranek. How they Sound: Concert and Opera Halls. Acoustic Society of America. 1996.
9. R. Craik. The Application of Statistical Energy Theory to Sound transmission through Buildings. IP3, BEPAC Information Papers. 1995.
10. L. Cremer and H. Muller (trans Schultz). Principles and Applications of Room Acoustics (Vol 1.). Applied Science. 1982.
11. Davis, D. and C. Sound system engineering. Howard W. Sams & Co. 1987. ISBN 0-672-21857-7.
12. N. Edwards (Artec Consultants inc. N.Y) Design Methods in Auditorium Acoustics. Proc IOA Vol 7 Part 1. 1985.
13. Everest, F. Alton. The master handbook of acoustics. TAB Books. 1994. ISBN 0-8306-4438-5.
14. Fry et al. Noise Control in Building Services. Pergamon Press. 1988.
15. Guide to Acoustic Practice (2nd Edition). British Broadcasting Corporation. 1990.
16. R. Hawkes and H. Douglas. Subjective Acoustic Experience in Concert Auditoria. Acustica v. 24. 1971.
17. H. Kuttruff. Room Acoustics (2nd Edition). Applied Science. 1979.
18. H. Niese. Die Prufung des raumakustischen «Echograd-Kriteriums» mit Hilfe von Silbenverständlichkeitsmessungen. Hochfrequenztechnik und Elektroakustik. v.66. _3. 1957.
19. Parkin, Humphries and Cowell. Acoustics, Noise and Buildings 4th ed. 1979, Faber ISBN 0-571-04953-2.
20. G. Porges. Applied Acoustics. Edward Arnold. 1977.
21. E. Rathe. Note on Two Common Problems of Sound Propagation. Journal Sound and Vibration 10(3). 1969.
22. Sound Control for Homes BRE and CIRIA 1993. ISBN 0-85125-559-0.
23. W. Utley and J. Sargent. Noise Reduction of Dwellings against Traffic Noise. Proc. IOA. Vol 8 Part 4. 1986.
24. Wadhams W. Sound advice. Schirmer Books. 1990.
25. M. Wilson A Review of Acoustic Problems in Passive Solar Design, Proc IOA Vol 14 Part4 (1992) (Euronoise 92) ISBN 1-873082.

Редакция журнала выражает сердечную благодарность атташе по культуре посольства Аргентины в Москве г-же Марте Шуаре за помощь в подготовке материала.