

**МОСКОВСКИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ)**

КАФЕДРА "АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА"

**ДИСЦИПЛИНА
"АРХИТЕКТУРНАЯ
ФИЗИКА"**

**Раздел
"АРХИТЕКТУРНАЯ
АКУСТИКА"**

**УЧЕБНО-
МЕТОДИЧЕСКИЕ
УКАЗАНИЯ**

**ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА
АКУСТИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ЗАЛОВ
РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

ЧЕБАНОВ А.Д.

МОСКВА • МАРХИ • 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт
(государственная академия)»

А.Д. Чебанов

Приближенная оценка акустического качества залов различного функционального назначения

Учебно-методические указания

Москва
МАРХИ
2012

УДК 534.2
ББК 38.113
Ч 34

Чебанов А.Д.

Приближенная оценка акустического качества залов различного функционального назначения: учебно-методические указания / А.Д. Чебанов.—М.: МАРХИ, 2012. — 24 с.

Учебно-методические указания по разделу «Архитектурная акустика» дисциплины «Архитектурная физика» составлены на основе требований действующих СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». Они предназначены для выполнения курсовых расчетно-графических работ (РГР) (5-й курс по ФГОС-2 и 4-й курс по ФГОС-3) или раздела дипломного проекта специалиста, бакалавра или магистра. Индивидуальные задания с исходными расчетными параметрами на РГР выдаются или согласовываются (по данным студента) преподавателем, а в составе дипломного проекта предопределяются принятыми объемно-планировочными решениями. Выполнение РГР или раздела дипломного проекта сопровождается консультациями преподавателей кафедры «Архитектурная физика».

Учебно-методические указания являются актуализированным дополнением к главе «Архитектурная акустика» в учебнике «Архитектурная физика» при подготовке к зачету (ФГОС-2) и экзамену (ФГОС-3), а также вариативным дополнением к учебно-методическим указаниям к курсовой расчетно-графической работе: Климухин А.А., Киселева Е.Г. «Проектирование акустики зрительных залов». М. МАРХИ 2011г.

© МАРХИ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. Приближенный расчет времени реверберации.....	4
1.1. Оценка времени запаздывания.....	4
1.2. Оценка времени реверберации.....	5
1.3. Формирование плана и разреза зала.....	8
1.4. Оценка радиуса «гулкости» и диффузности звукового поля.....	10
1.5. Оценка уровня интенсивности звука.....	10
1.6. Определение коэффициента разборчивости.....	11
2. Пример. Приближенная оценка акустического качества зрительного зала драматического театра на 800 мест.....	13
2.1. Определение времени запаздывания.....	15
2.2. Расчет профиля пола.....	16
2.3. Расчет времени реверберации.....	16
2.4. Определение степени диффузности звукового поля.....	17
2.5. Уровень интенсивности звуковой энергии в зале.....	17
2.6. Определение коэффициента слоговой разборчивости речи.....	18
2.7. Выбор материалов ограждающих конструкций.....	18
3. Литература.....	21

1. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ

В практике акустического проектирования залов различного функционального назначения часто необходимо дать быструю приближенную оценку основных параметров качества. К ним относятся:

1) значения времен запаздывания первых полезных звуковых отражений в 3-4 контрольных точках;

2) величины времен реверберации для низких (125 Гц), средних (500-1000 Гц) и высоких (2000-4000 Гц) частот;

3) значения радиуса «гулкости» и степени диффузности звукового поля, определяющие границу прямого и диффузного звукового поля и пространственное расположение источника звука;

4) величину уровня интенсивности звукового сигнала в пределах радиуса оптимального восприятия звука;

5) значение коэффициента слоговой разборчивости речи для различных звуковых программ.

Полученные в результате быстрого приближенного расчета значения параметров акустического качества должны быть сравнены с нормативными величинами с учетом допустимой в акустических расчетах 10%-ной погрешности.

1.1. ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Для приближенной оценки времени запаздывания звука в разрезе зала в 3÷4 контрольных точках целесообразно использовать следующее соотношение:

$$\Delta t_i = k_i \frac{\bar{\ell}}{c}, \quad \text{сек,}$$

(1)

где k_i - коэффициент формы для i -ой контрольной точки ($i = 1, 2, 3, 4$); $\bar{\ell}$ и c - средняя длина свободного пробега и скорость звука соответственно, при

этом $\bar{\ell} = \frac{4V}{S_{\text{отр}}}$, где V - объем зала в м^3 ; $S_{\text{отр}} = 7 \cdot V^{2/3}$ - площадь

ограждающих поверхностей речевых залов, м^2 .

В качестве коэффициентов формы, исходя из практики построения формы зала в плане и разрезе, можно выбрать следующие значения:

$k_1 = 0,8$; $k_2 = 0,9$; $k_3 = 0,7$ и $k_4 = 0,6$ (4-ая контрольная точка находится посередине балкона).

В случае необходимости, значения времени запаздывания можно проконтролировать путем использования общепринятого метода расчета:

$$\Delta t_i = \frac{\ell_1^i + \ell_2^i - r_0^i}{c}, \quad \text{сек,}$$

(2)

где ℓ_1^i , ℓ_2^i - длины падающих и отраженных от ограждающих поверхностей звуковых лучей, а r_0^i - длина пути прямого звука до i -ой контрольной точки.

При оценке времени запаздывания для плана зала, коэффициенты формы зала имеют следующие значения: $k_1=0,9$; $k_2=1,0$; $k_3=0,8$ и $k_4=0,7$.

1.2. ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ

Для быстрой приближенной оценки времени реверберации для низких, средних и высоких частот рекомендуется использовать следующие соотношения (при среднем речевом зале на 800 чел. и среднем музыкальном зале на 8000 чел.):

а) Средние частоты (500 Гц÷1000 Гц): $T_{\text{речь}} = 0,065V^{1/3}$, сек,
(3)

б) Средние частоты (500 Гц÷1000 Гц): $T_{\text{музыка}} = 0,07V^{1/3}$, сек,
(4)

где $T_{\text{речь}}$, $T_{\text{музыка}}$ - времена реверберации для речевого и музыкального сигнала, а V_p - расчетный объем сформированного по принципу «золотого сечения» зала – Н:В:Л = 3:5:8 для музыкальных залов или по «формантному» принципу – Н:В:Л = 2:3:5 для речевых залов.

Поскольку коэффициент в формуле для приближенного времени реверберации зависит от объема и формы зала, целесообразно в целях практических расчетов представить сводную таблицу в виде:

Таблица 1.

I. Приближенное время реверберации для речевых залов			
а) малые залы			
1.	$100\text{м}^3 \leq V \leq 300\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,12V^{1/3}$, сек	(5)
2.	$300\text{м}^3 \leq V \leq 600\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,10V^{1/3}$, сек	(6)
3.	$600\text{м}^3 \leq V \leq 1000\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,09V^{1/3}$, сек	(7)
б) средние залы			
1.	$1000\text{м}^3 \leq V \leq 1500\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,08V^{1/3}$, сек	(8)

2.	$1500\text{м}^3 \leq V \leq 2000\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,075V^{1/3}$, сек	(9)
3.	$2000\text{м}^3 \leq V \leq 2500\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,075V^{1/3}$, сек	(10)
4.	$2500\text{м}^3 \leq V \leq 3000\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,07V^{1/3}$, сек	(11)
в) большие залы			
1.	$3000\text{м}^3 \leq V \leq 3500\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,065V^{1/3}$, сек	(12)
2.	$3500\text{м}^3 \leq V \leq 4000\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,065V^{1/3}$, сек	(13)
3.	$4000\text{м}^3 \leq V \leq 4500\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,065V^{1/3}$, сек	(14)
4.	$4500\text{м}^3 \leq V \leq 5000\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,063V^{1/3}$, сек	(15)
5.	$5000\text{м}^3 \leq V \leq 5500\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,06V^{1/3}$, сек	(16)
6.	$5500\text{м}^3 \leq V \leq 6000\text{м}^3$	$T_{\text{речь}} = 0,06V^{1/3}$, сек	(17)
II. Приближенное время реверберации для музыкальных залов			
а) малые (камерные) залы			
1.	$6000\text{м}^3 \leq V \leq 6500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,08V^{1/3}$, сек	(18)
2.	$6500\text{м}^3 \leq V \leq 7000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,078V^{1/3}$, сек	(19)
3.	$7000\text{м}^3 \leq V \leq 7500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,077V^{1/3}$, сек	(20)
4.	$7500\text{м}^3 \leq V \leq 8000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,076V^{1/3}$, сек	(21)
б) средние залы			
1.	$8000\text{м}^3 \leq V \leq 8500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,075V^{1/3}$, сек	(22)
2.	$8500\text{м}^3 \leq V \leq 9000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,074V^{1/3}$, сек	(23)
3.	$9000\text{м}^3 \leq V \leq 9500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,073V^{1/3}$, сек	(24)
4.	$9500\text{м}^3 \leq V \leq 10000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,072V^{1/3}$, сек	(25)
в) большие залы (1)			
1.	$10000\text{м}^3 \leq V \leq 10500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,072V^{1/3}$, сек	(26)
2.	$10500\text{м}^3 \leq V \leq 11000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,071V^{1/3}$, сек	(27)
3.	$11000\text{м}^3 \leq V \leq 11500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,07V^{1/3}$, сек	(28)
4.	$11500\text{м}^3 \leq V \leq 12000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,07V^{1/3}$, сек	(29)
г) большие залы (2)			
5.	$12000\text{м}^3 \leq V \leq 12500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,069V^{1/3}$, сек	(30)
6.	$12500\text{м}^3 \leq V \leq 13000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,068V^{1/3}$, сек	(31)

7.	$13000\text{м}^3 \leq V \leq 13500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,068V^{1/3}, \text{сек}$	(32)
8.	$13500\text{м}^3 \leq V \leq 14000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,067V^{1/3}, \text{сек}$	(33)
9.	$14000\text{м}^3 \leq V \leq 14500\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,067V^{1/3}, \text{сек}$	(34)
10.	$14500\text{м}^3 \leq V \leq 15000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,066V^{1/3}, \text{сек}$	(35)
д) очень большие залы (1)			
1.	$15000\text{м}^3 \leq V \leq 16000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,065V^{1/3}, \text{сек}$	(36)
2.	$16000\text{м}^3 \leq V \leq 17000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,064V^{1/3}, \text{сек}$	(37)
3.	$17000\text{м}^3 \leq V \leq 18000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,063V^{1/3}, \text{сек}$	(38)
4.	$18000\text{м}^3 \leq V \leq 19000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,063V^{1/3}, \text{сек}$	(39)
5.	$19000\text{м}^3 \leq V \leq 20000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,063V^{1/3}, \text{сек}$	(40)
е) очень большие залы (2)			
1.	$20000\text{м}^3 \leq V \leq 25000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,062V^{1/3}, \text{сек}$	(41)
2.	$25000\text{м}^3 \leq V \leq 30000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,061V^{1/3}, \text{сек}$	(42)
3.	$30000\text{м}^3 \leq V \leq 35000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,06V^{1/3}, \text{сек}$	(43)
4.	$35000\text{м}^3 \leq V \leq 40000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,06V^{1/3}, \text{сек}$	(44)
5.	$40000\text{м}^3 \leq V \leq 45000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,059V^{1/3}, \text{сек}$	(45)
6.	$45000\text{м}^3 \leq V \leq 50000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,058V^{1/3}, \text{сек}$	(46)
ж) свержзалы			
1.	$50000\text{м}^3 \leq V \leq 60000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,056V^{1/3}, \text{сек}$	(47)
2.	$60000\text{м}^3 \leq V \leq 70000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,056V^{1/3}, \text{сек}$	(48)
3.	$70000\text{м}^3 \leq V \leq 80000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,055V^{1/3}, \text{сек}$	(49)
4.	$80000\text{м}^3 \leq V \leq 90000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,054V^{1/3}, \text{сек}$	(50)
5.	$90000\text{м}^3 \leq V \leq 100000\text{м}^3$	$T_{\text{музыка}} = 0,053V^{1/3}, \text{сек}$	(51)

Все вышеприведенные времена реверберации соответствуют средним частотам – $500 \div 1000$ Гц.

Для приближенного определения времени реверберации на низких и высоких частотах следует воспользоваться таблицей 2.

При необходимости получить значения времени реверберации для низких и высоких частот, можно воспользоваться известной таблицей

величин соотношений между оптимальным временем реверберации для низких и высоких частот:

Таблица 2.

Частоты (Гц)	125	250	500	1000	2000	4000
Величина соотношения	$1,2 \div 1,4$	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9

Например, если для конференц-зала для частоты $f = 500$ Гц оптимальное время реверберации составляет $T_c = 1,2$ сек, то при низкой частоте $f_n = 125$ Гц это значение должно быть увеличено до $T_n = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44$ сек, а при высокой частоте $f_v = 2000 - 4000$ Гц – оно должно быть уменьшено до $T_v = 0,9 \cdot 1,2 = 1,1$ сек.

Тогда формулы для времени реверберации на низких, средних и высоких частотах с учетом (3) и (4), будут выглядеть следующим образом:

$$T_{\text{н речь}} = (1,2 \div 1,4) \cdot 0,065V^{1/3}, \text{ сек}; \quad (52)$$

$$T_{\text{с речь}} = 0,065V^{1/3}, \text{ сек}; \quad (53)$$

$$T_{\text{в речь}} = 0,9 \cdot 0,065V^{1/3}, \text{ сек}; \quad (54)$$

$$T_{\text{н музыка}} = (1,2 \div 1,4) \cdot 0,075V^{1/3}, \text{ сек}; \quad (55)$$

$$T_{\text{с музыка}} = 0,075V^{1/3}, \text{ сек}; \quad (56)$$

$$T_{\text{в музыка}} = 0,9 \cdot 0,075V^{1/3}, \text{ сек}; \quad (57)$$

Нормативное время реверберации T_n – определяется по известному графику или по соответствующим ему формулам:

$$T_n = k \ell g V_p, \quad (58)$$

где $k = 0,29$ – лекционные, драматические и кинозалы; $k = 0,39$ – залы камерных и музыкальных театров; $k = 0,45$ – симфонические залы; $k = 0,34$ – многоцелевые залы; V_p – расчетный объем помещения, м^3 .

Относительная погрешность вычисления времени реверберации –

$$\Delta T_{\text{речь}} = \left| \frac{T_{\text{речь}} - T_n}{T_n} \right| \cdot 100\% \quad \text{и} \quad (59)$$

$$\Delta T_{\text{музыка}} = \left| \frac{T_{\text{музыка}} - T_{\text{н}}^{\text{музыка}}}{T_{\text{н}}^{\text{музыка}}} \right| \cdot 100\%$$

(60)

не должны превышать 10%.

1.3. ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНА И РАЗРЕЗА ЗАЛА

При построении формы зала в плане и разрезе первое приближение может быть представлено в виде трехзвенной конструкции потолка (передний и задний акустические козырьки и скрепляющая их часть). В плане необходимо использовать также трехзвенную часть (прямая трапеция + прямая трапеция с общим углом раскрытия боковых стен не более $10 \div 12^\circ$ + обратная трапеция, позволяющая направить первые полезные отражения в задние ряды партера). Все построения при формировании плана и разреза в первом приближении можно осуществлять с использованием главного принципа геометрической акустики – угол падения и угол отражения звуковой волны, а также перпендикуляр, проведенный в точку падения, лежат в одной плоскости, при этом угол падения равен углу отражения.

В случае профессионального подхода при формировании плана и разреза зала необходимо использовать известный метод мнимых звуковых источников или его развитие (метод Петцольда).

При построении профиля пола, угол уклона зрительских мест в партере в простейших случаях может быть принят равным 10° для речевых залов и 12° для музыкальных залов.

Расстояние между рядами зрителей в партере и на балконе следует принимать следующим: $\mathcal{E}_p = 0,9$ – обычный вариант, $\mathcal{E}_p = 1,0$ – комфортный вариант.

При распространении прямого звука вдоль поглощающей поверхности (например, над публикой, сидящей на горизонтальном полу) он теряет часть своей энергии. Эти потери вызываются явлением «скользящего» поглощения звука. Наибольший спад звуковой энергии (около 0,5 дБ/м) наблюдается в области средних частот (600 Гц – 2000 Гц), который приводит, в частности, к изменению тембральной окраски звука, ухудшающей качество звучания.

С целью ослабить это явление пол должен быть наклонным с последовательным превышением слушательских мест по принципу: при хорошей видимости должно наблюдаться и качественное восприятие прямого звука.

Например, высоту подъема последнего ряда по отношению к нулевому уровню для речевого зала с 20 рядами зрительских мест можно приближенно найти по следующей формуле:

$$H_{20}^{\text{речь}} = (N - 1) \cdot \ell_{\text{к}}^{\text{речь}} \operatorname{tg} 10^{\circ} = 19 \cdot 0,9 \cdot 0,176 = 3 \text{ м}, \quad (61)$$

где N – число рядов, $\ell_{\text{к}}^{\text{речь}}$ – расстояние между рядами (спинками кресел), 10° – рекомендуемый уклон пола в градусах для речевых залов.

Следовательно, превышение ряда над рядом для речевого зала с 20 рядами зрительских мест равно:

$$d_{\text{речь (партер)}} = \frac{H_{20}^{\text{речь}}}{N - 1} = \frac{3}{19} = 0,15 \text{ м}; \quad (62)$$

$$\text{(для балкона - } d_{\text{речь (балкон)}} = 1,5 \cdot d_{\text{речь (партер)}} = 0,22 \text{ м.)} \quad (63)$$

Высоту подъема последнего ряда по отношению к нулевому уровню для музыкального зала с 30 рядами зрительских мест можно найти по аналогичной формуле:

$$H_{30}^{\text{музыка}} = (N - 1) \cdot \ell_{\text{к}}^{\text{музыка}} \operatorname{tg} 12^{\circ} = 29 \cdot 1 \cdot 0,21 = 6 \text{ м}, \quad (64)$$

где N – число рядов, $\ell_{\text{к}}^{\text{музыка}}$ – расстояние между рядами (спинками кресел), 12° – рекомендуемый уклон пола в градусах для музыкальных залов.

Тогда превышение ряда над рядом для музыкального зала с 30 рядами зрительских мест равно:

$$d_{\text{музыка (партер)}} = \frac{H_{30}^{\text{музыка}}}{N - 1} = \frac{6}{29} = 0,2 \text{ м}; \quad (65)$$

$$\text{(для балкона - } d_{\text{музыка (балкон)}} = 1,5 \cdot d_{\text{музыка (партер)}} = 0,3 \text{ м.)} \quad (66)$$

1.4. ОЦЕНКА РАДИУСА «ГУЛКОСТИ» И ДИФФУЗНОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

С целью быстрого получения величины общего звукопоглощения в зале (при условии, что для отделки ограждающих поверхностей

используются традиционные материалы) можно использовать следующие соотношения:

$$A_{\text{речь}} = 2,5 \cdot V^{2/3}, \quad \text{м}^2 \quad \text{и} \quad (67)$$

$$A_{\text{музыка}} = 2,0 \cdot V^{2/3}, \quad \text{м}^2 \quad (68)$$

С использованием известного выражения для радиуса «гулкости» зала - $r_n = \sqrt{\frac{A}{50}}$, получим простые соотношения для радиусов «гулкости» речевых и музыкальных залов:

$$r_n^{\text{речь}} = 0,22 \cdot V_{\text{речь}}^{1/3}, \quad \text{м}. \quad (69)$$

$$r_n^{\text{музыка}} = 0,2 \cdot V_{\text{музыка}}^{1/3}, \quad \text{м}. \quad (70)$$

Зная радиус гулкости, можно определить акустическое отношение диффузной и прямой составляющей звуковой энергии:

$$R = \left(\frac{r_k}{r_n} \right)^2, \quad (71)$$

где r_n - радиус «гулкости» зала, м; $r_{\text{комфорт}}$ - радиус комфортного (оптимального) восприятия звука (7÷8 м – речь и 8÷10 м – музыка):

$$r_{\text{комфорт}} = 0,5 \cdot V_p^{1/3}, \quad \text{м}. \quad (72)$$

Критериями хорошего акустического качества залов могут служить следующие диапазоны изменения акустического отношения R:

$$\text{а) речевые залы} - 1 \leq R \leq 5 \quad (73)$$

$$\text{б) музыкальные залы} - 2 \leq R \leq 10 \quad (74)$$

Чем больше значение акустического отношения R, тем более ясное и мягкое звучание в зале, которое связано с увеличением диффузности звукового поля, приводящей также к усилению восприятия пространственного расположения источника звука.

1.5. ОЦЕНКА УРОВНЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКА

Для приближенного определения величины уровня интенсивности звукового сигнала в пределах радиуса комфортного восприятия звука может быть использована формула:

$$L_I = L_W + 10 \lg \left[17,5 \frac{T}{V_p} + \frac{1}{\pi V_p^{2/3}} \right], \quad \text{дБ}, \quad (75)$$

где L_W - начальный уровень звуковой мощности источника, дБ на расстоянии одного метра; T - время реверберации в зале, сек; V_p - расчетный объем зала, м³.

Учитывая, что время реверберации для речи и для музыки равны соответственно – $T_{\text{речь}} = 0,065 \cdot V_p^{1/3}$ и $T_{\text{музыка}} = 0,075 \cdot V_p^{1/3}$, получим простые выражения для величин уровней интенсивностей звукового давления:

$$L_{I \text{ речь}} = L_{W \text{ речь}} - 6,6 \lg V_{p \text{ речь}} + 1,63 \text{ дБ} \quad (76)$$

$$L_{I \text{ музыка}} = L_{W \text{ музыка}} - 6,6 \lg V_{p \text{ музыка}} + 2,12 \text{ дБ} \quad (77)$$

Полученные значения уровней звукового давления сравниваются с нормативными значениями ($L_{I \text{ речь}}^H = 50 \text{ дБ}$ и $L_{I \text{ музыка}}^H = 60 \text{ дБ}$) и, если относительная погрешность расчетов не превосходит 10%, то можно предположить о хорошей слышимости и слоговой разборчивости на зрительских местах.

1.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗБОРЧИВОСТИ

Коэффициент слоговой разборчивости при отсутствии посторонних шумов зависит от:

- а) уровня интенсивности суммарного (прямого и диффузного) звука;
- б) времени реверберации зала (т.е. от объема зала, формы зала и среднего реверберационного коэффициента звукопоглощения ограждающих поверхностей).

Согласно Кнудсену, коэффициент слоговой разборчивости можно представить в виде:

$$K_p = 0,96 K_L \cdot K_T, \quad (78)$$

где K_L и K_T - коэффициенты уровня интенсивности звука и реверберации в зале.

В свою очередь, их можно приближенно представить в виде:

$$K_L = \frac{L_H}{L_P},$$

(79)

где L_H - нормативный уровень интенсивности речевого и музыкального сигнала в зале, причем:

$$L_{H \text{ речь}} = 50 \text{ дБ} \quad \text{и} \quad L_{H \text{ музыка}} = 60 \text{ дБ},$$

(80)

а L_P - расчетный уровень интенсивности звука, который можно определить по формулам:

$$L_{I \text{ речь}} = L_{W \text{ речь}} - 6,6 \lg V_{P \text{ речь}} + 1,63 \text{ дБ} \quad \text{и}$$

(81)

$$L_{I \text{ музыка}} = L_{W \text{ музыка}} - 6,6 \lg V_{P \text{ музыка}} + 2,12 \text{ дБ},$$

(82)

где $L_{W \text{ речь, музыка}}$ - исходный уровень звуковой мощности в дБ на расстоянии одного метра от него; $V_{P \text{ речь, музыка}}$ - расчетный объем

помещения, при этом $L_{W \text{ речь}} \approx 73 \text{ дБ}$ – для средней громкости ораторской (актерской) речи; $L_{W \text{ музыки}} \approx 85 \text{ дБ}$ для среднего уровня громкости симфонического, камерного и вокального исполнения.

Коэффициент K_T можно приближенно определить по формуле:

$$K_T = \frac{T_H}{T_P},$$

(83)

где T_H - нормативное значение времени реверберации - $T_H = k \lg V_P$,

где k - коэффициент, зависящий от функционального назначения зала:

$k = 0,29$ – лекционные, драматические и кинозалы; $k = 0,39$ – залы камерных и музыкальных театров; $k = 0,45$ – симфонические залы; $k = 0,34$ – многоцелевые залы; V_P - расчетный объем зала.

Расчетное время реверберации для зала с объемом V_P определяется по таблице 1:

$$T_{\text{речь}} = \alpha \cdot V_P^{1/3} \quad \text{и} \quad T_{\text{музыка}} = \beta \cdot V_P^{1/3},$$

(84)

где коэффициенты α и β выбираются по той же таблице в зависимости от расчетного объема зала.

Следовательно, коэффициент слоговой разборчивости речи при отсутствии внешних шумов, можно представить в виде:

$$K_{p \text{ речь}} = 0,96 \frac{L_{H \text{ речь}}}{L_{I \text{ речь}}} \cdot \frac{T_{H \text{ речь}}}{T_{\text{речь}}} = 0,96 \frac{50}{73 - 6,6 \lg V_{p \text{ речь}} + 1,63} \cdot \frac{k_{\text{речь}} \cdot \ell g V_{p \text{ речь}}}{\alpha \cdot V_{p \text{ речь}}^{1/3}} \quad (85)$$

Аналогично, коэффициент разборчивости музыкальных фрагментов при отсутствии внешних шумов, можно представить в виде:

$$K_{p \text{ музыка}} = 0,96 \frac{L_{H \text{ музыка}}}{L_{I \text{ музыка}}} \cdot \frac{T_{H \text{ музыка}}}{T_{\text{музыка}}} = 0,96 \frac{60}{85 - 6,6 \lg V_{p \text{ музыка}} + 2,12} \cdot \frac{k_{\text{музыка}}}{\beta \cdot V_{\text{музыка}}}$$

Критерии оценки слоговой разборчивости речевого и фрагментарной разборчивости музыкального сигнала следующие:

неудовлетворительная разборчивость – $K_p < 0,6$;

удовлетворительная разборчивость – $0,6 \leq K_p < 0,7$;

хорошая разборчивость – $0,7 \leq K_p < 0,8$;

отличная разборчивость – $0,8 \leq K_p < 0,9$.

2. ПРИМЕР. ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА ДРАМАТИЧЕСКОГО ТЕАТРА НА 800 МЕСТ

Принимаем удельную площадь пола зала, приходящуюся на 1 зрителя равной $S_1=0,6 \text{ м}^2$ (сюда включены все площади коммуникаций (проходов) в зале).

Тогда исходный объем зала можно записать в виде: $V = 0,6 \cdot \bar{\ell} \cdot N$,

где $\bar{\ell} = \frac{4V}{S_{\text{огр}}}$ - средняя длина свободного пробега звуковых лучей в зале, м;

(86)

$S_{\text{огр}} = 7V^{2/3}$ - площадь ограждающих поверхностей для речевых залов.

Из (86) получим потребный (исходный) объем зала драматического театра на 800 зрителей:

$$V = 0,2 \cdot N^{3/2} = 0,2 \cdot 800^{3/2} = 4525 \text{ м}^3.$$

(87)

Высота зала Н примерно равна средней длине свободного пробега $\bar{\ell}$:

$$H \approx \bar{\ell} = \frac{4V}{S_{\text{отр}}} = 0,57 \cdot V^{1/3} = 0,57 \cdot 4525^{1/3} = 9,42 \text{ м.}$$

Ширину зала приближенно определим по формуле:

$$B \approx V^{1/3} = 16,54 \text{ м, а длину — из соотношения:}$$

(88)

$$B^2 = H \cdot L:$$

(89)

$$L = \frac{B^2}{H} = \frac{29}{9,42} = 3,08 \text{ м.}$$

(90)

Осуществим проверку для вычисленных значений Н, В и L:

$H \cdot B \cdot L = 9,42 \cdot 16,54 \cdot 29 = 4524,87 \text{ м}^3$, что хорошо совпадает с исходным объемом.

Корректируем длину зала с учетом того, что 2м занимает авансцена, 2м – проход перед авансценой, 1,5м – проход в центре зала и 1,5м – проход у задней стены. Принимаем шаг рядов (от спинки кресла к спинке) равным 0,9м, тогда количество рядов составит:

$$N_{\text{рядов}} = \frac{L - \ell_{\text{авансцена}} - \ell_{\text{пр/авансц}} - \ell_{\text{центр}} - \ell_{\text{з.с.}}}{0,9} = \frac{29 - 2 - 2 - 1,5 - 1,5}{0,9} = 24$$

ряда (91)

Тогда скорректированная с учетом поперечных проходов длина зала будет равна:

$$L = 24 \cdot 0,9 + 2 + 2 + 1,5 + 1,5 = 28,6 \text{ м.}$$

(92)

Аналогично корректируем ширину зала при наличии двух боковых проходов шириной 2м каждый и, приняв ширину одного кресла равной 0,5м, получим среднее количество мест в одном ряду:

$$N_{\text{1 ряда}} = \frac{B - 2\ell_{\text{бок.пр}}}{0,5} = \frac{16,54 - 2 \cdot 2}{0,5} = 25 \text{ мест.}$$

(93)

Скорректированная ширина зала с учетом боковых проходов равняется:

$$B = 25 \cdot 0,5 + 2 \cdot 2 = 16,5 \text{ м.}$$

(94)

В результате новый расчетный объем зала драмтеатра будет равен:

$$V_p = 9,42 \cdot 16,5 \cdot 28,6 = 4445 \text{ м}^3, \quad (95)$$

а удельный объем на одного зрителя – $V_1 = \frac{4445}{800} = 5,5 \text{ м}^3.$
(96)

Следовательно, в партере зала находится 24 ряда кресел по 25 мест в каждом и число зрителей в партере составит:

$$N_{\text{зрит. партера}}^{\text{среднее}} = 24 \cdot 25 = 600 \text{ чел.},$$

что соответствует норме для залов средней вместимости, а остальные 200 человек необходимо разместить на балконе.

Формируем план зала, принимая угол раскрытия боковых стен равным 10° . Тогда расширение зала с каждой стороны (при условии, что угловое раскрытие боковых стен проходит через их середину) составит:

$$\Delta B = \frac{L}{2} \operatorname{tg} 10^\circ = \frac{28,6}{2} \cdot 0,176 = 2,48 \text{ м.} \quad (97)$$

В этом случае длина задней стены составит:

$$B_{\text{задн. ст.}} = B + 2 \cdot \Delta B = 21,54 \text{ м,} \quad (98)$$

ширина зала у авансены –

$$B_{\text{з. аван.}} = B - 2 \cdot \Delta B = 11,54 \text{ м.}$$

(99)

Задав на балконе 6 рядов зрительских мест, получим вынос балкона в зрительный зал:

$$a = 6 \cdot 0,9 = 5,4 \text{ м,} \quad (100)$$

где 0,9 м – расстояние между спинками кресел.

Тогда ширина балкона в передней части составит:

$$B_{\text{балк. п.ч.}} = L_{\text{задн. ст.}} - 2a \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 21,54 - 1,9 = 19,64 \text{ м.} \quad (101)$$

Среднюю ширину балкона можно получить как:

$$B_{\text{ср. балк.}} = \frac{B_{\text{балк. п.ч.}} + B_{\text{задн. ст.}}}{2} = \frac{21,54 + 19,64}{2} = 20,59 \text{ м.} \quad (102)$$

Принимаем на балконе два боковых прохода по 1,5 м каждый; тогда среднее количество мест в одном ряду будет равно:

$$N_{\text{ср. балк.}} = \frac{20,59 - 2 \cdot 1,5}{0,5} = 35 \text{ мест.}$$

Следовательно, на балконе может расположиться примерно следующее количество зрителей:

$$N_{\text{зрит. балк.}}^{\text{среднее}} = 6 \quad \text{рядов} \cdot 35 \quad \text{мест} = 210 \quad \text{чел.}, \quad (103)$$

что создает запас зрительских мест, равный 10 зрителям.

2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Среднюю длину свободного пробега можно найти по формуле:

$$\bar{\ell} = \frac{4V_p}{S_{\text{общ}}} = \frac{4V_p}{7V_p^{2/3}} = 0,57V_p^{1/3} = 0,57(4445)^{1/3} = 9,37 \text{ м.} \quad (104)$$

Используя формулу (1), определяем приближенные значения времени запаздывания в разрезе зала для 4-х контрольных точек – в начале партера, посередине, в последних рядах и на балконе:

$$\text{а) начало партера: } \Delta t_1 = k_1 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,8 \frac{9,37}{340} = 0,022 \text{ сек ;} \quad (105)$$

$$\text{б) середина партера: } \Delta t_2 = k_2 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,9 \frac{9,37}{340} = 0,025 \text{ сек ;} \quad (106)$$

$$\text{в) конец партера: } \Delta t_3 = k_3 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,7 \frac{9,37}{340} = 0,019 \text{ сек ;} \quad (107)$$

$$\text{г) середина балкона: } \Delta t_4 = k_4 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,6 \frac{9,37}{340} = 0,016 \text{ сек} \quad (108)$$

Несколько заниженное значение времени запаздывания первых полезных звуковых отражений для балкона можно частично объяснить удаленностью 4-ой контрольной точки от источника звука.

Остальные времена запаздывания с удовлетворительной точностью совпадают с допустимыми нормативными значениями, соответствующими диапазону:

$$0,02 \text{ сек} \leq t_{\text{з. п.з.}}^H \leq 0,025 \text{ сек.} \quad (109)$$

Для плана зала времена запаздывания с учетом соответствующих коэффициентов формы будут следующими:

$$\text{а) начало партера: } \Delta t_1 = k_1 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,9 \frac{9,37}{340} = 0,025 \text{ сек ;}$$

(110)

$$\text{б) середина партера: } \Delta t_2 = k_2 \frac{\bar{\ell}}{c} = 1,0 \frac{9,37}{340} = 0,027 \text{ сек ;}$$

(111)

$$\text{в) конец партера: } \Delta t_3 = k_3 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,8 \frac{9,37}{340} = 0,022 \text{ сек ;}$$

(112)

$$\text{г) середина балкона: } \Delta t_4 = k_4 \frac{\bar{\ell}}{c} = 0,7 \frac{9,37}{340} = 0,019 \text{ сек ,}$$

(113)

которые также с удовлетворительной точностью совпадают с нормативными значениями: $0,02 \text{ сек} \leq t_{\text{з реч.}}^{\text{н}} \leq 0,025 \text{ сек.}$

2.2. РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ПОЛА

Конструктивную высоту подъема последнего ряда по отношению к нулевому уровню для рассматриваемого зала драмтеатра с 24 рядами кресел приближенно находим по формуле:

$$H_{24}^{\text{речь}} = (N - 1) \ell_k^{\text{речь}} \cdot \text{tg} 10^\circ = 23 \cdot 0,9 \cdot 0,176 = 3,6 \text{ м ,}$$

(114)

а конструктивное превышение ряда над рядом равно:

$$d_{24 \text{ партер}}^{\text{речь}} = \frac{H_{24}^{\text{речь}}}{N - 1} = \frac{3,6}{23} = 0,15 \text{ м.}$$

(115)

Высота подъема последнего ряда по отношению к нулевому уровню для балкона на 210 зрителей (6 рядов) равна:

$$H_{6 \text{ балкон}}^{\text{речь}} = (N - 1) \ell_k^{\text{речь}} \cdot \text{tg} 12^\circ = 5 \cdot 0,9 \cdot 0,2 = 0,9 \text{ м, а}$$

конструктивное превышение ряда над рядом равно:

$$d_{6 \text{ балкон}}^{\text{речь}} = \frac{H_{6 \text{ балкон}}^{\text{речь}}}{N - 1} = \frac{0,9}{5} = 0,18 \text{ м.}$$

(116)

2.3. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ

Времена реверберации рассматриваемого зала драматического театра на 800 зрителей находим по формулам:

$$1) T_{Нч \text{ речь}} = 1,3 \cdot 0,065 V_p^{1/3} = 1,3 \cdot 0,065 \cdot (4445)^{1/3} = 1,34 \text{ сек};$$

(117)

$$2) T_{Сч \text{ речь}} = 0,065 V_p^{1/3} = 1,068 \text{ сек};$$

(118)

$$3) T_{Вч \text{ речь}} = 0,9 \cdot 0,065 V_p^{1/3} = 0,96 \text{ сек.}$$

(119)

Нормативное время реверберации рассматриваемого зала для средних частот есть:

$$T_{Н \text{ речь}} = 0,29 \lg(4445) = 1,058 \text{ сек.}$$

(120)

Относительная погрешность на средних частотах равна:

$$\Delta T_{Сч \text{ речь}} = \left| \frac{T_{Сч \text{ речь}} - T_{Н \text{ речь}}}{T_{Н \text{ речь}}} \right| \cdot 100 \% = 0,94 \%$$

(121)

Используя формулу (67), найдем реверберационный коэффициент звукопоглощения в зале драмтеатра на 800 зрителей:

$$\bar{\alpha}_{(800)} = \frac{2,5 V_p^{2/3}}{S_{\text{общ}}} = 0,357.$$

(122)

Тогда средний коэффициент звукопоглощения в зале равен:

$$\bar{\alpha}_{800} = 1 - e^{-0,357} = 0,31.$$

(123)

Классическое время реверберации по формуле Эйринга есть:

$$T_{Сч \text{ речь}} = \frac{0,163 V_p}{\bar{\alpha}_{(800)} \cdot S_{\text{общ}}^{\text{речь}}} = \frac{0,163 \cdot (4445)^{1/3}}{0,357 \cdot 7 \cdot (4445)^{2/3}} = 1,07 \text{ сек},$$

(124)

где $S_{\text{общ}}^{\text{речь}} = 7 \cdot V_p^{2/3}$, m^2 – общая поверхность ограждающих поверхностей зала; $V_p^{\text{речь}}$ – расчетный объем речевого помещения, m^3 .

Относительная погрешность полученного по классической формуле времени реверберации равна:

$$\Delta T_{Сч \text{ речь}} = \left| \frac{T_{Сч \text{ речь}} - T_{Н \text{ речь}}}{T_{Н \text{ речь}}} \right| \cdot 100 \% = \left| \frac{1,07 - 1,058}{1,058} \right| = 1,1 \%$$

(125)

что хорошо согласуется с погрешностью расчета полученной по формуле (121).

2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИФфуЗНОСТИ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ

Степень диффузности звукового поля в зале драматического театра на 800 чел. найдем по формуле (71), предварительно определив радиус «гулкости» зала по формуле (69):

$$r_{\text{н}}^{\text{речь}} = 0,22 \cdot V_{\text{речь}}^{1/3} = 0,22 \cdot (4445)^{1/3} = 3,6 \text{ м.} \quad (126)$$

Радиус комфортного (оптимального) восприятия звука находится в пределах действия прямого звука для речевых залов (7÷8м):

$$r_{\text{комфорт}}^{\text{речь}} = 0,5 \cdot V_{\text{речь}}^{1/3} = 0,5 \cdot (4445)^{1/3} \approx 8 \text{ м.} \quad (127)$$

Тогда акустическое отношение диффузной и прямой составляющих звуковой энергии есть:

$$R_{\text{речь}} = \left(\frac{r_{\text{комфорт}}^{\text{речь}}}{r_{\text{н}}^{\text{речь}}} \right)^2 = \frac{64}{12,96} = 4,9 \text{ м,} \quad (128)$$

что хорошо согласуется с оптимальными требованиями для речевых залов:

$$1 \leq R_{\text{речь}} \leq 5$$

Относительная погрешность определения акустического отношения составляет:

$$\Delta R_{\text{речь}} = \left| \frac{4,9 - 5}{5} \right| 100 \% = 2\%, \text{ что позволяет надеяться на хорошую}$$

пространственную ориентацию на источник звука с комфортных мест партера, а также на более ясное и мягкое звучание, связанное с увеличением диффузности звукового поля.

2.5. УРОВЕНЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАЛЕ

Уровень интенсивности речевого сигнала в зале драмтеатра на 800 чел. с расчетным объемом $V_{\text{р}} = 4445 \text{ м}^3$ определяем по формуле (81):

$$L_{\text{Iречь}} = L_{\text{Wречь}} - 6,6 \lg V_{\text{рречь}} + 1,63 \text{ дБ} = 73 \text{ дБ} - 6,6 \lg 4445 + 1,63 \text{ дБ} = 73 - 24 + 1,63 = 50,63 \text{ дБ.} \quad (129)$$

Нормативное значение уровня интенсивности речевого сигнала равно

$$L_{\text{Iречь}}^{\text{н}} = 50 \text{ дБ, при этом относительная погрешность равна:}$$

$$\Delta L_{I_{\text{речь}}} = \left| \frac{L_{I_{\text{речь}}} - L_{I_{\text{речь}}}^H}{L_{I_{\text{речь}}}^H} \right| 100\% = \left| \frac{50,65 - 50}{50} \right| 100\% = 1,26\%$$

(130)

Следовательно, можно предположить о достаточном уровне интенсивности речевого сигнала в зале драматического театра.

2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЛОГОВОЙ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Коэффициент слоговой разборчивости речи в зале драматического театра на 800 мест без учета влияния внешних шумов, можно определить по формулам (78) и (85):

$$K_{p \text{ речь}} = 0,96 \frac{L_{n \text{ речь}}}{L_{I \text{ речь}}} \cdot \frac{T_{n \text{ речь}}}{T_{\text{речь}}} = 0,96 \frac{L_{n \text{ речь}}}{(L_{w \text{ речь}} - 6,6 \lg V_{p \text{ речь}} + 1,63)} \cdot \frac{T_{n \text{ речь}}}{0,065 V_{p \text{ речь}}^{1/3}}$$

(131)

$$= 0,96 \frac{50}{(73 - 6,6 \lg 4445 + 1,63)} \cdot \frac{1,058}{0,065(4445)^{1/3}} = 0,96 \frac{50}{50,63} \cdot \frac{1,058}{1,068} = 0,94;$$

$$K_{p \text{ речь}} = 94\%$$

Следовательно, можно считать, что слоговая разборчивость в зале драматического театра отличная, если не учитывать влияние внешних шумов. С учетом дополнительного коэффициента «сигнал-шум», учитывающего влияние внутренних и внешних источников шума, выражение (78) для слоговой разборчивости речи можно уточнить:

$$K_{p \text{ речь}} = 0,96 \frac{L_{n \text{ речь}}}{L_{I \text{ речь}}} \cdot \frac{T_{n \text{ речь}}}{T_{\text{речь}}} \cdot \frac{L_{n \text{ шум}}}{L_{I \text{ речь}}},$$

(132)

где $L_{n \text{ шум}} = 35\text{дБ}$ – среднее нормативное значение уровня шума в зале от внутренних (зрительских) и внешних источников.

$$\text{Тогда: } K_{p \text{ речь}} = 0,96 \frac{50}{50,63} \cdot \frac{1,058}{1,068} \cdot \frac{35}{50,63} = 0,94 \cdot 0,8 = 0,7;$$

$$K_{p \text{ речь}} = 70\% \quad (133)$$

т.е. можно предположить о хорошей слоговой разборчивости речи в зале драматического театра на 800 зрителей.

2.7. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В предлагаемом методе предварительной приближенной оценки акустического качества зала драмтеатра на 800 зрителей предполагается

использование традиционных (нашедших широкое применение в практике) материалов. Первая группа традиционных отделочных материалов может быть представлена в виде (включая проем сцены, зрителей и пустые кресла):

I группа:

Потолок (включая балкон) – штукатурка, клеевая краска:
 $\alpha_{500} = 0,02$;

Стены – штукатурка, клеевая краска: $\alpha_{500} = 0,02$;

Пол – ковер на войлочной подкладке по бетону: $\alpha_{500} = 0,37$;

Проем сцены: $\alpha_{500} = 0,3$;

Добавочное звукопоглощение: $\alpha_{500} = 0,04$;

Зрители в мягких креслах: $\alpha_{500} = 0,4$;

Кресла (пустые) мягкие: $\alpha_{500} = 0,2$.

II группа:

Потолок (включая балкон) – штукатурка, масляная краска:
 $\alpha_{500} = 0,02$;

Стены – штукатурка по металлической сетке с воздушным зазором:
 $\alpha_{500} = 0,05$;

Пол – ковер шерстяной толщиной 9мм по бетону: $\alpha_{500} = 0,21$;

Проем сцены: $\alpha_{500} = 0,3$;

Добавочное звукопоглощение: $\alpha_{500} = 0,04$;

Зрители в полумягких креслах: $\alpha_{500} = 0,4$;

Кресла (пустые) полумягкие: $\alpha_{500} = 0,15$.

III группа:

Потолок (включая балкон) – штукатурка, клеевая краска:
 $\alpha_{500} = 0,02$;

Стены – панель деревянная толщиной 5-10мм с воздушным зазором 50-100мм: $\alpha_{500} = 0,06$;

Пол – ковер шерстяной толщиной 9мм по бетону: $\alpha_{500} = 0,21$;

Проем сцены: $\alpha_{500} = 0,3$;

Добавочное звукопоглощение: $\alpha_{500} = 0,04$;

Зрители в полумягких креслах: $\alpha_{500} = 0,4$;

Кресла (пустые) полумягкие: $\alpha_{500} = 0,15$.

IV группа:

Потолок (включая балкон) – бетон окрашенный: $\alpha_{500} = 0,01$;

Стены – кирпич оштукатуренный: $\alpha_{500} = 0,02$;

Пол – паркет по асфальту: $\alpha_{500} = 0,07$;

Проем сцены: $\alpha_{500} = 0,3$;

Добавочное звукопоглощение: $\alpha_{500} = 0,04$;

Зрители в мягких креслах: $\alpha_{500} = 0,4$;

Кресла (пустые) мягкие: $\alpha_{500} = 0,2$.

V группа:

Потолок (включая балкон) – бетон: $\alpha_{500} = 0,02$;

Стены – кирпич оштукатуренный с масляной краской: $\alpha_{500} = 0,02$;

Пол – дощатый на деревянных лагах: $\alpha_{500} = 0,1$;

Проем сцены: $\alpha_{500} = 0,3$;

Добавочное звукопоглощение: $\alpha_{500} = 0,04$;

Зрители в полумягких креслах: $\alpha_{500} = 0,4$;

Кресла (пустые) полумягкие: $\alpha_{500} = 0,15$.

VI группа:

Потолок (включая балкон) – бетон + панели из листов сухой гипсовой штукатурки (СГШ) толщиной 10мм ($\gamma = 1100 \text{ кг/м}^3$): $\alpha_{500} = 0,06$;

Стены – верхняя половина – панели из древесностружечных плит (ДСП) толщиной 20 мм ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$) с воздушным зазором $d = 150 \text{ мм}$:
 $\alpha_{500} = 0,02$;

– нижняя половина – штукатурка, масляная краска:

$\alpha_{500} = 0,02$;

Пол – ковер шерстяной толщиной 9мм на латексной основе толщиной 4мм: $\alpha_{500} = 0,15$;

Проем сцены: $\alpha_{500} = 0,3$;

Добавочное звукопоглощение: $\alpha_{500} = 0,04$;

Зрители в полумягких креслах: $\alpha_{500} = 0,4$;

Кресла (пустые) полумягкие: $\alpha_{500} = 0,15$.

3. ЛИТЕРАТУРА

1. «Архитектурная физика»: Учеб. для вузов, под. ред. Н.В. Оболенского. – М., Стройиздат, 1997. – 448с., илл.
2. Ковригин С.Д., Крышов С.П. «Архитектурно-строительная акустика». М., «Высшая школа», 1986.
3. Макриненко Л.И. «Акустика помещений общественных зданий». М., Стройиздат, 1986.
4. СНиП 23-03, 2003. Раздел «Архитектурная акустика залов».
5. Климухин А.А., Киселева Е.Г. «Проектирование акустики зрительных залов». Учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе. М., МАРХИ, 2012.

Учебное издание

Чебанов Анатолий Дмитриевич, ст. преп.

**Приближенная оценка акустического качества
залов различного функционального назначения**

Учебно-методические указания

Под редакцией д.арх., проф. Николая Ивановича Щепеткова
и к.т.н., проф. Андрея Александровича Климухина

Издание подготовлено на кафедре
«Архитектурной физики»
(протокол заседания кафедры №1 от 04.09.12)

Подписано в печать 11.09.12
Формат 60х90/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт
(государственная академия)»
107031, Москва, ул. Рождественка, д.11,
e-mail: office@markhi.ru, URL: <http://www.marhi.ru>
Тел.: (495) 625-50-82, (495) 624-79-90,
(495) 625-18-61 – каф.