

Акустические рекомендации
Комната для прослушивания музыки
(г. Минск, Даровская 24)

Инженер-акустик

В.Л. Гвоздев

Минск 2010

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОМЕЩЕНИЯ	3
1.1	Размеры комнаты	3
1.2	Пропорции комнаты	3
1.3	Сравнение с наиболее известными стандартами	3
1.4	Выводы по разделу 1	5
2.	АКУСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОМЕЩЕНИЯ	6
2.1	Определение собственных резонансов комнаты	6
2.2	Определение времени реверберации	8
2.3	Сравнение с наиболее известными стандартами	9
2.4	Выводы по разделу 2	11
3	МЕРОПРИЯТИЯ ПО КОРРЕКЦИИ АКУСТИКИ ПОМЕЩЕНИЯ	12
3.1	Корректировка низкочастотной области звука	12
3.2	Корректировка средней и высокочастотной области звука	14
3.3	Коррекция несимметричности комнаты	22
3.4	Защита от шума	24
3.5	Выводы по разделу 3	25
4	РАСПОЛОЖЕНИЕ ГРОМКОГОВОРТЕЛЕЙ В КОМНАТЕ	26
	ЛИТЕРАТУРА	28

1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОМЕЩЕНИЯ

1.1 Размеры комнаты

Комната для прослушивания музыки представляет собой прямоугольной в плане форму с длиной 5м и шириной 3,85 м, высота от пола до потолка 2,65 м. Возле левой стены в центральной части расположена прямоугольная колонна (0,88м х 0,56м). Площадь пола – 19,25 м². При данных размерах воздушный объем составляет 51 м³

1.2 Пропорции комнаты

Размеры комнаты прослушивания определяют ее основные пропорции. Это, прежде всего соотношение W/H и L/H

где

L – длина

H – высота

W – ширина помещения.

$$\frac{L}{H} = \frac{5}{2,65} = 1,87$$

$$\frac{W}{H} = \frac{3,85}{2,65} = 1,45$$

1.3 Сравнение с наиболее известными стандартами

Стандарт EBU / ITU European Broadcasting Union, TR R22, 1998 International Telecommunication Union ITU-R BS.1116-1, 1998

Стандарт IEC TR 60268-13 Sound System Equipment- Part 13 Listening tests on loudspeakers, 1998

Стандарт IEC 60268-13

- Рекомендуемые пропорции помещения:

$$(W/H) \leq (L/H) \leq (4,5(W/H) - 4)$$

где

L – длина

H – высота W – ширина помещения.

$$\frac{3.85}{2.65} = \mathbf{0.15} \leq \mathbf{1.89} = \frac{5}{2.65}$$

$$\frac{5}{2.65} = \mathbf{1.89} \leq \mathbf{2.53} = 4.5 \left(\frac{3.85}{2.65} \right) - 4$$

- дополнительно следует применять условие:

$$L/H < 3 \text{ и } W/H < 3$$

$$\frac{5}{2.65} = \mathbf{1.89} < 3$$

$$\frac{3.85}{2.65} = \mathbf{0.15} < 3$$

- Рекомендованная площадь помещения для стереосистем:
25 – 40 м²
Для рассматриваемого помещения - 19.25 м²
- Рекомендованная площадь помещения для многоканальных систем:
30 – 45 м²
Для рассматриваемого помещения - 19.25 м²

Стандарт EBU / ITU

Рекомендуемые пропорции помещения:

$$(1.1W/H) \leq (L/H) \leq (4.5(W/H) - 4)$$

где

L – длина

H – высота

W – ширина помещения.

$$1.1 \frac{3.85}{2.65} = \mathbf{0.165} \leq \mathbf{1.89} = \frac{5}{2.65}$$

$$\frac{5}{2.65} = \mathbf{1.89} \leq \mathbf{2.53} = 4.5 \left(\frac{3.85}{2.65} \right) - 4$$

- дополнительно следует применять условие:

$$L/H < 3 \text{ и } W/H < 3$$

$$\frac{5}{2.65} = 1.89 < 3$$

$$\frac{3.85}{2.65} = 0.15 < 3$$

1.4 Выводы по разделу 1

В расчете использовалась ширина помещения, равная 3,85 м. Данное ширина принята условно, поскольку в помещении присутствует колонна, которая в средней части уменьшает ширину до 3,29 м. Данное обстоятельство определяет несимметричность комнаты, что не желательно с точки зрения построения правильной формы помещения. Для исключения несимметричности желательно устройство аналогичной колоны у правой стены, однако это приведет к существенному уменьшению ширины помещения и некомфортному нахождению в нем. Возможным вариантом исправления ситуации могло бы быть размещение колонок и точки прослушивания вдоль длинной стороны помещения. Однако это не возможно ввиду малой ширины комнаты и, соответственно, малой глубины полученной звуковой сцены. А также того обстоятельства, что в комнате также будет установлен проектор для просмотра видео материалов, что в свою очередь требует определенного расстояния от экрана для комфортного просмотра.

Исходя из этого, форму комнаты и ее ориентацию существенно изменить не получится, поэтому к проектированию предоставлена комната, внутренние очертания которой мало подходят для построения высококачественной комнаты для прослушивания.

Пропорции помещения соответствуют стандартам IEC 60268-13 и EBU при условии допущения об отсутствии колонны.

По площади помещение не соответствует всем стандартам. Площадь помещения меньше рекомендуемых значений, однако, разница не критична для общего построения.

Высота потолка также меньше нижней границы рекомендуемых значений.

Задачей дальнейшего проектирования будет минимизация негативных акустических дефектов, которые возможны в комнате подобной планировки.

2 АКУСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОМЕЩЕНИЯ

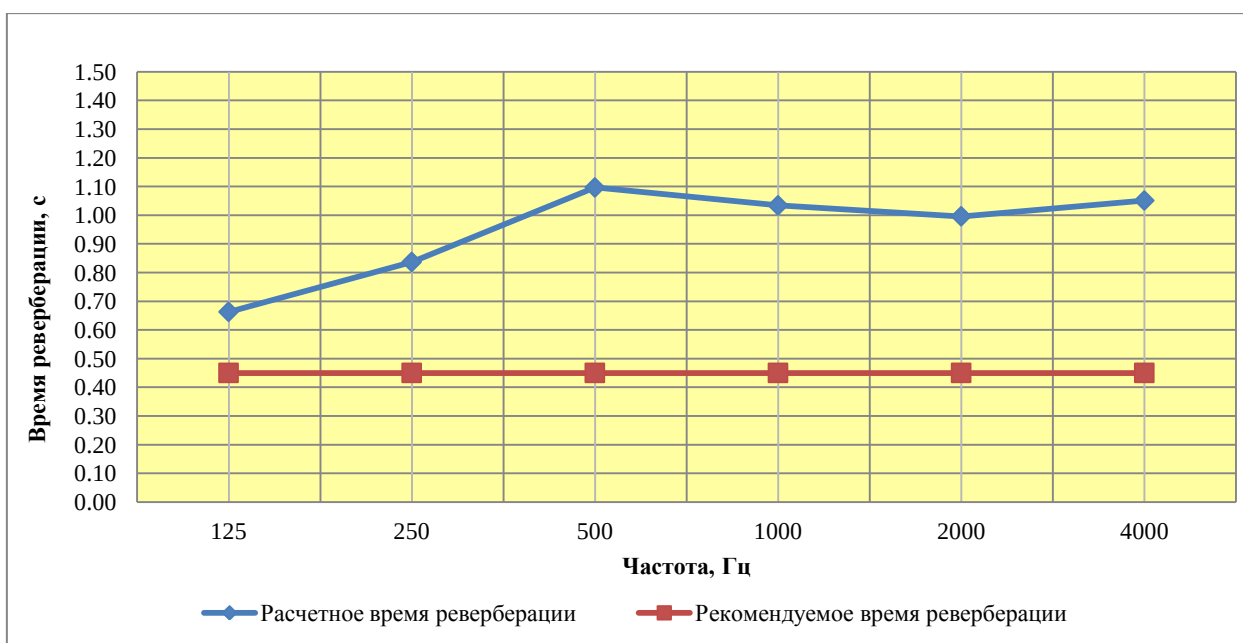
2.1 Определение собственных резонансов комнаты

Подбор строго определенных пропорций помещения осуществляется неспроста. В комнате небольшого размера при существующих ограничивающих поверхностях (пол, стены, потолок) благодаря физике процесса распространения звуковых волн в замкнутом объеме всегда возникают резонансы (моды). В различных помещениях резонансы сильно отличаются друг от друга амплитудой, структурой и плотностью. Негативное влияние обуславливается неровностью частотной характеристики, которая в свою очередь часто приводит к окрашиванию звука. Сделаем анализ исходя из существующих размеров комнаты.

2.2 Определение времени реверберации

Значение времени реверберации является наиболее важным фактором, во многом определяющим ощущение музыки. Время реверберации характеризует интенсивность затухания звука, измеряется в секундах для всего спектра частот. Для каждого помещения оптимальное значение времени реверберации различно. Оно определяется, прежде всего, фактическим назначением помещения, внутренней отделкой, объемом помещения и др. параметрами. При заниженном времени реверберации музыка становится «сухой», слушатели теряют ощущения объема. При завышенном значении возможно возникновение эха, разборчивость слов песни заметно снижается.

Рассчитаем время реверберации при условии отсутствия специальной акустической отделки комнаты прослушивания.



2.3 Сравнение пропорции с наиболее известными стандартами

Сравним с основными европейскими стандартами

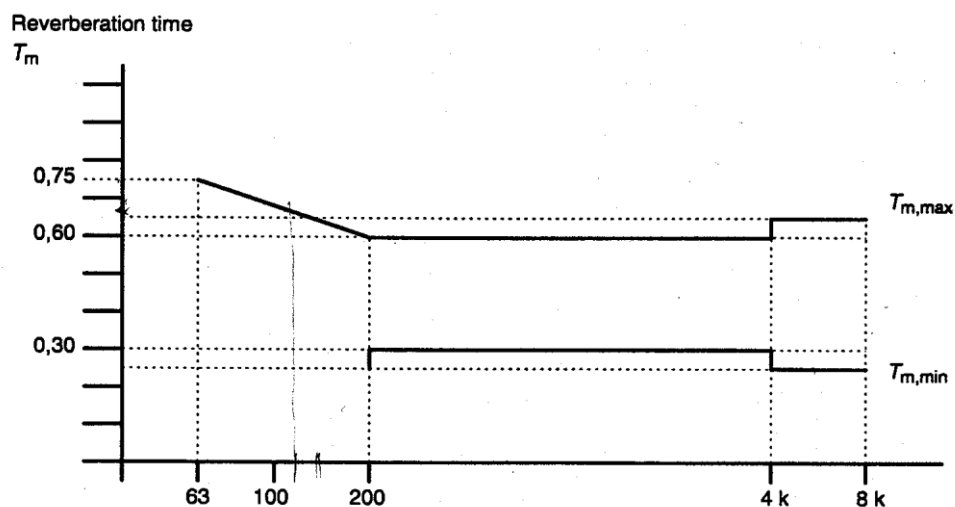
**Стандарт IEC TR 60268-13 Sound System Equipment- Part 13
Listening tests on loudspeakers, 1998**

**Стандарт AES 20-1996
Subjective evaluation of loudspeakers**

Стандарт IEC TR 60268-13 Sound System Equipment- Part 13 Listening tests on loudspeakers, 1998

Время реверберации:

- измеряется при установленной мебели, но без слушателя (ISO 3382)
- среднее значение T_m в диапазоне 200...4000 Hz должно составлять 0,3...0,6 с



Стандарт AES 20-1996
Subjective evaluation of loudspeakers

Время реверберации
(для помещений $V = 50 \dots 120 \text{ м}^3$)

$0,45 \pm 0,15 \text{ с}$ для средних частот

Подъем в области низких частот, спад в области высоких частот.

Должно соблюдаться требование отсутствия резкого уменьшения SPL при $t = 10 \dots 20$ мс

Кроме того существует отечественный стандарт

Отраслевой стандарт ОСТ 4.202.003-84

Время реверберации
в диапазоне 250...4000 Hz:

$T = \mathbf{\underline{0,3 \dots 0,6 \text{ с}}}$

2.4 Выводы по разделу 2

Полученные значения времени реверберации ($0,7 \dots 1,0$ с) является достаточно высокими. Превышение над рекомендуемыми значениями ($0,3 \dots 0,6$ с) почти в 2 раза - недопустимо. Поэтому в проектируемой отделке должны присутствовать звукопоглощающие материалы и специальные акустические конструкции, увеличивающие общий фон звукопоглощения. Увеличение количества звукопоглощающих материалов также должно привести к уменьшению количество мод в помещении. В расчете количества мод видно, что их плотность и количество достаточно велико в низкочастотной области, поэтому должны быть предусмотрены акустические конструкции, обеспечивающие эффективную коррекцию низкочастотной области.

Следует отметить, что акустических материалов в комнатах прослушивания применяется относительно мало. Поскольку превышение может привести к переглушению комнаты со всеми вытекающими последствиями (сухим звуком, малой шириной и глубиной сцены).

Хорошая акустика комнаты прослушивания должна обеспечиваться, прежде всего, максимальным звукорассеиванием. Акустическая отделка должна обеспечивать максимальное количество рассеянного звука и большую диффузность звукового поля.

3 МЕРОПРИЯТИЯ ПО КОРРЕКЦИИ АКУСТИКИ ПОМЕЩЕНИЯ

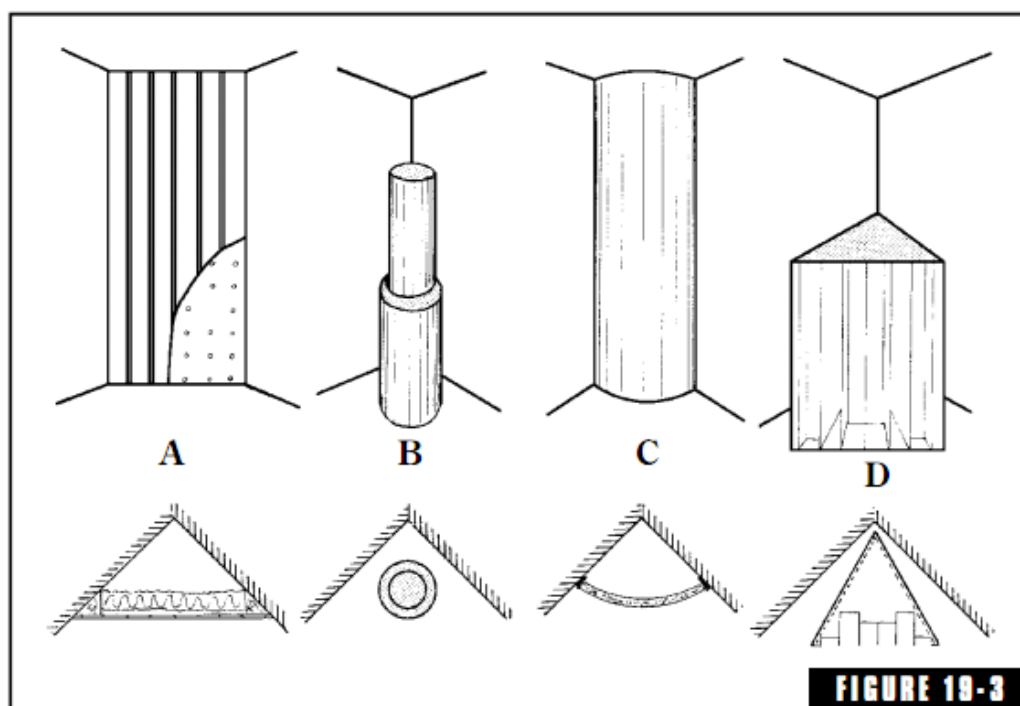
3.1 Корректировка низкочастотной области звука

Наиболее эффективная корректировка, исходя из сложившейся практики, является устройство специальных конструкций в углах помещения.

Внутренняя полость углового элемента необходимо заполнить звукопоглощающими плитами Шуманет-БМ толщиной 50 мм. Плиты уложить вертикальной стопой на всю высоту и ширину углового элемента. Далее необходимо закрепить синтепон толщиной 10 мм при помощи строительного степлера.

Согласно рекомендаций

The Master Handbook of Acoustics, F. Alton Everest, 3rd Edition, TAB Books, Imprint of McGraw-Hill, New York, 1994.



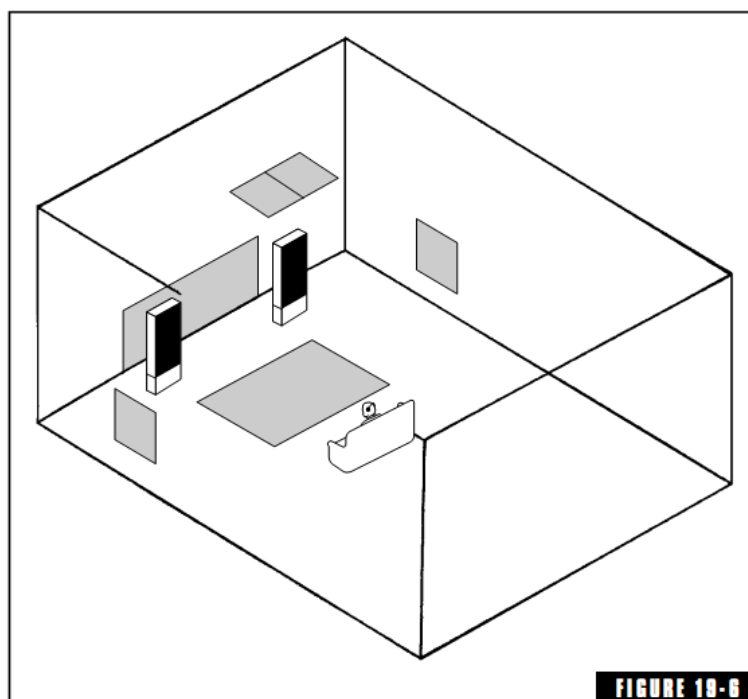
3.2 Корректировка средней и высокочастотной области звука

Корректировка средней и высокочастотной области звука достигается применением материалов и конструкций, обеспечивающих максимальное рассеивания звука. Хорошее рассеивание звука приводит к созданию диффузного поля, с одинаковым звуковым давлением в каждой точке объема. Диффузное поле приводит к субъективному увеличению ширины и глубины звуковой сцены, а также к увеличению зоны прослушивания.

Управление структурой ранних отражений

Управление интенсивностью ранних отражений позволяет улучшить качество звуковой сцены, сделать звучание колонок более ясным и детальным. Наиболее важны ранние отражения от площадок, расположенных на боковых стенах и потолке между зоной прослушивания и АС. Кроме того, большое влияние на качество звука могут оказать отражения от тыловой стены, поскольку зона прослушивания расположена к ней слишком близко.

Расположение площадок первых отражений определим согласно рекомендаций *The Master Handbook of Acoustics, F. Alton Everest, 3rd Edition, TAB Books, Imprint of McGraw-Hill, New York, 1994.*

**FIGURE 19-8**

Исходя из расчета видно, что площадки первых отражений от боковых стен приходится как раз на лицевую поверхность колоны и противоположную часть стены такой же плоскости. Всю нижнюю часть фронтальной стены также можно рассматривать как площадку первых отражений от данной стены. Также зоны первых отражений находятся на полу вблизи от точки прослушивания и потолке.

На участках расположения площадок ранних отражений рекомендуется размещать звукопоглощающие материалы или звукорассеивающие конструкции (акустические диффузоры).

Диффузор Шрёдера состоит из серии ячеек различной глубины, но одинаковой ширины, выполненных в корпусе из дерева, MDF или других листовых материалов.

В проекте приняты диффузоры 11 порядка с диапазоном рассеиваемых частот 650-2300 Гц

Стены, свободные от специальных акустических материалов рекомендуется облицевать крупнофактурным камнем. Это создаст дополнительное рассеивание звука, что приведет к увеличению количества боковых отражений, увеличению зоны прослушивания.

Пол должен быть деревянным (ламинат, паркет). Возле дивана необходимо разместить коврик см. стр. 17.

Поскольку потолок в настоящее время зашит гипсокартонном и подготовлен под финишную отделку, то рекомендуется выполнить на потолке звукорассеивающую конструкцию см. рис. 21. Конструкция представляет собой лист МДФ или ДСП с отверстиями диаметром 40-80 мм. Панели крепятся на потолок на гибких или жестких подвесах с отнесом 150-200 мм. За панелями можно разместить неоновые лампы для декоративной подсветки потолка.

Рассмотрим каждую поверхность в отдельности

Левая боковая стена см. стр. 17;

Правая боковая стена см. стр. 18;

Тыловая стена см. стр. 19;

Фронтальная стена см. стр. 20;

Потолок см. стр. 21.

3.3 Коррекция несимметричности комнаты

Несимметричность комнаты обуславливается наличием колонны, расположенной у левой стеной. Благодаря этой колонне, ось симметрии относительно центральной точки прослушивания, сдвинута влево на 280 мм. Это может привести к сдвигу диаграммы направленности. Для минимизации данного эффекта рекомендуется торцевые поверхности и поверхность над диффузором выполнить поглощающими. Для этого необходимо данные поверхности облицевать звукопоглощающими древесноволокнистыми плитами Heragesign (Австрия). Плиты должны быть смонтированы на отnose min 50мм, а внутренняя полость заполнена минеральной плитой «Шуманет БМ». Панели Heragesign крепятся к каркасу при помощи саморезов по периметру.

Для коррекции сдвига диаграммы направленности рекомендуется тыловую стену выполнить с одинаковым углом раскрытия см. стр. 27. Материал для облицовки стены - МДФ или ламинированная ДСП. Каркас должен быть выполнен из деревянного бруса.

3.4 Защита от шума

Для комфортного прослушивания музыки уровень проникающих шумов должен быть в пределах установленных значений.

Стандарт IEC 60268-13

Уровень фонового шума

Octave band centre frequency Hz	NR 10 SPL relative to 20 p.Pa dB	NR 15 SPL relative to 20 u.Pa dB
31,5	62	65
63	44	47
125	31	35
250	21	26
500	15	20
1 000	10	15
2 000	7	12
4 000	4	9
8 000	2	7
NOTES 1 The NR (noise rating) values in the table originate from the former ISO NR curves, ISO R1996. 2 The background noise measured in octave frequency bands should not exceed the values given in this table.		

Рекомендации AES20-1996 Subjective evaluation of loudspeakers

Среднее значение шума < 35 dB (измеренное по ISO 1996-1) не должно быть доминирующих периодических и тональных шумов

Отраслевой стандарт ОСТ4.202.003-84

Среднее значение шума
 $\leq 35 \text{ dB}$

Поскольку смежные помещения с комнатой прослушивания не предполагают потенциальные источники шума и эти помещения не критичны к проникающему шуму из комнаты прослушивания, то дополнительных мероприятий по звукоизоляции в данных рекомендациях рассмотрены не будут.

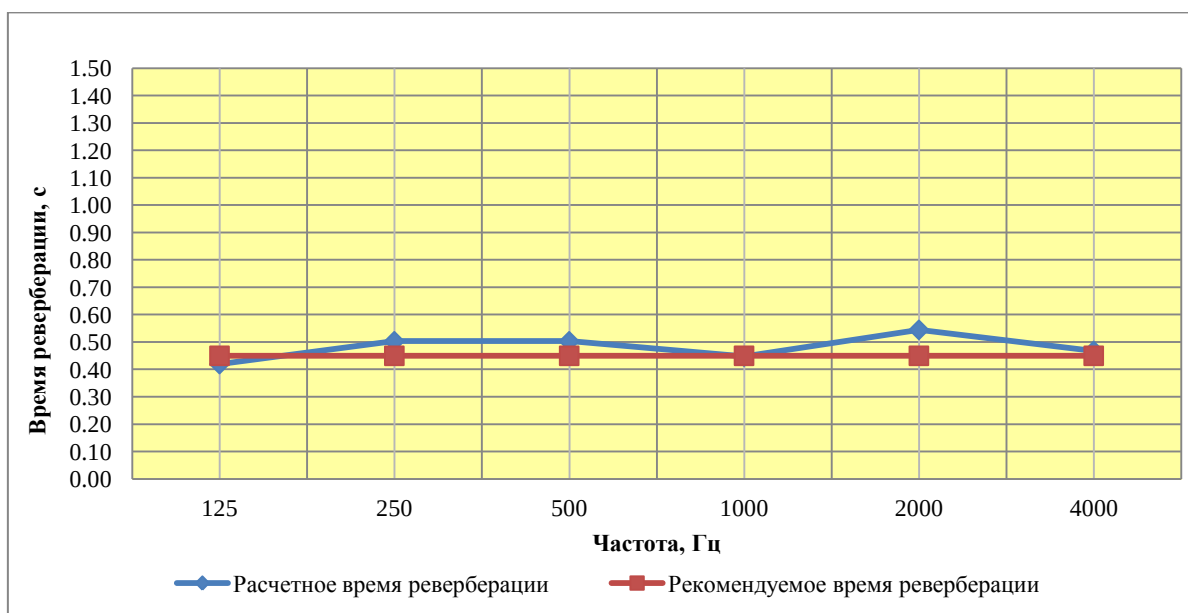
Звукоизоляция существующих ограждающих конструкций достаточна для значительного уменьшения проникающего шума. Отдельно стоит отметить только лишь необходимость наличия входной двери с собственной звукоизоляцией $\geq 35 \text{ dB}$ (например, ВКТ-construction, ALAVUS, Porta).

Выводы по разделу 3

В решении, по выбору материалов и конструкций для акустической отделки, преследовались следующие цели.

- Устранение излишней гулкости;
- Получение диффузного звукового поля;
- Снижения влияния несимметричности помещения.

Для решения данных задач в настоящих рекомендациях были предложены специальные акустические материалы и конструкции, которые вносят существенный вклад в коррекцию акустики. Для анализа достаточности принятых решений проведем сравнение полученного значения времени реверберации с рекомендуемым, описанным в п. 2.3.



Как видно из графика при предлагаемой отделке значение времени реверберации, полученным при предлагаемой отделке, и рекомендуемым значением, достаточно близки. При данной отделке допускается отклонение времени реверберации на $\pm 10\%$.

Однако следует отметить, что проанализировать влияние несимметричности помещения на качество звука, его восприятие слушателем является достаточно трудоемкой задачей требующей построения 3D модели и последующего расчета в специализированной программе. Данные расчеты выполняются в рамках акустического проекта и в настоящих рекомендациях рассмотрены не будут. Предложенные решения по коррекции несимметричности позволят минимизировать нежелательные акустические дефекты.

4 РЕКОМЕНДУЕМОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ В КОМНАТЕ

Форма комнаты достаточно сложная с акустической точки зрения: несимметричность, наличие собственных резонансов могут повлиять на качество звучания. Снижения влияния этих факторов и получения реалистичной звуковой сцены возможно за счет правильного взаимного расположение акустических систем относительно друг друга. Приведенная ниже схема построена по принципу «золотого сечения» является одним из возможных вариантов установки. Данное положение может быть использовано как начальное для последующей корректировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. "Loudspeakers in Small Rooms" by Floyd E. Toole, PhD, 2005
2. Room Acoustics, Heinrich Kuttruff, 3rd Edition, Elsevier Applied Science, London & NewYork, 1991.
3. The Master Handbook of Acoustics, F. Alton Everest, 3rd Edition.
4. Picard, M. and Bradley, J.S., "Revisiting Speech Interference and Remedial Solutions in Classrooms", Audiology, Journal of Auditory Communication, vol. 40, no. 5, pp. 221-244, (2001) McGraw-Hill, New York, 1994.

