

АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА

2.1 РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ХРАМА

Церковь Богоявления Господня в г. Воронеже представляет собой симметричный в плане одноглавый храм с пристроенными к храмовой части приделами, трапезной и трехъярусной колокольной. **Акустически активными помещениями являются: храмовая часть, боковые приделы, трапезная.** (При наличии пристроенного алтаря, отделенного высоким иконостасом, общий объем храма назначается без учета объема алтаря.)

Одним из основных критериев акустического качества помещений является время реверберации, которое определяет степень гулкости храмовых помещений, качество звучания речи, пространственность, стереофоничность, полноту звучания музыки и хорового пения.

Время реверберации зависит от общего объема помещения, отделки внутренних поверхностей и степени заполнения храма прихожанами. Расчетное время реверберации в диапазоне частот 125-4000 Гц сопоставляется с оптимальным. Время реверберации было рассчитано для двух вариантов возможного заполнения храма (6 м²/чел., 0,25 м²/чел.), в зависимости от плотности расстановки прихожан – 11 человек и 264 человека в храмовой части и 19 человек и 425 человек в трапезной.

Для храмов вместимостью до 1000 человек достаточно произвести расчет времени реверберации на трех частотах: 125, 500 и 2000 Гц.

В храмах с делением на средний и боковые нефы или трапезную часть, особенно при высоком центральном куполе, статистический метод расчета времени реверберации неприменим.

Расчет процесса реверберации следует начинать с определения среднего КЗП каждого i-го объема в диапазоне частот 125-4000 Гц ($\bar{\alpha}_i$), на основании которого рассчитывается его фонд звукопоглощения: $A_i = \bar{\alpha}_i S_{\text{общ}}$ ($S_{\text{общ}}$ – общая площадь ограждений каждого объема).

КЗП в каждом диапазоне частот определяется по следующим формулам

$$\text{для частот 125, 500 Гц} \quad - \quad \varphi(\bar{\alpha}) = \frac{0,163V}{T_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ОБЩ}}};$$

$$\text{для частоты 2000 Гц} \quad - \quad \varphi(\bar{\alpha}) = \frac{(0,163 - T_{\text{тр}} \cdot n)V}{T_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ОБЩ}}}, \text{ где } n = 0,009 \text{ м}^{-1}$$

По графику 1 определяем для данного объема храмовой части требуемое значение времени реверберации на частотах 500, 2000 Гц.

$$T_{\text{тр}} = 1,3 \text{ с}$$

По графику 1 определяем для объема трапезной требуемое значение времени реверберации на частотах 500, 2000 Гц.

$$T_{mp} = 1c$$

На низких частотах (125–250 Гц) допускается увеличение времени реверберации на 25–30%, ограничиваем его для храмовой части $T_{mp}^{125} = 1.5c$ и для трапезной $T_{mp}^{125} = 1.2c$

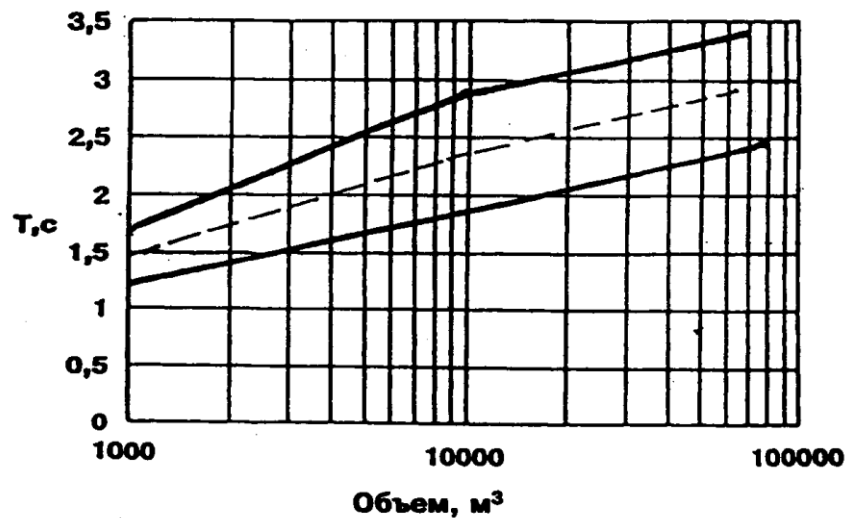


График 1 - Рекомендуемое время реверберации на средних частотах для храмовых помещений в зависимости от их объема

--- линия оптимумов
----- зона допусков

т.о. получим

	для храмовой части	для трапезной
$S_{общ}$	408 м ²	586 м ²
V	905 м ³	680 м ³

с	для храмовой части				для трапезной			
	T_{mp}	$\varphi(\bar{\alpha})$	$\bar{\alpha}$	$A_{общ}^{тр}, м^2$	T_{mp}	$\varphi(\bar{\alpha})$	$\bar{\alpha}$	$A_{общ}^{тр}, м^2$
на частоте 125Гц	1,5с	0,25	0,22	89,7	1,2с	0,16	0,15	87,9
на частоте 500Гц	1,3с	0,29	0,25	102	1с	0,16	0,15	87,9
на частоте 2000Гц	1,3с	0,26	0,23	93,8	1с	0,18	0,165	96,7

Далее рассчитываются площади воздушных проемов между соседними объемами и их коэффициенты акустической связи, равные:

$$K_{i,i+1} = \frac{S_{i,i+1}^2}{(\alpha_i S'_{i,i+1})},$$

где $S_{i,i+1}$ - площадь проема между соседними объемами V_i и V_{i+1} ;

$$S'_{i,общ} = S_{i,общ} - S_{i,i+1};$$

$$S'_{i+1,общ} = S_{i+1,общ} - S_{i,i+1}$$

коэффициенты акустической связи K :

	для храмовой части	для трапезной
на частоте 125Гц	0,94	0,96
на частоте 500Гц	0,83	0,96
на частоте 2000Гц	0,9	0,8

При коэффициенте акустической связи $K \geq 1$ расчеты времени реверберации связанных объемов производятся как для единого акустического объема по вышеприведенной методике. При $K < 1$ производится детальный акустический анализ с рассмотрением соотношения площадей проемов к общей площади граничных ограждений, соотношения величин воздушных объемов и их фондов звукопоглощения.

При этом существуют следующие предельные случаи:

1. При соотношении соседних объемов $V \gg V_{i+1}$ их время реверберации рассчитывается по объему с введением в расчет КЗП проема $S_{i,i+1}$, равного 0,1-0,3, в зависимости от величины A_{i+1} .

2. При значениях V_1 и V_{i+1} одного порядка, но при значительной разнице их фондов звукопоглощения (например, $A_{i+1} \gg A_i$), расчет времени реверберации в объеме производится по вышеприведенной стандартной методике с введением КЗП проема $S_{i,i+1}$, равного 0,3 в широком диапазоне частот.

3. Стандартная методика расчета времени реверберации используется также в случае близких значений величин воздушных объемов и фондов звукопоглощения соседних помещений, но при малой величине площади проемов между ними по отношению к общей площади граничных ограждений. В этом случае расчет времени реверберации для каждого объема производится изолированно с введением в расчет КЗП проема $S_{i,i+1}$, равного 0,2-0,3, в зависимости от величины их фондов звукопоглощения.

Акустическое проектирование должно быть ориентировано на оптимизацию времени реверберации, определяющего гулкость звучания храмовых помещений, методика которого разработана институтом НИИСФ.

В нашем случае время реверберации рассчитывается отдельно для храмовой части и трапезной.

Время реверберации T , с, рекомендуется рассчитывать по формуле Эйринга:

$$T = \frac{0,163V}{S_{\text{общ}}\varphi(\bar{\alpha}) + nV},$$

где V - общий воздушный объем помещения, м³;

$S_{\text{общ}}$ - общая площадь внутренних ограждений, м²;

$\varphi(\bar{\alpha}) = \ln(1 - \bar{\alpha})$, $\bar{\alpha}$ - средний коэффициент звукопоглощения (КЗП) помещения, определяемый в диапазоне 125-4000 Гц,

n - коэффициент, учитывающий поглощение звука в воздухе помещения (обычно вводится в расчет только для частот 2000 и 4000 Гц). КЗП в каждом диапазоне частот определяется по формуле:

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}},$$

$$\text{где } A_{\text{общ}} = \sum_i \alpha_i S_i + \sum_k A_k + \alpha_{\text{доб}} S_{\text{общ}},$$

здесь $\sum_i \alpha_i S_i$ - сумма произведений площадей отдельных поверхностей

S_i , м² на их КЗП - α_i ;

$\sum_k A_k$ - сумма эквивалентных площадей звукопоглощения (ЭПЗ), м²,

создаваемых священнослужителями и прихожанами;

$\alpha_{\text{доб}}$ - коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий звукопоглощение деталями мебелировки интерьеров, не охватываемыми данными табличных расчетов (берется по результатам статистики натурных измерений);

$S_{\text{общ}}$ - общий фонд звукопоглощения храма.

	для храмовой части	для трапезной
$S_{\text{общ}}$	408 м ²	586 м ²
V	905 м ³	680 м ³

При расчёте приняты следующие материалы внутренней отделки храмовая часть -

1. пол храма, включая солею – бетон (130 м²);
2. поверхности стен, сводов – штукатурка по кирпичу (270, м²);
3. переплеты оконные застекленные – (7,6 м²)

4. перегородка под иконостас – деревянная конструкция с поверхностной плотностью $m \geq 10 \text{ кг/м}^2$ (56 м^2).

трапезная –

1. пол – бетон (157,7 м^2);

2. поверхности стен, колонн, сводов – штукатурка по кирпичу (413,45 м^2);

3. переплеты оконные застекленные – (15,2 м^2)

КЗП строительных материалов и конструкций

КЗП	Частота, Гц		
	125	500	2000
штукатурка по кирпичу	0,012	0,017	0,023
бетон	0,010	0,015	0,023
переплеты оконные застекленные	0,300	0,150	0,060
дерево	0,300	0,060	0,040

Т.о. для храмовой части -

	125 Гц	500 Гц	2000 Гц
$\alpha_1 S_1$	1,3	1,95	2,99
$\alpha_2 S_2$	3,33	4,72	6,38
$\alpha_3 S_3$	2,28	1,14	0,46
$\alpha_4 S_4$	16,8	3,36	2,24
$\sum_i \alpha_i S_i$	23,71	11,17	12,07

для трапезной -

	125 Гц	500 Гц	2000 Гц
$\alpha_1 S_1$	1,58	2,37	3,63
$\alpha_2 S_2$	5,14	7,29	9,86
$\alpha_3 S_3$	4,56	2,28	0,92
$\sum_i \alpha_i S_i$	11,28	11,94	14,41

Звукопоглощение стоящими людьми (без верхней одежды), м^2

Плотность расстановки	Частота, Гц		
	125	500	2000
6 м^2 чел	0,15	0,61	1,1
0,25 »	0,07	0,26	0,54

Средние значения добавочного звукопоглощения ($\alpha_{\text{доб}}$) в храмах

Частота, Гц	125	500	2000
$\alpha_{\text{доб}}$	0,078	0,06	0,05

$$\sum_k A_k^{\text{храм}} =$$

Плотность расстановки	Частота, Гц		
	125	500	2000
6 м ² /чел	1,65	6,71	12,1
0,25 м ² /чел	18,5	68,64	142,56

$$\sum_k A_k^{\text{трапезная}} =$$

Плотность расстановки	Частота, Гц		
	125	500	2000
6 м ² /чел	2,85	11,59	20,9
0,25 м ² /чел	31,5	117	243

		для храмовой части				для трапезной			
		A _{общ} , м ²	$\bar{\alpha}$	$\varphi(\bar{\alpha})$	T, с	A _{общ} , м ²	$\bar{\alpha}$	$\varphi(\bar{\alpha})$	T, с
на частоте 125Гц	6 м ² /чел	57,18	0,14	0,15	2,3	59,84	0,10	0,11	1,72
	0,25 м ² /чел	74,03	0,18	0,2	1,8	88,49	0,15	0,16	1,18
на частоте 500Гц	6 м ² /чел	42,36	0,104	0,11	3,29	58,69	0,100	0,11	1,72
	0,25 м ² /чел	104,30	0,256	0,30	1,21	164,10	0,280	0,33	0,57
на частоте 2000Гц	6 м ² /чел	44,57	0,109	0,12	2,58	64,61	0,110	0,12	1,58
	0,25 м ² /чел	174,97	0,429	0,56	0,62	286,71	0,489	0,67	0,28

На графике 1 приведена зависимость оптимумов времени реверберации от объема помещений в диапазоне 500-2000 Гц. Учитывая, что время реверберации зависит от степени заполнения храмов прихожанами, оптимальные значения времени реверберации должны укладываться в границах, верхний предел которых соответствует заполнению 6 м²/чел., а нижний - 0,25 м²/чел. На частотах 125-250 Гц допускается подъем времени реверберации на 25-30 %.

Так для храмовой части рекомендуемые значения времени реверберации должны укладываться в границах 0,8-1,8с, для трапезной - 0,5-1,5с.

Результаты расчетов

Т.к. на частотах 125-250 Гц допускается подъем времени реверберации на 25-30%, при низкой заполненности храма (храмовая часть и трапезная)

(6м²/чел) время реверберации соответствует норме, но при заполнении храма 0,25 м²/чел наблюдается превышение времени реверберации.

На частоте 500Гц наблюдается превышение времени реверберации в храме при обоих рассмотренных вариантах заполнения людьми. Частота 500 Гц особенно важна для восприятия речи. Помещение храма гулкое, речь неразборчива.

На частоте 2000Гц наблюдается превышение времени реверберации в храме при его низкой заполненности и время реверберации меньше допустимого при максимальной заполненности (помещение храма «сухое», высокочастотные звуки чересчур отчётливы, не чувствуется пространственность и глубина звучания пения.).

При избыточных значениях времени реверберации (при недостаточности общего фонда звукопоглощения) следует увеличить звукопоглощающие свойства материалов отделки интерьеров. В диапазоне средних и высоких частот для увеличения звукопоглощения рекомендуется использовать тканевые элементы убранства храма. Их общее количество определяется акустическим расчетом.

После ввода в интерьер храма дополнительных звукопоглотителей (тканевые элементы в размере 120м² в храмовой части и 80м² в трапезной) получаем:

		для храмовой части				для трапезной			
		A _{общ} , м ²	$\bar{\alpha}$	$\varphi(\bar{\alpha})$	T,с	A _{общ} , м ²	$\bar{\alpha}$	$\varphi(\bar{\alpha})$	T,с
на частоте 125Гц	6 м ² /чел	63,18	0,15	0,16	2,26	63,84	0,11	0,12	1,57
	0,25 м ² /чел	80,03	0,2	0,22	1,6	92,49	0,16	0,17	1,11
на частоте 500Гц	6 м ² /чел	96,36	0,24	0,27	1,34	94,69	0,16	0,17	1,11
	0,25 м ² /чел	158,30	0,39	0,49	0,75	200,10	0,34	0,4	0,47
на частоте 2000Гц	6 м ² /чел	122,57	0,3	0,36	1	116,61	0,2	0,22	0,86
	0,25 м ² /чел	252,97	0,62	0,97	0,37	338,71	0,58	0,87	0,22

2.2 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ограждающих конструкций

Зона влажности района: сухая

Условия эксплуатации ограждающих конструкций: А

Расчётные параметры наружного воздуха:

Температура средняя наиболее холодной пятидневки $t_{ext} = -26^{\circ}\text{C}$

Продолжительность отопительного периода $n_{on} = 196 \text{ сут}$

Средняя температура наружного воздуха отопительного периода $t_{ht} = -3,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха $t_{int} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$.