

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ИСКУССТВ

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ

Методические указания к курсовому
проектированию

Ростов-на-Дону
2015

УДК 621.426.43.631

Методические указания к курсовому проектированию «Акустические характеристики помещений зданий» / авт. А.Р.Лебединская. – Ростов-на-Дону: ААИ ЮФУ, 2015. – с.

Методические указания содержат требования к выполнению курсовой работы «Акустические характеристики помещений зданий» по курсу «Акустика». Представлена методика расчетов по оценке времени реверберации и диффузности звукового поля в помещении, выбора отделочных материалов в соответствии с заданными акустическими характеристиками помещения.

Методические указания составлены на основе действующего документа – СП 51.13330.2011 «Защита от шума и акустика залов» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003, приведены необходимые справочные материалы.

Данные методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению «Дизайн».

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры инженерно-строительных дисциплин (протокол № 9 от 3.06.2015).

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Академии архитектуры и искусств ЮФУ (протокол от 17.06.2015).

Рецензенты:

Профессор кафедры интерьера ААИ ЮФУ, член Союза дизайнеров России, председатель Ростовского регионального отделения Союза дизайнеров России Михеев С.Д.

Доцент кафедры физики РГСУ, к.ф.-м.н, Русакова Е.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших параметров при оценке качества звукопередачи в помещениях является то или иное значение реверберации, под которой понимается затухание большого количества отражений в паузах прямого сигнала, изменяющих его форму. В результате реверберации каждый отдельный звук после своего прекращения затягивания во времени. Если затягивание будет продолжительным, то при появлении нового сигнала возникает их взаимная маскировка, вызывающая потерю разборчивость и звучания. Введем понятие времени стандартной реверберации: времени, в течение которого плотность звуковой энергии уменьшается в 10^6 раз, то есть на 60 дБ.

Оптимальное значение времени стандартной реверберации, при которой передача воспринимается наилучшим образом, зависит от жанра программы, объема помещения и частоты.

Исходя из объема ($V=2326 \text{ м}^3$), уточнённого после построения профилей зала и сцены, и назначения помещения (речевой зал) определяем оптимальное время реверберации $T_{\text{опт}}$ для частоты 500 Гц основываясь на рекомендациях приведённых на рис. 9. Затем определяем частотную характеристику оптимального времени реверберации.

В закрытом помещении после прекращения действия источника звука, слушатель воспринимает прозвучавший музыкальный или речевой сигнал в течение некоторого временного интервала. Это объясняется тем, что уровень звукового давления (у.з.д.), созданный в точке, является интегральной характеристикой энергии прямого звука и энергии отраженных от поверхностей помещения звуковых волн. В результате реверберации каждый отдельный звук после своего прекращения затягивания во времени. Если затягивание будет продолжительным, то при появлении нового сигнала возникает их взаимная маскировка, вызывающая потерю разборчивость и звучания. Процесс спада звуковой энергии называется реверберационным процессом, а само явление реверберацией.

Для количественной оценки реверберации используется понятие - время реверберации, которое не должно зависеть ни от индивидуального порога слышимости, ни от начального уровня сигнала и которое он определил как время, за которое первоначальная энергия сигнала уменьшится в миллион раз (или снижается на 60 дБ).

Надлежащее время реверберации, характеризующее общую гулкость помещения, является одним из важных условий хорошей акустики зала. При этом следует помнить, что для достижения четко определенного времени реверберации требуется достаточная диффузность звука в зале.

Время реверберации является первой и одной из основных характеристик помещений, зависящая от объема помещения и общего звукопоглощения. Оптимальное значение времени стандартной реверберации, при которой передача воспринимается наилучшим образом, зависит от жанра программы, объема помещения и частоты.

УЧЕБНОЕ ЗАДАНИЕ
на выполнение курсовой работы по курсу
«АКУСТИКА»
«Акустические характеристики помещений зданий»

Цель:

1. Ознакомиться с основными акустическими характеристиками
2. научиться осуществлять выбор отделочных материалов в соответствии с акустическими требованиями помещения:
3. Научиться выполнять расчет основных акустических характеристик залов.

План выполнения работы:

1. Вид зала и количество мест студент выбирает самостоятельно по данным таблицы 1, согласовав свой выбор с преподавателем.
2. Определить рекомендуемое время реверберации (T_p) для частоты 125, 500, 2000 Гц, исходя из параметров и целевого назначения предложенного зала;
3. Выполнить подбор материалов, конструкций и прочих элементов, обеспечивающих оптимальное звукопоглощение.
4. Посчитать:
 - воздушный объем после последнего изменения параметров зала V , м³;
 - общую площадь внутренних поверхностей $S_{\text{общ}}$, м²;
 - общую эквивалентную площадь звукопоглощения (ЭПЗ) $A_{\text{общ}}$, м²;
5. Рассчитать время реверберации T для частоты 125, 500, 2000 Гц;
6. Произвести сравнение полученного времени реверберации и рекомендуемого;
7. При необходимости выполнить корректировку расчетного времени реверберации заменяя отделочные материалы или меняя параметры зала;
8. Выполнить 3D -изображение моделируемого помещения с размещением выбранных отделочных материалов.
9. Курсовая работа сдается в формате А4, в переплетенном виде, чертежи, выполненные на листах формата А3 складываются и переплетаются вместе с отчетом.

Ход выполнения курсовой работы

1. Определение рекомендуемого времени реверберации (T_p)

Большое значение в зале имеет время реверберации. Оптимальные величины времени реверберации в диапазоне 500-1000 Гц для залов различного назначения в зависимости от объема зала приведены на рисунке 3. По заданному объему помещения определяем значение оптимального времени реверберации.

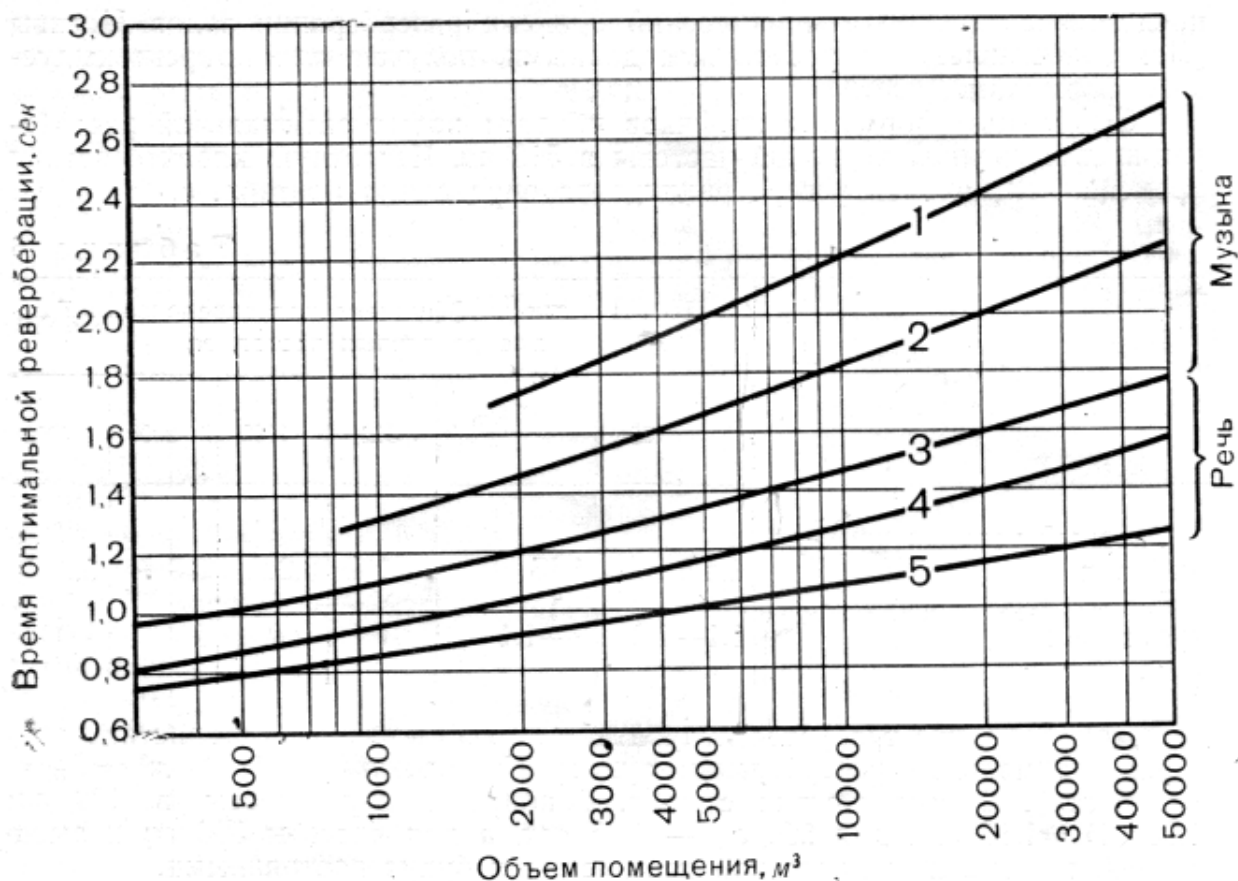


Рисунок 3 – Рекомендуемое время реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) для залов различного назначения в зависимости от их объема.

1 – залы для ораторий и органной музыки; 2 – залы для симфонической музыки; 3 – залы для камерной музыки, залы оперных театров; 4 – залы многоцелевого назначения, 5 – лекционные залы, залы заседаний, залы драматических театров, кинозалы, пассажирские залы

Допускается отклонение значения времени реверберации от оптимальной величины:

- на средних частотах (500-2000 Гц) не более, чем на 10%;

- на низких частотах (125 Гц) допускается увеличение времени реверберации на 20%.

После того, как определено время реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) по рис. 3, необходимо его скорректировать по частотному спектру воспроизводимых в зале сигналов. Здесь могут быть предложены следующие рекомендации:

а) для лекционных аудиторий, конференцзалов рекомендуется не изменять время реверберации на всех частотах, кроме частоты 125 Гц (уменьшить на 15%),

б) залы, в которых исполняемые музыкальные произведения характеризуются быстрыми ритмами и особенно с применением средств электроакустики время реверберации почастотно не изменяется, но его рекомендуется уменьшить на 10-20%; $T_{\text{опт}}^{2000} = 0,9 T_{\text{опт}}^{500}$;

в) залы, которые используются, как для музыкальных постановок, так и для проведения собраний, спектаклей (многоцелевые залы), должно иметь разное время реверберации на разных частотах: для частоты 2000 Гц берется такое же время реверберации, как и на частоте 500 Гц, а на частоте 125 Гц допускается увеличение на 20%, т.е. $T_{\text{опт}}^{125} = 1,2 T_{\text{опт}}^{500}$; (процентный состав зависит от годового вклада представлений и концертов с музыкальным исполнением: чем их больше, тем больший процент следует брать).

2. Расчет времени реверберации

Расчетное время реверберации определяется по формуле Эйринга:

$$T = 0,163 \frac{V}{S_{\text{общ}} \cdot \varphi(\alpha_{\text{ср}}) + nV}, \quad (1)$$

где V – объем зала, м^3 ,

$S_{\text{общ}}$ – суммарная площадь всех ограждающих поверхностей зала, м^2 ,

$\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения в зале,

$\varphi(\bar{\alpha}) = -\ln(1 - \bar{\alpha})$ – функция среднего коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}$, значения которой приведены в таблице 2.

n – коэффициент, учитывающий затухание звука в воздухе. В октавных полосах 125-1000 Гц $n = 0$, в октаве 2000 Гц $n = 0,009$, в октаве 4000 Гц $n = 0,022$.

2. Из формулы (1) определяем $\varphi(\bar{\alpha})$:

$$\varphi(\alpha_{\text{ср}}) = \frac{(0,163 \frac{V}{T} - n \cdot V)}{S_{\text{общ}}}$$

3. По полученному значению $\varphi(\bar{\alpha})$ определяем значение $\bar{\alpha}$ по таблице 3. Например, для $\varphi(\bar{\alpha}) = 0,39$ средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha} = 0,32$

Значения функции $\varphi(\bar{\alpha}) = -\ln(1 - \bar{\alpha})$ в зависимости от величины среднего коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}$ в зале

Таблица 1

Десятые доли $\alpha_{\text{ср}}$	Сотые доли $\alpha_{\text{ср}}$									
	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

4. Средний коэффициент звукопоглощения $\alpha_{\text{ср}}$ представляет собой отношение:

$$\alpha_{\text{ср}} = A_{\text{общ}} / S_{\text{общ}}$$

5. Определяем для всех расчетных частот рекомендуемое значение общей ЭПЗ $A_{\text{общ}}$ в помещении по формуле

$$A_{\text{общ}}^{\text{теор}} = S_{\text{общ}} \alpha_{\text{ср}} \quad (2)$$

6. Общая ЭПЗ на частоте, для которой ведется расчет, находится по формуле :

$$A_{\text{общ}} = \sum \alpha_i S_i + \sum A_{\text{крес.с.луш.}} + \alpha_{\text{добр}} S_{\text{общ}} \quad (3)$$

где $\sum \alpha_i S_i$ — сумма произведений площадей отдельных поверхностей S , м^2 на их коэффициент звукопоглощения α для данной частоты;

Выбираем внутреннюю отделку для следующих поверхностей: потолка; пола, не занятого местами для зрителей возможно, дверей и окон (при наличии оркестровой ямы, учитывая отсутствие ямы в речевых аудиториях) по таблице 2.

Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций

Таблица 2

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения для октавных полос, α (Гц)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Стена оштукатуренная окрашенная клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
То же окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Мрамор, гранит	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Панель деревянная толщиной 5-10 мм с воздушной полостью 50-100 мм	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Переплеты оконные застекленные	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04
Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Пол дощатый на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
Линолеум	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Ковер шерстяной толщиной 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
То же, на войлочной подкладке толщиной 3мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,37
Портьеры плюшевые со складками плотностью ткани 0,65 кг/м ²	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65
Проем сцены, оборудованный декорациями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Занавес из тарной ткани у стены	0,02	0,07	0,19	0,42	0,48	0,43
То же, в сборку	0,1	0,28	0,46	0,6	0,58	0,6
Занавес из репса на шелковой подкладке(растянут)	0,02	0,09	0,38	0,68	0,66	0,6
То же, в сборку	0,04	0,16	0,48	0,68	0,56	0,56
Ткань свободно висящая в виде драпри, масса 1 м ² , кг						
«» 0,35	0,04	0,04	0,11	0,17	0,3	0,35
«» 0,5	0,04	0,07	0,13	0,22	0,33	0,35
То же, драпирующая 7/8 площади	0,03	0,12	0,15	0,27	0,37	0,42
То же, 3/4 площади	0,04	0,23	0,4	0,57	0,53	0,4
То же, 1/2 площади	0,07	0,37	0,49	0,81	0,66	0,54
Бархат, соприкасающийся со стенкой, масса 1 м ² 0,65 кг	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36
То же, на расстоянии от стены 10 с	0,06	0,28	0,44	0,5	0,4	0,35
То же, 20 см	0,08	0,29	0,44	0,5	0,4	0,35
Войлок из поливинилхлоридных волокон (ПВХ)	0,13	0,41	0,73	0,93	1,0	1,0
Киноэкран	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Плиты «Акмигран» 300x300x20 мм						
Вплотную	0,05	0,15	0,5	0,65	0,65	0,7
С воздушным промежутком 50 мм	0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
100 мм	0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,7
Плиты «Москва» вплотную	0,1	0,25	0,8	0,6	0,5	0,35
То же с воздушным промежутком 100 мм	0,2	0,6	0,8	0,6	0,5	0,35
Плиты «Мелодия» вплотную	0,15	0,25	0,8	0,4	0,2	0,2
То же с воздушным промежутком 100 мм	0,25	0,5	0,8	0,45	0,3	0,3
Штукатурка гипсовая толщиной 20 м с воздушной прослойкой 50-150 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04
Фибролит толщиной 50 мм с воздушной прослойкой 50-160 мм	0,2	0,45	0,45	0,5	0,6	0,65
Плиты гипсовые перфорированные с пористым наполнителем	0,05	0,2	0,4	0,75	0,55	0,35
то же с воздушной прослойкой 50 мм	0,05	0,4	0,75	0,55	0,55	0,3
100мм	0,15	0,6	0,75	0,55	0,5	0,3

Площадь пола, занятого местами для зрителей определяется по вместимости зала по формуле :
 $S_{зан} = S_{1зрит} \cdot N$, где $S_{1зрит} = 0,4 \text{ м}^2$ – площадь одного зрительского места.

$\alpha_{доб} \cdot S_{общ}$ - добавочное звукопоглощение, вызываемое прониканием звуковых волн в различные щели и отверстия, колебаниями разнообразных гибких элементов и т. п. Коэффициент $\alpha_{доб}$ учитывает также поглощение звука осветительной арматурой и другим оборудованием зала. Коэффициент добавочного звукопоглощения $\alpha_{доб}$ залов в среднем может быть принят равным 0,09 на частоте 125 Гц и 0,05 на частотах 500— 2000 Гц. Для залов, в которых сильно выражены условия, вызывающие добавочное звукопоглощение (например, многочисленные щели и отверстия на внутренних поверхностях зала, многочисленные гибкие элементы — гибкие абажуры и панели светильников и т.п.), следует эти значения увеличить примерно на 30%, а в залах, где эти условия выражены слабо, примерно на 30% уменьшить.

Выбор отделочных материалов боковых стен производится с учетом результатов расчета удельного объема помещения $V_{уд}$ и с учетом требований обеспечения диффузности звукового поля в зале.

$$V_{уд} = V/N,$$

где V - внутренний объем помещения, м^3 , N – вместимость зала. Объем зала должен назначаться в соответствии с существующими нормами, в зависимости от назначения зала и количества слушательских (зрительских) мест. Рекомендуемые параметры акустических залов различного назначения отражены в таблице 4.

Рекомендуемые параметры различных залов

Таблица 4

Вид зала	Максимальная вместимость, человек	V удельный, $\text{м}^3/\text{чел.}$	Максимальная длина (до авансены), м
Лекционные и конференц-залы	400	4-5	24-25 (20)
Музыкально- драматических театров (оперетта)	1200	5-7	28-26 (25)
Театры оперы и балета	1500	6-8	30-32 (30)
Концертные:			
камерные	400	6-8	20-22
симфонические	2000	8-10	42-46
Залы для хорового пения и органной музыки	2000	10-12	42-46
Кинозалы		4-5	45 (в летних 60)
Многоцелевого назначения	500-1000	4-6	30-34 (32)
Залы современной эстрадной музыки	2500	4-6	48-50

Общий воздушный объем зала многоцелевого назначения средней вместимости (до 1000 мест) рекомендуется принимать, исходя из объема $4-6 \text{ м}^3$ на одного слушателя.

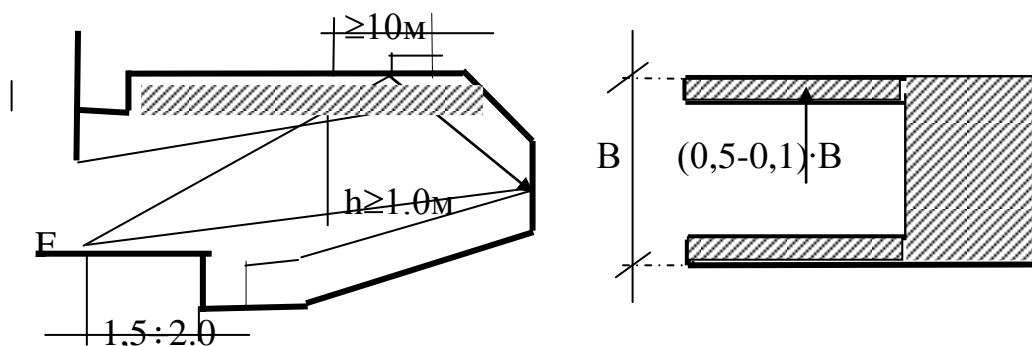


Рисунок 1- Размещение звукопоглощающих материалов

Если $V_{уд} > V_{рек}$, то можно использовать звукопоглощающие материалы, которые рекомендуется наносить в первую очередь на заднюю (торцевую) стенку, верхнюю часть боковых стен и на периметральную часть потолка. Для исправления возможных акустических дефектов и достижения требуемого

времени реверберации используются звукопоглощающие материалы, размещенные на поверхностях, от которых не попадают к зрителям первые отражения. На рисунке 1 показаны участки внутренних поверхностей зала, где целесообразно размещение звукопоглотителей (заштрихованная область).

Примечание: при наличии у зала сценической коробки общий объем его назначается без учета объема сцены.

Результаты выбора отделочных материалов внутреннего пространства помещения заносятся в таблицу 3а.

**Результаты выбора отделочных материалов внутреннего пространства помещения
(боковых и торцевой стены)**

Таблица 3а

Наименование поверхности	Материал	S, Площадь м ²	Кэф-т звукопогл. α и ЭПЗ α·S, м ² на частотах, Гц											
			125		250		500		1000		2000		4000	
			α	α·S	α	α·S	α	α·S	α	α·S	α	α·S	α	α·S
Стены														
Боковые: нижняя часть														
Боковые: верхняя часть														
Задняя (торцевая)														
Сумма ЭПЗ - ΣАстен	-	-	-		-		-							

Формула Эйринга позволяет получить время реверберации, которое будет соответствовать реальному только в том случае, если звуковое поле в помещении можно считать достаточно диффузным. Наиболее частой причиной отсутствия диффузности является сплошная звукопоглощающая отделка потолка или двух противоположных стен. При такой отделке звуковые волны распространяющиеся между потолком и полом (или между противоположными стенами), затухают заметно быстрее, чем между двумя противоположными поверхностями и реальное время реверберации оказывается меньше расчетного по формуле Эйринга. Если же потолок поглощающий, а стены сильно отражающие и слабо расчленены, то расчетное время реверберации окажется меньше истинного.

Чтобы процесс затухания звука в вертикальной плоскости (пол – потолок) и в горизонтальной плоскости (противоположные стены) не слишком отличались друг от друга необходимо, чтобы средний коэффициент звукопоглощения - $\bar{\alpha}$ (КЗП) этих поверхностей не очень сильно отличались друг от друга, т.е.

$$\frac{A_{пот} + A_{пол}}{S_{пот} + S_{пол}} = \frac{A_{стен}}{S_{стен}}; \quad (4)$$

Подсчитанное по формуле Эйринга время реверберации даже при выполнении рекомендаций по удельному объему, но при произвольном выборе средств звукопоглощения, не гарантирует того, что реверберационный процесс обеспечивает наилучшие условия восприятия звуковых сигналов.

5. Сумма ЭПЗ, м² слушателей и кресел $\sum A_{крес.слуш.}$ - рассчитывается по формуле:

$$\sum A_{крес.слуш.} = (0,7 \cdot N \cdot A_{слуш.в.кр.} + 0,3 \cdot N \cdot A_{кр.без.слуш.}) \quad (5)$$

где $0,7 \cdot N \cdot A_{сл.в.кр.}$ - 70 % кресел зала заполнены слушателями,

N – вместимость зрительного зала;

$0,3 \cdot N \cdot A_{кр.без.слуш.}$ - 30 % кресел в зале пусты, т.к. в расчете времени реверберации зала, как правило, принимается заполнение слушателями 70% общего количества мест, ЭПЗ остальных мест принимается как для пустых кресел. В залах, для которых наиболее вероятно заполнение слушателями менее 70% мест, следует расчетный процент заполнения соответственно уменьшать.

Значения ЭПЗ слушателей и кресел, необходимые для расчета, в таблице 5.

Эквивалентная площадь звукопоглощения для слушательских кресел (m^2)

Таблица 5

Зрители и кресла	Эквивалентная площадь поглощения, $A_{крес. слуш.}$ (m^2)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Зритель на кресле мягком и полумягком	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45	0,4
На жестком кресле	0,2	0,25	0,3	0,35	0,35	0,35
Кресло мягкое	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3
Кресло полумягкое	0,08	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Кресло обитое искусственной кожей	0,08	0,1	0,12	0,1	0,1	0,08
Кресло жесткое с фанерной спинкой и сиденьем	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05

По результатам сделанного выбора необходимо заполнить таблицу 6 и вычислить сумму ЭПЗ $\sum A_{крес.слуш.}$, m^2 слушателей и кресел по формуле (5):

Результаты выбора кресел в зрительном зале

Таблица 6

Зрители и кресла	Кол-во, n	ЭПЗ зрителя (кресла) A и ЭПЗ всех зрителей (незанятых кресел) $A \cdot n$ на частотах, Гц											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		A	$A \cdot n$	A	$A \cdot n$	A	$A \cdot n$	A	$A \cdot n$	A	$A \cdot n$	A	$A \cdot n$
Зрители в креслах (70% заполнения)													
Свободные кресла (указать вид отделки)													
Сумма ЭПЗ $\sum A_{крес.слуш.}$													

Исходя из полученного значения ЭПЗ по всем трем таблицам, определяем $A_{общ.}$. Допускается отклонение полученного значения $A_{общ.}$ от требуемого - $A_{общ.}^{тр}$ в пределах $\pm 20 - 30 m^2$.

После нахождения $A_{общ.}$ подсчитывается $\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения внутренней поверхности зала на данной частоте:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}} \quad (6)$$

$A_{\text{общ}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения (ЭПЗ), м²;

$\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения (КЗП);

$S_{\text{общ}}$ - площадь всех внутренних поверхностей помещения (стены, потолок, пол, сцена и т.д.), м²;

По таблице находим соответствующие значения $\varphi(\alpha_{\text{ср}})$ и определяем фактическое (расчетное) время реверберации в зале для расчетных частот по формуле Эйринга (1)

Полученные значения $T_{\text{расч}}$ сопоставляем с оптимальными значениями $T_{\text{опт}}$.

$$\eta = \frac{|T_{\text{расч}} - T_{\text{опт}}|}{T_{\text{опт}}} \cdot 100\%$$

Отклонения между расчетным и оптимальным временем реверберации не должны превышать $\pm 10\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 51.13330.2011 «Защита от шума и акустика залов» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
2. Архитектурная физика : Учебник для вузов : Спец. «Архитектура» / В. К. Лицкевич, Л. И. Макриненко, И. В. Мигалина и др.; Под редакцией Н. В. Оболенского. — Москва, 2007.
3. Боголепов И.И. Архитектурная акустика.- СПб.: Судостроение, 2001.
4. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика.- М.: Техносфера, 2005.
5. Калихман, А. Д. Архитектурная физика: проектирование тепловой, световой и звуковой среды / Иркутск : Изд-во Иркут. гос. техн. ун-та, 2013.
6. Кнудсен В.О.Архитектурная акустика/ изд-во ЛКИ, 2010
7. Зковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика.- М.: Высшая школа, 1986.
8. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. НИИСФ Госстроя СССР. М., 1981.