

Основные акустические требования при проектировании залов

Хорошие акустические качества залов зависят от правильного решения целого ряда архитектурных и инженерных задач, к которым относятся:

- соблюдение требуемого относительного объема (объема на одного слушателя), что обеспечивает соответствующее назначению зала время реверберации в нем;
- обеспечение всех зрителей достаточной звуковой энергией за счет выбора рациональной формы поверхности зала;
- создание диффузного звукового поля, исключающего образование таких звуковых эффектов как эхо, стоячие волны, фокусировка звука и др.;
- обеспечение надежной звукоизоляции зала как от внешних, так и от внутренних шумов.

1. Акустические требования к воздушному объему, форме и отражениям внутренних поверхностей зала

1.1. Воздушный объем зала

Общий воздушный объем зала должен назначаться в соответствии с существующими нормами, при этом рекомендуется исходить из объема $4 - 6 \text{ м}^3$ на одно слушательское место. При наличии у зала сценической коробки общий объем его назначается без учета объема сцены. Общий воздушный объем расчетного помещения рекомендуется применить исходя из объема $3,5 - 4,5 \text{ м}^3$ на 1 место.

В залах с воздушным объемом на одно слушательское место менее 4 м^3 время реверберации слишком мало и вместе с тем возникают затруднения в связи с необходимостью в этом случае надежно обеспечить непрерывную механическую вентиляцию зала.

Залы с воздушным объемом на одно слушательское место более 6 м^3 близки к концертным залам с большим временем реверберации и с повышенным запаздыванием звуковых отражений. Для снижения времени реверберации в такие залы приходится вводить большое количество звукопоглощающих материалов, но и при этом зал оказывается недостаточно хорошим для многоцелевого назначения.

1.2. Общие пропорции и длина зала

Основные размеры зала должны удовлетворять существующим нормам. При этом акустическим соображениям могут быть рекомендованы следующие правила:

- отношение длины зала к его средней ширине следует принимать более 1 и не более 2. Если это соотношение более 2, то диффузность звука в зале значительно ухудшается. При отношении меньше 1 (ши-

- рокий зал малой длины), получается нежелательное запаздывание отражений от боковых стен, и вследствие направленности источников звука ухудшается слышимость на боковых местах. Отношение, близкое к 1, также неблагоприятно для акустики зала;
- в тех же пределах (т.е. более 1 и не более 2) рекомендуется принимать и отношение средней ширины зала к его средней высоте, во всех случаях оно не должно превышать 3;
 - длину залов, не имеющих сцены, рекомендуется брать не более 28 м (от задней стены до передней), а залов со сценой – не более 26 м (от задней стены до занавеса).

1.3. Построение отражений от плоских, вогнутых и выпуклых криволинейных плоскостей

Оценка формы и размеров залов, а также отдельных поверхностей с акустической точки зрения состоит в анализе звукового поля на основе принципов геометрической акустики, т.е. в рассмотрении распространения прямых и отраженных звуковых волн (звуковых лучей) и построении "лучевого эскиза".

Построение отражений от плоских поверхностей производится с помощью метода мнимого источника (рис. 1). Мнимый источник I^m симметричен с действительным точечным источником I по отношению к отражающей плоскости и находится по другую ее сторону.

Звуковой луч, исходящий из источника I , падает на отражающую поверхность под некоторым углом, отражается от нее под тем же углом и представляется наблюдателю исходящим из точки I^m , которая является зеркальным изображением точки I .

Для построения мнимого источника надо опустить из точки I перпендикуляр на отражающую поверхность и на продолжении его отложить отрезок I^mO , равный IO . Продолжение AC прямой, проведенной из мнимого источника звука, является отраженным лучом C .

При отражении от вогнутых поверхностей звуковые лучи концентрируются в точке, образуя так называемый фокус (рис. 1в). Устранение этого грубейшего акустического недостатка при проектировании залов обеспечивается выбором надлежащего радиуса кривизны поверхности, при котором фокус не образуется в районе расположения мест зрителей.

При выпуклой поверхности (рис. 1б) отраженный звук рассеивается в зале.

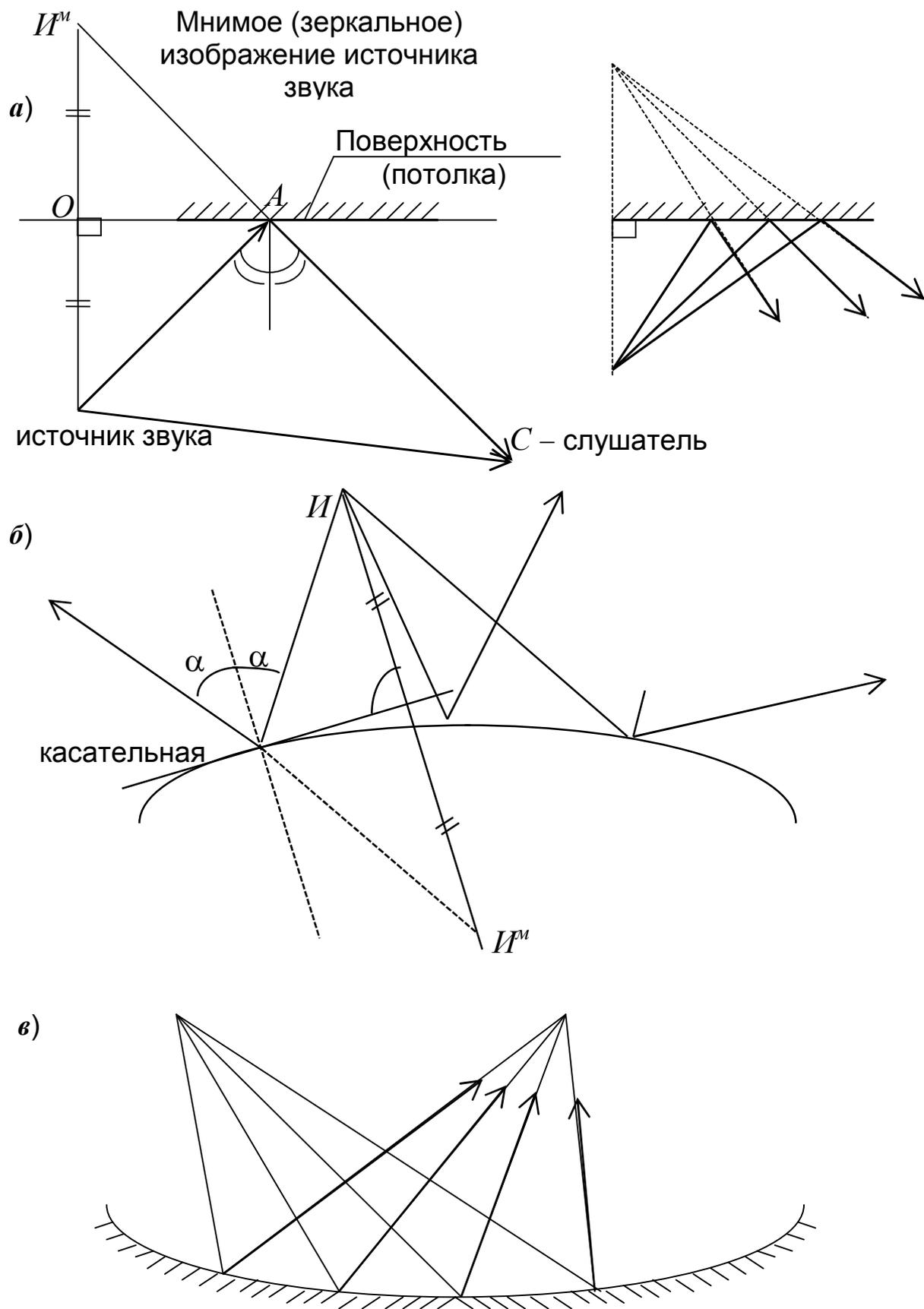


Рис. 1. Построение лучей от источника звука

1.4 Допустимое запаздывание ранних звуковых отражений

Достаточно ранние интенсивные звуковые отражения (в основном это первые, т.е. однократные отражения от поверхностей зала на пути звука от источника к слушателю) дополняют прямой звук источника, улучшая слышимость и разборчивость.

Интенсивными звуковыми отражениями являются (при достаточно малом их запаздывании) те, которые удовлетворяют условиям применимости геометрических отражений

На рис. 2 показан в виде лучей ход прямого звука от источника I и первых отражений (с углом падения γ_1 , равным углу отражения γ_2) от потолка и стен, приходящих в какую-либо точку M в области расположения слушателей.

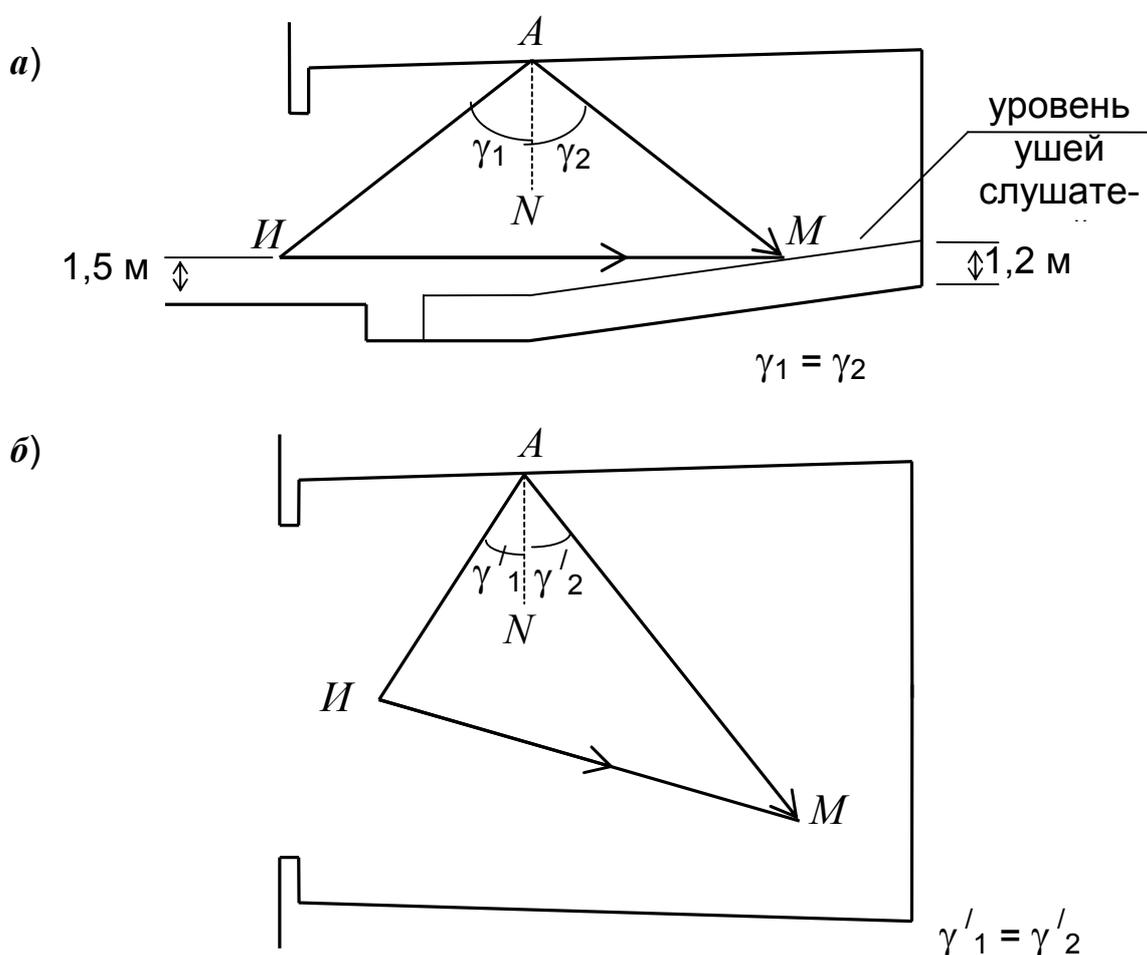


Рис. 2. Ход прямого звука и его первых отражений, AN – нормаль к отражающей поверхности
 a – продольный разрез зала; b – план зала

Если расстояние от источника I до точки приема M превышает 8 м, следует обеспечить кроме прямого звука приход в эту точку мало-запаздывающего первого отражения. Для хорошей разборчивости речи

желательно, чтобы оно запаздывало по сравнению с приходом прямого звука не более чем на 20 мс. В случаях, когда добиться такого малого запаздывания затруднительно, оно может быть увеличено до 30 мс.

Так как скорость звука в воздухе составляет около 340 м/с, то запаздыванию на 20 мс соответствует разность ходов отраженного и прямого звука около 7 м, на 30 мс – 10 м.

Таким образом, при расстоянии точки M от источника более 8 м для наиболее раннего отражения желательно чтобы разность ходов $IA + AM - IM$ (см. рис. 2) не превышала 7 м, во всяком случае не была больше 10 м. При этом следует брать истинные длины указанных отрезков, а не их проекций на чертеже.

Последовательные запаздывания прихода дальнейших отражений (т.е. промежутки времени между приходами отдельных отражений) также не должны превышать указанных значений.

При расчетах разности ходов высота источника над полом эстрады или сцены принимается равной 1,5 м (уровень рта исполнителя), а высота точки приема над полом – равной 1,2 м (уровень уха слушателя).

1.5 Влияние формы поверхности потолка и стен на распределение первых отражений

Очертания потолка и стен зала должны способствовать хорошему распределению отраженного от них звука, направляя большую его долю на удаленные от источника слушательские места. При проектировании зала следует при помощи геометрических (лучевых) построений контролировать распределение и запаздывание первых звуковых отражений от потолка и стен зала.

Плоское горизонтальное очертание потолка (рис. 3) не является оптимальной ее формой. Часть звука, отраженного от такого потолка, попадает в расположенные на расстоянии менее 8 м от источника передние ряды слушателей, для которых достаточная слышимость обеспечивается уже одним прямым звуком. Если высота передней части зала сравнительно велика, то запаздывание отраженного потолком звука по отношению к прямому звуку превышает 0,03 с. Вместе с тем, как видно из рис. 3, удаленная от источника часть такого потолка отражает звук не к слушателям, а на заднюю стенку зала. Примыкая к задней стене под прямым углом, потолок дает после вторичного отражения от нее запаздывающее обратное отражение звука к источнику.

Распределение отраженного передней частью потолка звука можно улучшить устройством над эстрадой или авансценой отражателя (рис. 4), направляющего этот звук в основном не в передние ряды, а к более удаленным слушателям. Отражателю целесообразно придать показанное на рис. 4 выпуклое очертание, обеспечивающее хорошее

распределение отраженного звука при разных положениях источника. В виде такого источника выполняется передняя часть потолка или устанавливается отражатель, подвешиваемый под потолком. Отражатель должен иметь массу не менее 20 кг/м^2 и может быть выполнен из железобетона, штукатурки по сетке или иного материала с малым коэффициентом звукопоглощения.

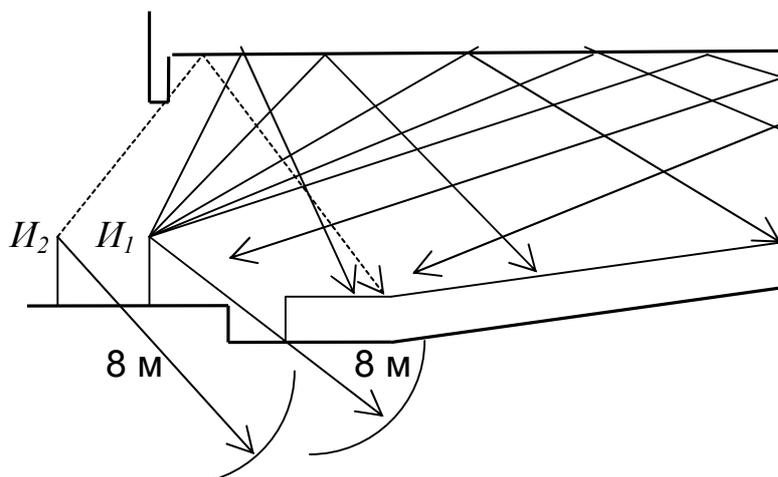


Рис. 3. Распределение отражений от плоского горизонтального потолка

I_2 и I_1 – положения источника звука

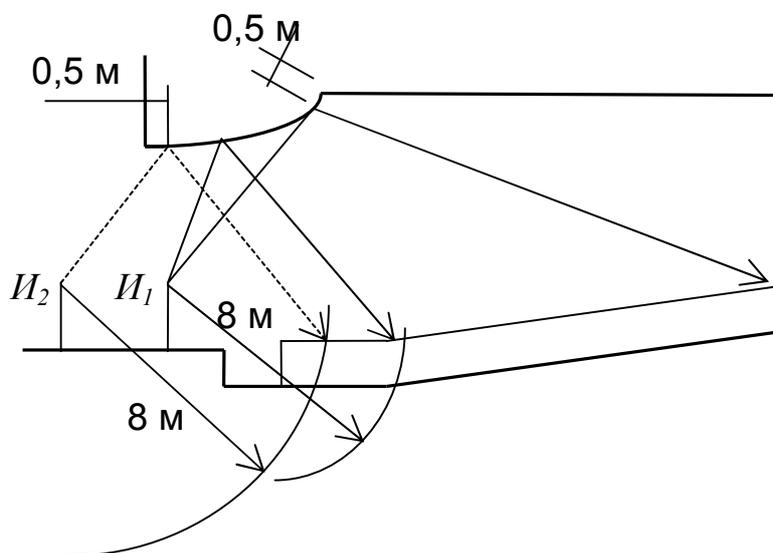


Рис. 4. Звукоотражатель в передней части потолка

I_2 и I_1 – положения источника звука

Распределение звука, отраженного задней частью потолка, улучшается, если потолок имеет наклонный, примыкающий к задней стене участок (рис. 5 б, в). В результате этого отраженный звук направляется, мало запаздывая по сравнению с прямым звуком, на задние места партера, улучшая там слышимость. Та же цель достигается наклоном в

сторону слушателей задней стены (рис. 5г). Полезным оказывается (в тех случаях, когда это согласуется с архитектурным замыслом) и наклон в сторону слушателей боковых стен, увеличивающий приходящую к слушателям долю звуковой энергии первых отражений от этих стен.

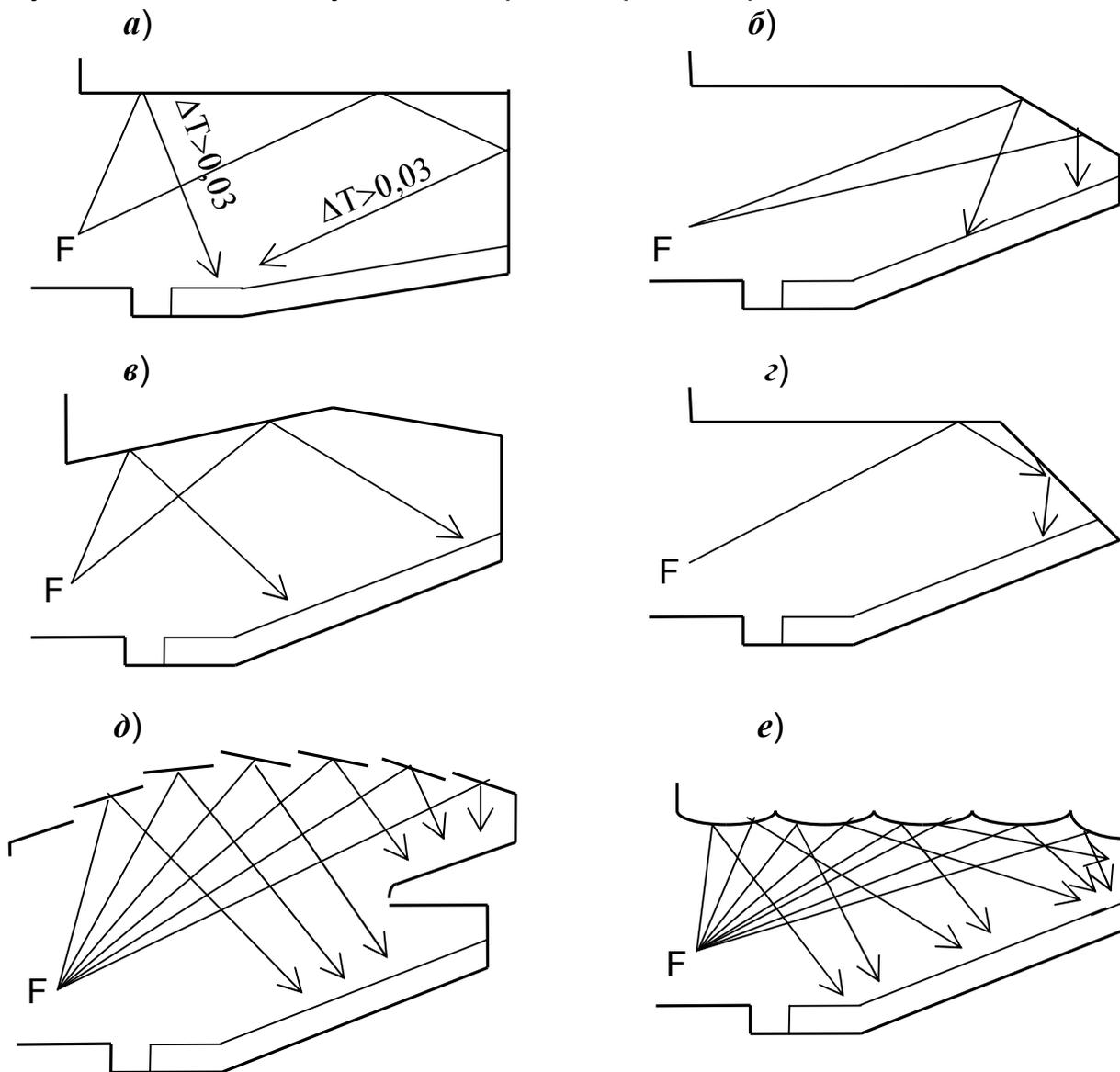


Рис. 5. Влияние форм поверхности потолка на распределение первых отражений:

- a* – распределение отражений от плоского горизонтального потолка;
- б* – звукоотражатель в передней части потолка;
- в, г* – рекомендуемое примыкание потолка к задней стене;
- д, е* – формы потолка, обусловленные акустическими требованиями

Часто применяющееся в практике проектирования залов расчленение потолка секциями (рис. 6) дает при правильном их очертании хорошее распределение отраженного звука. Здесь следует обращать внимание на то, чтобы звуковые отражения от смежных секций перекрывали друг друга. Секции, изображенные на рис. 6а, недостаточно удовлетворительны, так как отражения от смежных секций не перекры-

вадет друг друга, вследствие чего образуются зоны, лишенные геометрических отражений (при построении отражения от края секции точка геометрического отражения берется на расстоянии 0,5 м от края). Секции на рис. 5б и в не имеют этого недостатка: их геометрические отражения перекрывают друг друга. Такого рода секции выпуклого сечения (см. рис. 6в) предпочтительнее, так как они хорошо распределяют отраженный звук при разных положениях источника и повышают диффузность звукового поля в зале.

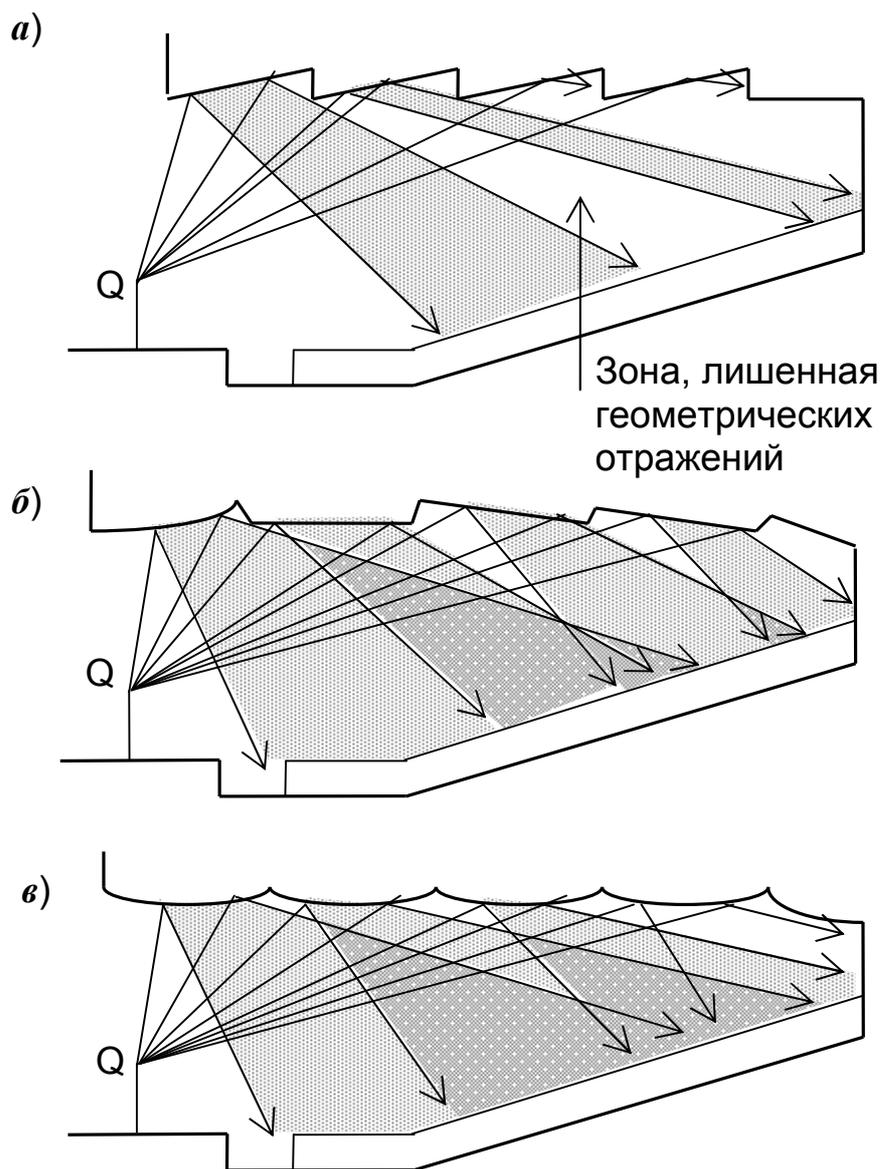


Рис. 6. Расчленение потолка секциями
a – неудовлетворительные очертания секций;
б, в – удовлетворительные очертания секций

Интенсивные малопаздывающие отражения от боковых стен весьма важны для достижения хорошей акустики зала. При выборе очертаний стен в плане имеют силу те же соображения, что и для по-

толка. Особенно важной является правильная конфигурация стен вблизи эстрады или сцены. При плоских параллельных боковых стенах отражения от их участков, прилегающих к сцене или эстраде, попадают в передние ряды слушателей, где для слышимости достаточен прямой звук источника (рис. 7а). Вместе с тем запаздывание этих отражений по отношению к прямому звуку превышает 0,03 с, если ширина передней части зала сравнительно велика. Положение улучшается при устройстве передней части боковых стен в виде отражателя (рис. 7б) типа, описанного для потолка и уменьшении ширины зала в передней его части.

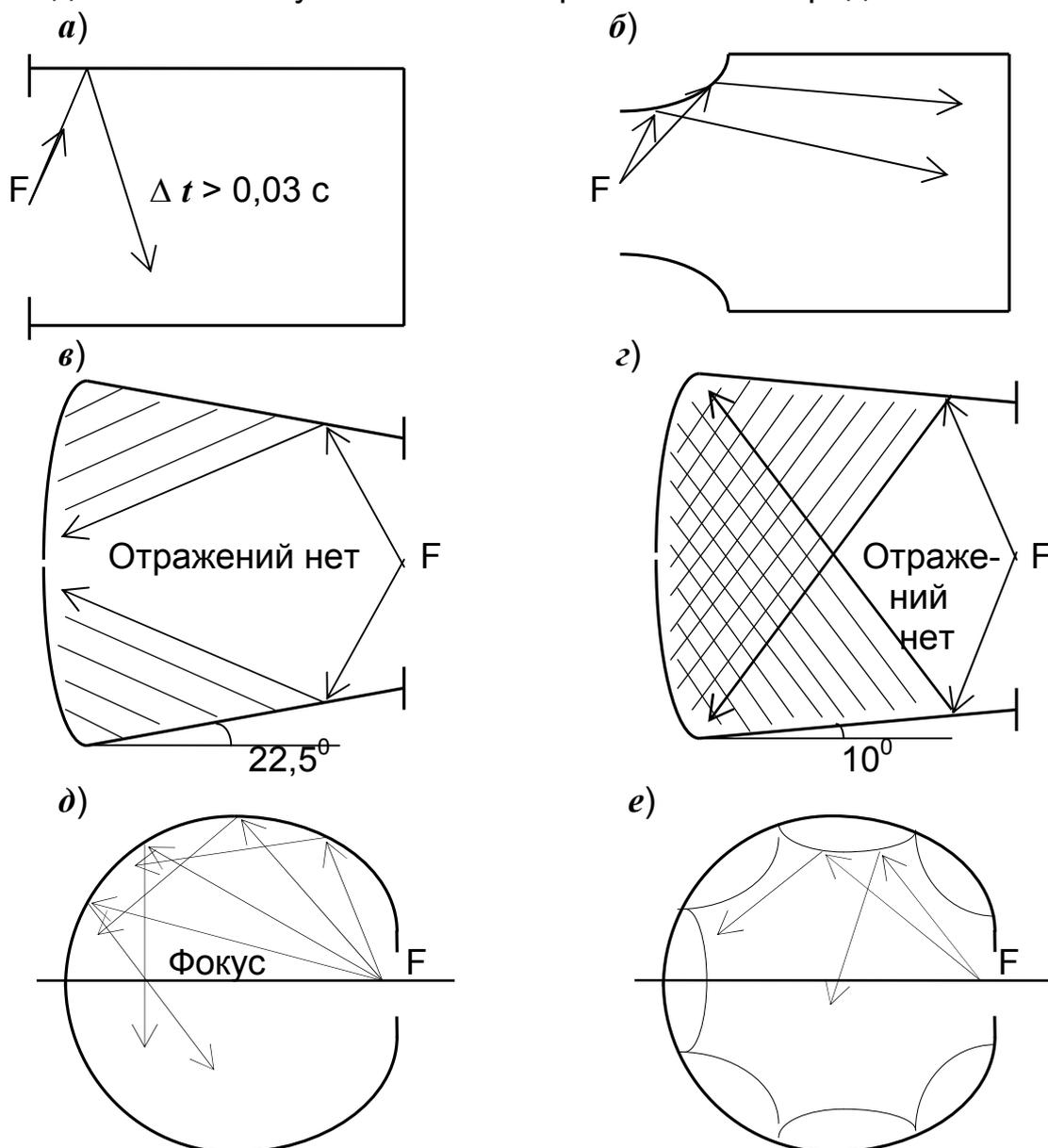


Рис. 7. Влияние формы плана на распределение первых отражений:
 а – распределение отражений при параллельных боковых стенах;
 б – звукоотражатели в передней части боковых стен;
 в, г – распределение отражений в зале секторной формы;
 д – распределение отражений в зале круглой формы;
 е – членение поверхностей с целью создания диффузного звукового поля

1.6. Обеспечение достаточной диффузности звукового поля

Одним из важнейших условий хорошей акустики зала является достаточная диффузность звукового поля. Для повышения диффузности необходимо, чтобы значительная часть внутренних поверхностей зала создавала рассеянное, ненаправленное отражение звука. Это достигается расчленением поверхностей балконами, пилястрами, нишами, описанными выше секциями и тому подобными неровностями. Вместе с тем требуется и направленность ранних звуковых отражений. При акустическом проектировании следует сочетать эти несколько противоречащие друг другу требования при помощи разной степени расчленения отдельных поверхностей зала.

Гладкие большие поверхности не способствуют достижению хорошей диффузности. Особенно нежелательны гладкие параллельные друг другу плоскости (обычно это бывают боковые стены зала); они вызывают “порхающее эхо”, получающееся в результате многократного отражения звука между ними. Расчленение таких стен ослабляет этот эффект и увеличивает диффузность. Повышает диффузность и небольшое отклонение стен от параллельности (рис. 8).

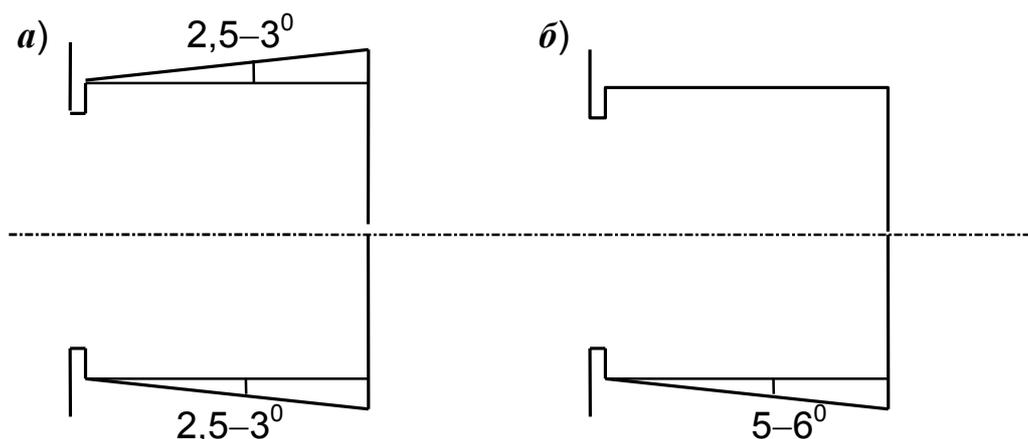


Рис. 8. Непараллельные боковые стены
a – скос обеих стен; *б* – скос одной стены

Сильно рассеивающие детали целесообразно размещать на поверхностях, не дающих малоугловых отражений, направленных на слушательские места. Хорошо рассеиваются звуковые волны, длина которых близка к размерам детали. Особо выгодны для этой цели элементы, имеющие криволинейное выпуклое сечение; этим же свойством обладают и треугольные пилястры (рис. 9).

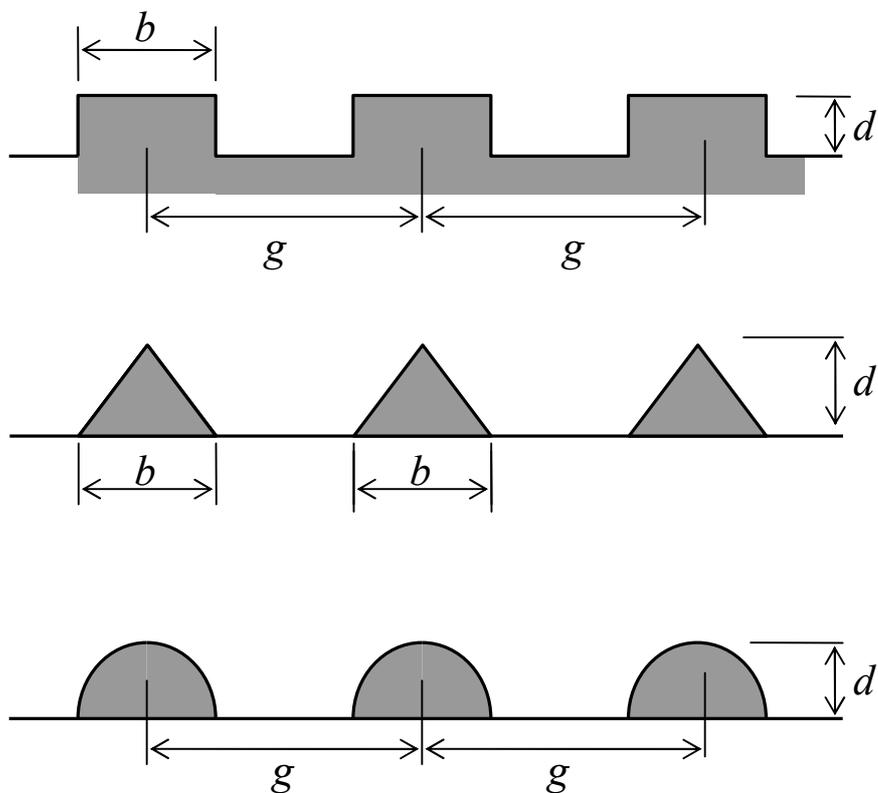
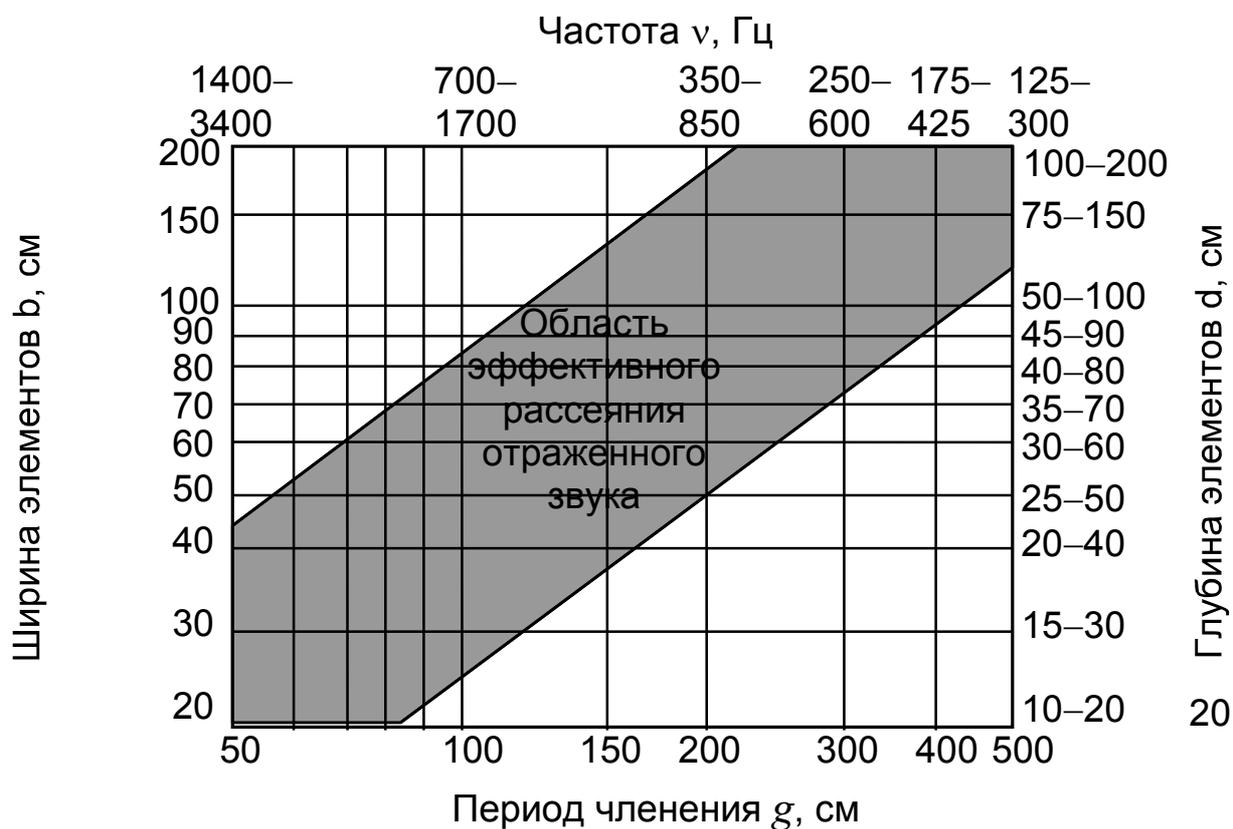


Рис. 9. График Гануса для ориентировочного выбора размеров периодических членений, обеспечивающих рассеяние отраженного звука разных частот

При периодически расположенных пилястрах рассеивание звука зависит не только от формы и размеров их сечений, но и от шага пилястр (см. рис. 12). Заштрихованная область на рисунке показывает примерные пределы, в которых лежат размеры пилястр и их шаг, дающие существенное рассеивание отраженного звука в указанных на этом рисунке областях частот. Пилястры выпуклого и треугольного сечения, как сказано в п. 2.19, рассеивают также и более высокие частоты по сравнению с получающимися из рисунка. Мелкие элементы размером 10–20 см рассеивают лишь частоты выше 1000 Гц. Эффективное рассеивание в области частот 200–600 Гц дают пилястры с размерами 1–2 м по ширине и 0.5–1 м по глубине при шаге членения 2–4 м. Если их очертание подвергнуть дальнейшему членению, т.е. придать крупным элементам дополнительную мелкую детализировку или сделать их выпуклой формы, то будет достигнуто рассеивание в широком диапазоне звуковых частот.

Профиль пола

Пол партера и балкона должен иметь профиль, обеспечивающий хорошую видимость эстрады или сцены. Это важно и для акустики зала, так как при соблюдении указанного требования уменьшаются поглощение прямого звука при распространении его от источника над слушателями и экранирование слушателями друг друга. С этой же целью высота эстрады или авансцены над уровнем прилегающего пола партера должна быть не менее 1 м.

Построение профиля пола партера и балкона с уклонами отдельных участков, обеспечивающими хорошую видимость, производится по правилам архитектурного проектирования зрительных и лекционных залов. Минимальное превышение рядов в партере не менее 8 см, в амфитеатре и на балконе – 12 см.

2. Время реверберации зала

Реверберация представляет процесс затухания звука после выключения источника звука, происходящего вследствие многократных отражений звуковых волн от ограждающих поверхностей.

Время в течении которого интенсивность звука уменьшается в миллион раз называется временем реверберации данного помещения. Уменьшение звука в миллион раз соответствует снижению уровня звука на 60 дБ, что означает практически полное затухание звука.

Чем больше помещение, тем больше средняя длина свободного пробега звуковых волн, а число отражений в единицу времени меньше, т.е. процесс затухания звука будет происходить медленнее.

Время реверберации (T , с) при среднем коэффициенте звукопоглощения $\alpha_{cp} \leq 0,2$ определяется по формуле Сабина:

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{\alpha_{ср} \cdot S_{общ}}, \quad (2.1)$$

где V – объем помещения, м³;

$S_{общ}$ – суммарная площадь ограничивающих поверхностей, м².

При $\alpha_{ср} > 0,2$ используется обычно формула Эйринга:

$$T = \frac{0,163 \cdot V}{S_{общ} \cdot \varphi(\alpha_{ср})}, \quad (2.2)$$

где $\varphi(\alpha_{ср}) = -\ln(1 - \alpha_{ср})$ – функция среднего коэффициента звукопоглощения, значения которой приведены в приложении 1.

В залах большого объема ($V \approx 10\,000$ м³) при расчете времени реверберации необходимо учитывать поглощение звука в воздухе. Для этого в знаменатель формул (2.1) и (2.2) добавляется член $4 \cdot m_g \cdot V$, где m_g – показатель затухания звука в воздухе, м⁻¹, зависящий от температуры, относительной влажности воздуха и частоты звука [1] (см. приложение 1).

Для определения времени реверберации помещения необходимо вычислить:

1. Объем помещения, V , м³;
2. Суммарная площадь ограничивающих поверхностей, $S_{общ}$, м²;
3. Эквивалентную площадь звукопоглощения $A_{общ}$, м². Эту величину определяют обычно при 70%-ном заполнении зала зрителями для частот 125, 500, 2000 Гц. Находят $A_{общ}$ по формуле:

$$A_{общ} = \sum \alpha_i \cdot S_i + \sum A + \alpha_{доб} \cdot S_{общ} \quad (2.3)$$

где $\sum \alpha_i S_i$ – сумма произведений коэффициентов звукопоглощения α_i отдельных поверхностей на их площади, м² (значения приведены в приложении 2);

$\sum A$ – сумма эквивалентных площадей звукопоглощения зрителями и креслами, м² (см. приложение 3);

$\alpha_{доб}$ – средний коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий звукопоглотители, фактически существующие в зале (осветительная арматура, воздушные полости, соединенные с основным объемом зала, щели и трещины, вентиляционные решетки и др.). Для частоты 125 Гц – 0,08 0,09; для частот 500 - 2000 Гц – 0,04 0,05.

Определение эквивалентной площади звукопоглощения приводим в таблице по форме 1.

Форма 1

Поверхности	S, м ²	Значения α и αS , м ² , на частотах, Гц					
		125		500		2000	
		α	αS	α	αS	α	αS

4. Средний коэффициент звукопоглощения

$$\alpha_{cp} = \frac{A_{общ}}{S_{общ}} \quad (2.4)$$

5. Определяют время реверберации при $\alpha_{cp} \leq 0,2$ по формуле (2.1) при $\alpha_{cp} > 0,2$ по формуле (2.2).

6. Сравнивают полученное время реверберации с рекомендуемым (оптимальным) для данного типа зала и его объема (рис. 10).

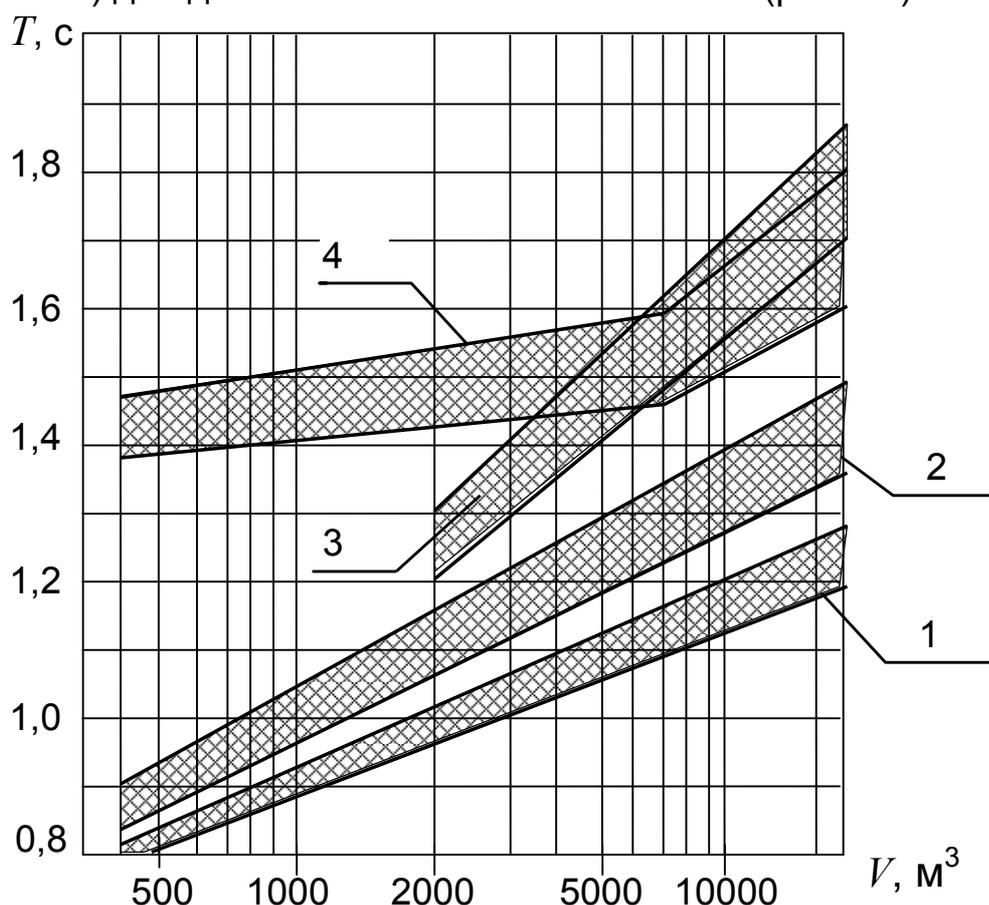


Рис. 10. Рекомендуемое время реверберации для залов различного назначения в зависимости от их объема в диапазоне частот 500÷2000 Гц.

- 1 – лекционные залы, залы пассажирских помещений;
- 2 – залы драматических театров, залы многоцелевого назначения средней вместимости, кинотеатры;
- 3 – залы театров оперы и балета, концертные залы;
- 4 – спортивные залы

Это время должно быть в пределах затушеванной области (усреднено по данным разных авторов) в диапазоне частот 500...2000 Гц. На частотах ниже 500 Гц допустимо некоторое увеличение времени реверберации, с тем чтобы на частотах 125 Гц оно было не более чем на 40% больше по сравнению со значением на частоте 500 Гц.

Если при определении времени реверберации его значение отличается от оптимального, снова проводится перерасчет.

Данная задача удобнее выполняется с использованием персонального компьютера.

3. Звукоизоляция зала

При проектировании зала должно быть обращено серьезное внимание на его звукоизоляцию. Мероприятия для звукоизоляции и снижения шума следует разрабатывать в соответствии с положениями главы СНиП по защите от шума.

Располагать здание, в котором имеется зал, на шумной магистрали крайне нежелательно. Если такое расположение неизбежно, то здание должно отступать от красной линии, и участок между ней и зданием следует озеленить деревьями, что несколько изолирует здание от уличного шума. Внутренняя планировка здания должна быть такова, чтобы зал находился возможно дальше от шумных проездов и других источников шума, а между залом и улицей располагались вспомогательные помещения (фойе, вестибюли и т.п.), защищающие зал от непосредственного проникновения уличного шума. Если зал имеет окна, то они не должны быть обращены в сторону шумных проездов и их следует устраивать с двойными плотными переплетами.

Для повышения звукоизоляции между залом и фойе входы в зал должны иметь плотно закрывающиеся двери, прикрываемые портьерами с обеих сторон; лучшая звукоизоляция достигается устройством тамбуров с двумя дверьми. Устройство тамбуров или коридоров, отделяющих от фойе, особенно рекомендуется, если предполагается использование фойе (например, для оркестра) одновременно с залом.

Допускаемый уровень проникающих в зал шумов и требуемая звукоизоляция ограждающих конструкций зала должны приниматься в соответствии с нормами проектирования СНиП II-12-77. Если окружающие зал помещения нуждаются по своему характеру в защите от шумов, то должна быть обеспечена изоляция этих помещений от проникающего из зала звука.

При разработке внутренней планировки здания надо строго следить за тем, чтобы помещения с шумным оборудованием (например, вентиляционные камеры с вентиляторами, насосные, холодильные установки, шахты лифтов и их машинные помещения, трансформатор-

ные, котельные и т.д.) не примыкали к залу и другим помещениям, требующим защиты от шума.

При проектировании установок вентиляции или кондиционирования воздуха для изоляции зала от их шума должны быть разработаны следующие мероприятия:

- монтаж вентиляторов, насосов и компрессоров совместно с их двигателями на амортизаторах для изоляции колебаний, передающихся строительным конструкциям здания;
- устройство вставок из прорезиненной ткани в местах присоединения воздуховодов к вентиляторам и вставок из резинового шланга в местах присоединения трубопроводов к насосам;
- устройство глушителей для заглушения аэродинамических шумов, распространяющихся по воздуховодам;
- ограничение скорости воздуха для снижения шумообразования в воздуховодах и решетках;
- надлежащая звукоизоляция ограждающих конструкций помещений, в которых расположены вентиляторы и насосы. При проектировании этих мероприятий следует пользоваться указанными нормами СНиП II-12-77.

Для изоляции зала от шума кинопроекторов, проекционные окна должны иметь стекла толщиной не менее 6 мм, герметически закрывающие оконный проем при помощи резинового уплотнения по контуру. Смотровые окна должны иметь два таких стекла. В оконном проеме торцы стены между этими стеклами рекомендуется отделывать звукопоглощающим материалом. Проекторы следует устанавливать на резиновых амортизаторах, ослабляющих звуковые колебания, передающиеся полу. Потолок кинопроекторной рекомендуется отделывать для снижения шума звукопоглотителем; для этой цели могут служить звукопоглощающие плиты одного из типов, приведенных в прил. 2.

Значение функции $\varphi(\alpha_{cp}) = -\ln(1 - \alpha_{cp})$ в зависимости от α_{cp}

Десятые доли α_{cp}	Сотые доли α_{cp}									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17
0,7	1,20	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,51	1,56
0,8	1,61	1,66	1,72	1,77	1,83	1,90	1,97	2,04	2,12	2,21

Пример: для $\alpha_{cp} = 0,39$ находим из таблицы $\varphi(\alpha_{cp}) = 0,49$

Показатель затухания звука в воздухе m_6 при температуре 18...20°C

Относительная влажность воздуха, %	Значения m_6 , m^{-1} , на среднегеометрических частотах				
	125	500	2000	4000	8000
30	0,00015	0,00064	0,0032	0,0095	0,0340
40	0,00015	0,00060	0,0027	0,0075	0,0270
50	0,00014	0,00058	0,0024	0,0061	0,0215
60	0,00014	0,00056	0,0022	0,0055	0,0182
70	0,00014	0,00055	0,0020	0,0051	0,0156

Коэффициенты звукопоглощения материалами и конструкциями

Материалы или конструкции	Коэффициенты звукопоглощения α_i на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
	1	2	3	4	5	6
ПОЛЫ						
Пол, натертый мастикой, на деревянных балках	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Паркет по асфальту	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Паркет по деревянному основанию	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,06
5-миллиметровая резина на полу	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Ковер шерстяной обычного типа	0,08	0,08	0,20	0,26	0,27	0,37
То же на войлочной подкладке	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,30
Линолеум толщиной 5 мм по твердому основанию	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
СТЕНЫ И ПОТОЛКИ						
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Стена кирпичная неоштукатуренная	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Стена кирпичная оштукатуренная и окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
То же окрашенная клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Мрамор, гранит и др.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Сухая штукатурка	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05
Сухая штукатурка на расстоянии 5 см от пола	0,30	0,25	0,15	0,08	0,05	0,05
Штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06

Продолжение приложения 2

	1	2	3	4	5	6
Плиты древесностружечные неокрашенные толщиной 20 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм	0,10	0,08	0,05	0,05	0,08	0,10
То же с заполнением воздушного промежутка минватой толщиной 50 мм	0,32	0,14	0,07	0,04	0,08	0,13
Плиты твердые древесноволокнистые толщиной 4мм, объемным весом 1000 кг/м ³ , с воздушной прослойкой 50-150 мм	0,30	0,16	0,08	0,05	0,04	0,08
Деревянная обшивка (сосна) толщиной 19 мм	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,11
Деревянная панель толщиной 5-10 мм с воздушным промежутком (около 50 мм)	0,25	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Остекление	0,35	0,25	0,18	0,12	0,12	0,04
ЗАНАВЕСИ И ДРАПИРОВКИ						
Свободно висящая ткань в виде драпри при ρ , кг/м ² :						
0,35	0,04	0,04	0,11	0,17	0,30	0,35
0,60 (бархат)	0,10	0,30	0,50	0,50	0,72	0,65
0,65 (портьеры плюшевые складками)	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,659
ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛИ						
Цилиндрические сегменты из 3-миллиметровой фанеры, покрытой мягким оргалитом:						
длина хорды 40 см	0,35	0,29	0,26	0,11	0,08	0,07
стрела выноса 35 см						
длина хорды 70 см	0,30	0,34	0,35	0,32	0,28	0,26
стрела выноса 32 см						
Панели по каркасу из брусьев 8×10 см, обитые фанерой с шагом ячеек 0,5×0,7 м и с воздушной прослойкой толщиной 10 см при толщине фанеры 3 мм	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,10

Продолжение приложения 2

	1	2	3	4	5	6
Перфорированные конструкции из 3-мм фанеры по деревянным рамкам 60×60 см, заполненные асбестовой ватой в мешковине, толщиной 50 мм, при диаметре отверстий:						
4 мм и расстоянии по центрам отверстий 40мм	0,27	0,43	0,36	0,25	0,15	0,13
6 мм и расстоянии по центрам отверстий 25мм	0,20	0,46	0,58	0,52	0,42	0,31
Инсулит толщиной 20 мм	0,15	0,18	0,29	0,32	0,29	0,30
Арболит толщиной 20 мм	0,15	0,25	0,39	0,42	0,43	0,42
Плиты из пористой керамики толщиной 30 мм	0,15	0,20	0,26	0,50	0,66	0,57
Маты из дутьевого стекловолокна толщиной 25 мм, расположенные за жесткими перфорированными древесно-волоконистыми плитами	0,30	0,42	0,72	0,87	0,76	0,79
Гипсовые перфорированные плиты с пористым заполнителем, выпускаемые Беличским комбинатом строительных материалов (УССР)						
без воздушного промежутка	0,10	0,25	0,50	0,90	0,65	0,40
с воздушным промежутком 100 мм	0,20	0,70	0,90	0,70	0,65	0,35
Плиты минераловатные, акустические, выпускаемые комбинатом "Красный строитель" (г. Воскресенск, Московской области)						
перфорированные (ПА/о) без воздушного промежутка	0,05	0,15	0,65	0,90	0,80	0,40

тоже с воздушным промежутком 100 мм	0,20	0,50	0,90	0,80	0,75	0,40
-------------------------------------	------	------	------	------	------	------

Продолжение приложения 2

	1	2	3	4	5	6
отделочные с набрызгом (ПА/о), без воздушного промежутка	0,05	0,10	0,60	0,80	0,85	0,80
то же с воздушным промежутком 100 мм	0,15	0,60	0,90	0,85	0,80	0,75
гладкие декоративные (ПА/д), без воздушного промежутка	0,05	0,55	0,50	0,50	0,25	0,10
то же, с воздушным промежутком 100 мм	0,30	0,60	0,50	0,50	0,25	0,10
Плиты пористые акустические "Акмигран", размер 300×300×20 мм:						
без воздушной прослойки	0,05	0,15	0,50	0,65	0,65	0,70
с воздушной прослойкой, мм:						
50	0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,70
100	0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,70
200	0,35	0,60	0,60	0,65	0,70	0,75
Плиты "Винипор" полужесткие с огнестойкой пропиткой толщиной 30мм (ТУ В-66-70)	0,15	0,25	0,56	0,85	1,00	1,00
Маты из супертонкого стекловолокна толщиной 50 мм (ТУ 21-01-224-69), покрытые стеклотканью ССТЭ-6 (ГОСТ 19907-74)	0,40	0,85	0,98	1,00	0,93	0,97
Маты из супертонкого базальтового волокна толщиной 50 мм (РСТ УССР 5013-76), покрытые оболочкой из декоративной стеклоткани (ТСД ТУ 6-11-51-74)	0,20	0,90	1,00	1,00	0,95	0,95
Плиты "Силакпор" толщиной 45 мм	0,31	0,34	0,49	0,60	0,76	0,93

Продолжение приложения 2

	1	2	3	4	5	6
Прошивные минераловатные маты толщиной 100 мм (ТУ 21-24-51-73). Облицовка: гипсовая плита размером 500×500, подклеенная бязью, перфорация диаметром 7-9 мм – 13%	0,40	0,89	0,97	0,76	0,70	0,71
Супертонкое стекловолокно толщиной 100 мм (ТУ 21-01-224-69). Облицовка: стеклоткань Э-0.1 (ГОСТ 19907-74) гипсовая плита размером 500×500, перфорация диаметром 7-9 мм – 13%	0,66	1,00	1,00	1,00	0,96	0,70
ОТВЕРСТИЯ						
Проем сцены	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Отверстие оркестровой ямы	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4

Приложение 3

Эквивалентная площадь звукопоглощения, м², зрителями и креслами

Зрители и кресла	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Зрители на мягком кресле	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40
То же, на жестком кресле	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35
Кресло деревянное жесткое	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
Кресло с обивкой сиденья и спинки искусственной кожей	0,08	0,10	0,12	0,10	0,10	0,08
Полумягкое кресло, обитое тканью	0,08	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20
Мягкое кресло, обитое тканью с пористым наполнителем сиденья и спинки	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30

Литература

1. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика.– М.: Высш. шк., 1986.– 256 с.
2. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости/ НИИСФ.– М.: Стройиздат, 1981.– 47 с.
3. Руководство по созданию оптимального акустического режима в учебных помещениях/ ЦНИИЭП учебных заведений.– М.: Стройиздат, 1984.– 48 с.
4. Рекомендации по акустическому проектированию крытых спортивных сооружений/ НИИСФ.– М.: Стройиздат, 1987.– 32 с.
5. Кочерович А. Акустика зрительного зала.– М.: Искусство, 1968.– 208 с.
6. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий.– М.: Стройиздат, 1986.– 173 с.
7. Рейхард В. Акустика общественных зданий/ Пер. с нем. Л.И. Макриненко.– М.: Стройиздат, 1984.– 198 с.
8. Йордан В.Л. Акустика проектирования концертных залов и театров/ Пер. с англ. С.А. Хомутова; Под ред. Л.И. Макриненко.– М.: Стройиздат, 1986.– 170 с.

Оглавление

Основные акустические требования при проектировании залов	3
1. Акустические требования к воздушному объему, форме и отражениям внутренних поверхностей зала.....	3
1.1. Воздушный объем зала.....	3
1.2. Общие пропорции и длина зала	3
1.3. Построение отражений от плоских, вогнутых и выпуклых криволинейных плоскостей.....	4
1.4 Допустимое запаздывание ранних звуковых отражений.....	6
1.5 Влияние формы поверхности потолка и стен на распределение первых отражений	7
1.6. Обеспечение достаточной диффузности звукового поля	12
2. Время реверберации зала.....	14
3. Звукоизоляция зала	17
Литература.....	26