

Федеральное агентство связи

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Самара

Федеральное агентство связи

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики

Кафедра ТВ и РВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы

«Оптимизация частотной характеристики времени реверберации»

Составил: доц. Горчаков Б. М.

Самара
2008 г

1. Цель работы

Целью работы является изучение студентами методов оптимизации частотной характеристики времени реверберации помещения.

В лабораторной работе рассматриваются принципы подбора звукопоглощающих материалов с целью изменения времени реверберации помещения.

2. Литература

1. Электроакустика и звуковое вещание /Под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 872 с.
2. Сапожков М.А. Электроакустика – М.: «Связь», 1978. – 272 с.
3. Радиовещание и электроакустика /Под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Радио и связь, 2002. – 792 с.
- 4.

3. Контрольные вопросы

При подготовке к работе студенты должны изучить основные акустические характеристики помещений и влияние на время реверберации звукопоглощающих материалов и конструкций, используя данную методическую разработку (раздел «Вопросы теории») и учебники /1/, /2/ и /3/.

Необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы:

1. Чем характеризуется диффузное звуковое поле?
2. Поясните процессы поглощения и отражения звука в помещении.
3. Что такое отзвук?
4. Какие характеристики отзвука влияют на слуховые ощущения при прослушивании музыки и речи?
5. Из каких соображений выбирают размеры концертных залов и музыкальных студий?
6. Приведите графики нарастания и спада плотности звуковой энергии в помещении.
7. Как влияют процессы нарастания и спада плотности звуковой энергии в помещении на слуховое восприятие?
8. Что называется временем реверберации?
9. Что называется временем оптимальной реверберации?
10. Как зависит время оптимальной реверберации от размеров и назначения помещения?
11. Приведите схему измерения времени реверберации.
12. Какие сигналы могут использоваться при измерении времени реверберации?
13. Какие частотные характеристики коэффициента звукопоглощения имеют сплошные строительные материалы? Приведите примеры.
14. Какие частотные характеристики коэффициента звукопоглощения имеют пористые звукопоглощающие материалы? Приведите примеры.
15. Какие частотные характеристики коэффициента звукопоглощения имеют резонаторные конструкции? Приведите примеры.

16. Какие частотные характеристики коэффициента звукопоглощения имеют мембранные конструкции? Приведите примеры.
17. Как влияет на время реверберации степень заполнения помещения слушателями?

4. Задание на лабораторное занятие

Лабораторная работа выполняется при помощи программы Sabin Acoustic.

1. Ввести параметры помещения, согласно заданию (объем помещения, площади поверхностей, количество дверей и окон).
2. Пронаблюдать получившуюся частотную характеристику времени реверберации.
3. Используя справочные данные, имеющиеся в данной методической разработке, для помещения заданного объема и назначения определить оптимальное время реверберации на частоте 500 Гц (1000 Гц) и допустимые пределы изменения времени реверберации в диапазоне частот 125...8000 Гц.
4. Ввести данные о количестве исполнителей и слушателей, находящихся в студии, и вносимом ими звукопоглощении.
5. Оптимизировать частотную характеристику времени реверберации, добавляя поглощающие материалы и площади их покрытия.
6. Зарисовать полученные графики частотной характеристики времени реверберации, рассчитанные по формулам Эйринга и Сэбина, частотные характеристики коэффициентов звукопоглощения использованных звукопоглощающих материалов и занимаемые этими материалами площади. Сделать выводы.
7. Пронаблюдать влияние на частотную характеристику времени реверберации степени заполнения помещения слушателями и исполнителями. Зарисовать полученные характеристики. Сделать выводы.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запуск программы осуществляется двойным щелчком мыши по ярлыку на рабочем столе или через меню “Пуск” (ярлык “Sabin”). Основное окно программы показано на рисунке 1.

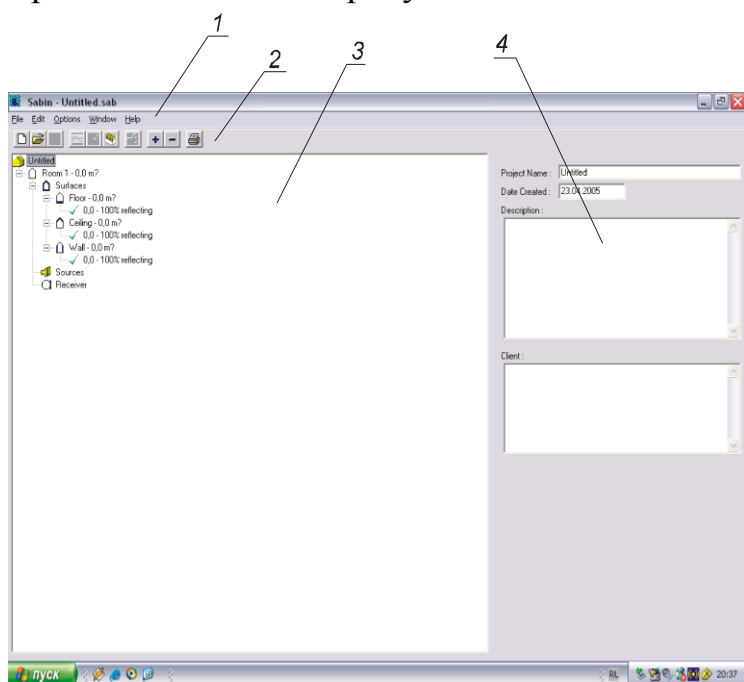












Рисунок 1. Основное окно программы *Sabin Acoustic*

Основное окно программы состоит из:

- панели меню (1)
- панели инструментов (2)
- рабочего окна (3)
- панели описания (4)

На панели инструментов находятся следующие кнопки:

-  New project. Создание нового проекта
-  Open a project. Открытие ранее созданного проекта
-  Save the project. Сохранение изменений проекта
-  Show the T60 graph. Отображение полученных реверберационных характеристик
-  Show the SPL graph. Отображение графика зависимости звукового давления от частоты

-  Open the database. Открывает диалог работы с базой данных программы (выбор звукопоглощающих материалов)
-  Open the AutoSearch dialog. Запуск функции автоматического поиска оптимальных значений площадей покрытия различными материалами для данного помещения (в лабораторной работе не используется)
-  Add an object. Добавление объекта или материала покрытия поверхности (зависит от изменяемого параметра)
-  Remove an object. Удаление выбранного объекта или материала покрытия поверхности (зависит от изменяемого параметра)
-  Print a report. Вывод на печать результатов расчетов

2. Ввести параметры помещения (объем, площади поверхностей) согласно заданию, полученного у преподавателя (рисунок 2).

Одиночным щелчком мыши выделяется пункт ROOM.

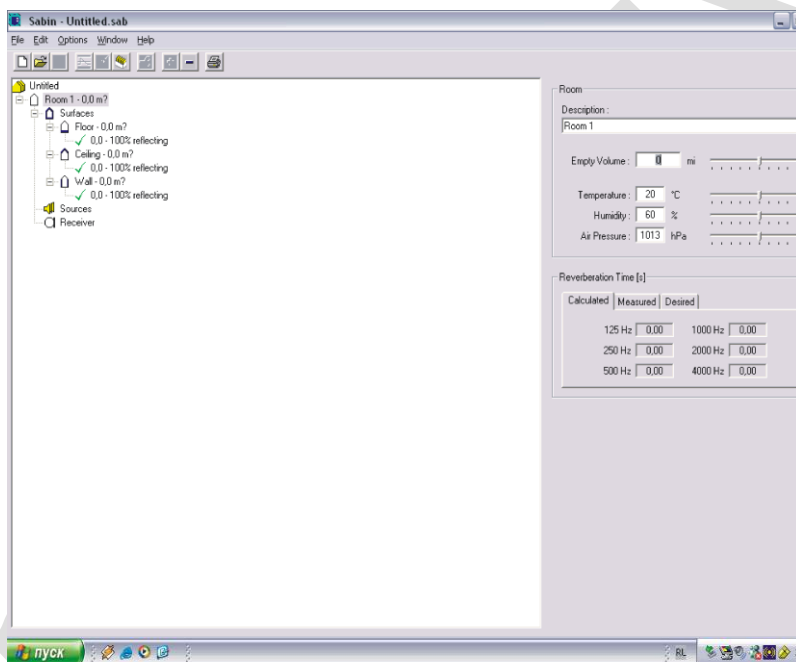


Рисунок 2. Ввод данных помещения

Согласно заданию выбирается объем помещения, площади пола, потолка и стен.

В основном окне производится изменение параметров помещения (таблица 1).

При выполнении данного пункта задания покрытие поверхностей отделочными материалами не производится.

Таблица 1.

Параметр	Значение
Room	Задается объем помещения в кубометрах
Surface	Поверхности помещения: стены, пол и потолок и площади покрытий отделочными материалами (берутся из базы данных программы)
Floor	Задается площадь пола в квадратных метрах и площади покрытий отделочными материалами (берутся из базы данных программы)
Ceiling	Задается площадь потолка в квадратных метрах и площади покрытий отделочными материалами (берутся из базы данных программы)
Wall	Задается общая площадь стен в помещении и площади покрытий отделочными материалами (берутся из базы данных программы)
Sources	Установленные в помещении источники звука (в лабораторной работе не используется)
Receiver	Установленные в помещении измерительные приемники (в лабораторной работе не используется)

Вводятся данные помещения, перечисленные в таблице 2 (или используются, по умолчанию, имеющиеся).

Таблица 2.

Empty Volume	Объем помещения (пол, потолок и стены не имеют покрытия)
Temperature	Температура воздуха в помещении в градусах по Цельсию
Humidity	Относительная влажность воздуха в процентах
Air pressure	Атмосферное давление в кПа (по умолчанию давление нормальное – 1013 кПа = 1 АТМ)
Reverberation Time	Время реверберации на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц

В окне *Reverberation Time* имеется три закладки:

1. **Calculated** – расчетное время реверберации.

Рассчитывается, исходя из объема помещения и материалов покрытия. Значения изменяются автоматически при изменении параметров помещения.

Данные из этой таблицы переносятся в отчет о выполнении лабораторной работы

2. **Measured** – идеализированная реверберационная характеристика (значения вводятся вручную)

3. **Desired** – требуемая реверберационная характеристика (значения вводятся вручную)

3. Пронаблюдать получившуюся частотную характеристику времени реверберации, нажав клавишу “Show the T60 graph” (отображение полученных реверберационных характеристик) на панели инструментов.

В результате откроется окно диаграмм (рисунок 3).

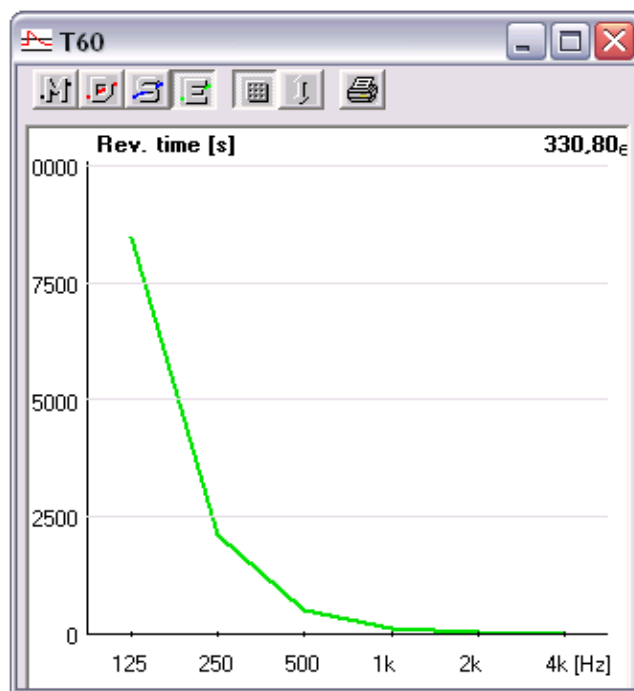









Рисунок 3. Окно диаграмм

На панели инструментов данного окна находятся следующие кнопки:

-  - *Measured* – отобразить/скрыть идеализированную реверберационную характеристику
-  - *Desired* – отобразить/скрыть требуемую реверберационную характеристику
-  - *Sabine* – отобразить/скрыть реверберационную характеристику, рассчитанную по методу Себина
-  - *Eyring* – отобразить/скрыть реверберационную характеристику, рассчитанную по методу Эйринга
-  - *Grid* – показать/скрыть сетку
-  - *Scale option* – опции масштаба (по умолчанию выбирается автоматически)
-  - *Print graph* – вывод полученных графиков на печать

Необходимо отметить, что по умолчанию все поверхности имеют 100-процентное отражение.

График переносится в отчет.

4. Используя справочные данные, имеющиеся в методической разработке, для помещения заданного объема и назначения определить:

- оптимальное время реверберации на частоте 500 Гц (1000 Гц)

- допустимые пределы изменения времени реверберации в диапазоне частот 125...8000 Гц.

5. Ввести данные о количестве исполнителей и слушателей, находящихся в студии, и вносимом ими звукопоглощении.

Вновь пронаблюдать и зарисовать полученную частотную характеристику времени реверберации.

6. Оптимизировать частотную характеристику времени реверберации, добавляя дополнительные объекты, поглощающие материалы и площади их покрытия.

При добавлении материалов отделки и дополнительных объектов производится автоматический пересчет объема помещения и реверберационной характеристики.

Добавление материалов или объектов производится следующим образом:

1. Выделить одиночным нажатием мыши соответствующую часть помещения (пол, стены, потолок)
2. Нажать кнопку «Добавить» {+} на панели инструментов.

Далее открывается соответствующий диалог (рисунок 4).

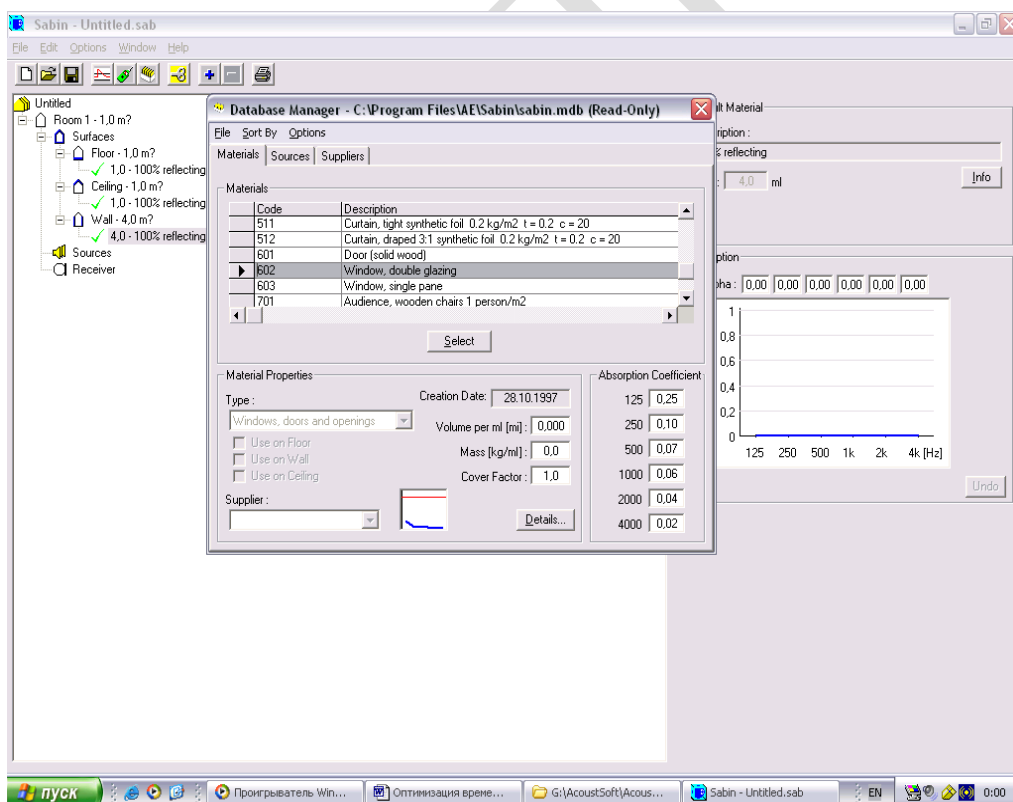


Рисунок 4. Ввод дополнительных элементов и материалов отделки (указатель стоит на элементе «Окно, двойное остекление»)

Code (Код)	Description (Описание)	
001	100% absorbent	Абсорбент (поглотитель)
002	100% reflecting	Отражающий материал
101	concrete, porous	Бетон, пористый
102	concrete, smooth	Бетон, гладкий (ровный, полированный)
103	brickwork, smooth	Кирпичная кладка, ровная
104	plaster	Штукатурка
201	plasterboard	Гипсовый картон
202	plywood	Фанера
301	plasterboard, perforated	Гипсовый картон, перфорированный
401	wood-wool-mortar	Гипс
402	baffles	Перегородка
403	foam, open cell	Пенопласт
404	mineral wool	Минеральная вата
501	floor covering: linoleum	Пол, покрытый линолеумом
502	floor covering: carpet	Пол, покрытый ковром
601	door (wood)	Дверь (дерево)
602	window, double glazing	Окно, двойное остекление
701	audience, wooden chairs	Слушатели на деревянных стульях
702	chairs, upholstered	Стулья, обитые

В окне имеются три закладки.

1. «*Materials*» - база данных по звукопоглощающим материалам. Она открывается автоматически при изменении параметров поверхностей. В базе данных содержатся материалы, которые обладают идеальными характеристиками, так и реально существующие.

Так же здесь находятся такие объекты как окна, двери, стулья или зрительские кресла. Их необходимо учитывать при расчете реверберационной характеристики зрительного зала.

2. «*Sources*» - источники дополнительных звуковых сигналов. Их добавление необходимо в случае построения графика зависимости уровня звукового давления в помещении (в данной лабораторной работе не используется).

3. «*Suppliers*» - содержит адреса Интернет-серверов технической поддержки для данной программы.

При выполнении работы необходима первая закладка.

При выборе материала в специальном окошке показывается характеристика поглощения для данного материала в зависимости от частоты звукового сигнала.

В средней части окна диалога находится кнопка «Select» - при нажатии на нее производится добавление выбранного материала в соответствующую часть проекта (рисунок 5)

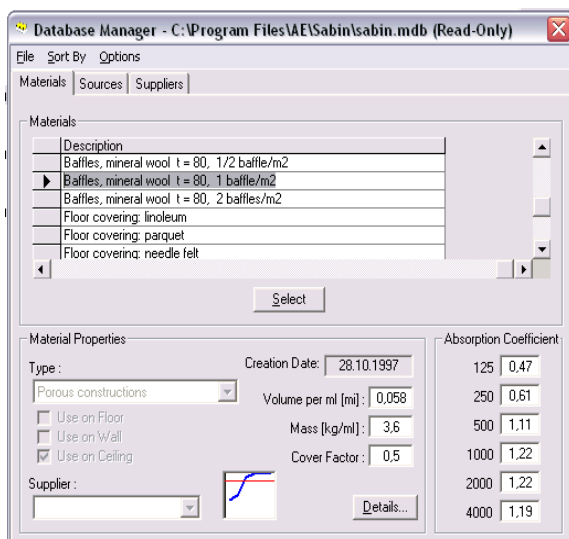


Рисунок 5. Диалог добавления материалов или объектов

В правой нижней части окна находится таблица «Adsorption Coefficient» - таблица коэффициента поглощения для данного материала на основных частотах (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц).

Необходимо добавить, что при выполнении работы нельзя добавлять материалы, коэффициент поглощения которых на каких-либо частотах превышает единицу.

Также возможно добавление нескольких материалов на ту или иную поверхность помещения.

Далее на панели описания вводится площадь покрытия каждым материалом.

Примерный вид проекта с добавленными материалами показан на рисунке 6.

После добавления очередного материала, пронаблюдать (не зарисовывая) частотную характеристику времени реверберации. Сделав вывод о необходимости дальнейшего изменения частотной характеристики, добавить (или удалить) очередной материал или изменить площадь покрытия имеющегося.

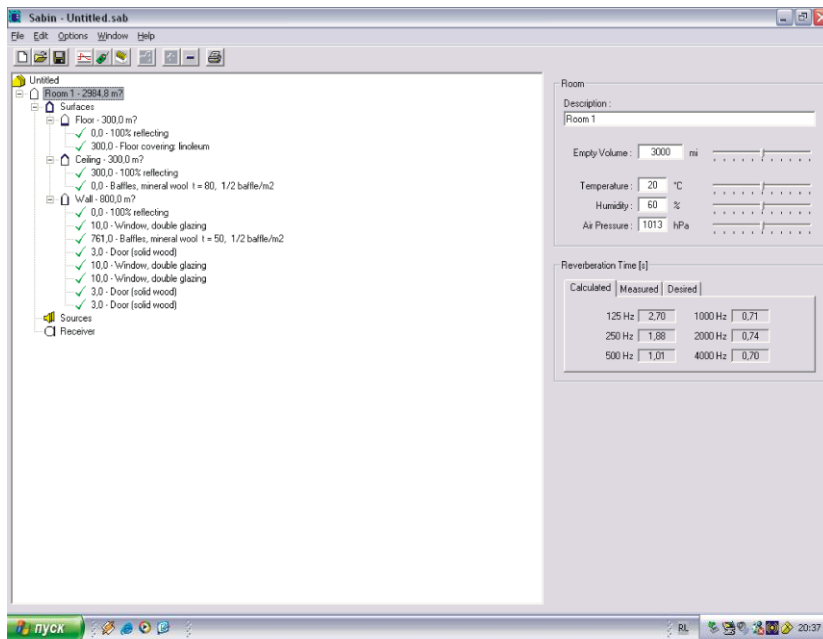


Рисунок 6. Примерный вид проекта с добавленными материалами

7. После добавления материалов и дополнительных объектов в проект, необходимо просмотреть график полученной реверберационной характеристики.

Для этого необходимо нажать на кнопку “Show the T60 graph”.

Перед студентом ставится задача добиться, чтобы полученная характеристика находилась в допустимых пределах.

Полученную оптимальную характеристику с указанием допустимых пределов изменения времени реверберации привести в отчёте.

8. Привести в отчёте таблицу результатов проектирования (смотри рисунок 6) и частотные характеристики коэффициентов звукопоглощения всех использованных материалов.

9. Пронаблюдать влияние на частотную характеристику времени реверберации степени заполнения студии исполнителями и слушателями. Для этого последовательно вести относительное количество исполнителей и слушателей 75%, 50%, 25%, 0% (пустой зал) от заданного числа исполнителей. Зарисовать полученные графики.

Сделать выводы.

6. Вопросы теории

6.1. Некоторые требования к акустическому проектированию концертных залов и музыкальных студий

Акустика помещения – это совокупность свойств помещения, влияющих на качество звучания определённых видов программ.

Если слушатель находится в концертном зале, звуковые волны приходят к ушам слушателя от каждого из музыкальных инструментов разными путями. Первой приходит прямая звуковая волна, так как она распространяется по кратчайшему пути. Вслед за ней поступают множество волн, отражённых от поверхностей помещения. Совокупность отражённых звуковых волн образует реверберационный процесс в помещении, который имеет сложную спектральную, временную и пространственную структуру.

Благодаря реверберации звучание инструментов и голосов кажется нам тембрально богаче, более объёмным и пространственным. Это звучание несёт также информацию об акустических особенностях помещения.

Начальный (дискретный) участок реверберационного процесса несёт информацию о геометрических размерах помещения, определяет пространственность звучания, а также свойственную помещению специфическую окраску звучания.

Завершающий участок характеризуется поступлением в каждый момент времени достаточно большого числа отражённых сигналов. Здесь имеет место энергетическое сложение сигналов. На этом этапе формируется свойственный данному помещению характер гулкости звучания.

Время реверберации является главным критерием оценки акустических свойств помещения. Время реверберации рассчитывается на основе статистической теории реверберации, расчетные соотношения которой сравнительно простые и длительное время являлись основой инженерных расчётов при проектировании концертных залов.

Если время реверберации значительно отличается от оптимального значения, а частотная характеристика времени реверберации выходит за пределы допустимых значений, акустика зала слушателями и исполнителями будет оцениваться как плохая. Однако оптимальное время реверберации на всех частотах не гарантирует высокого качества звучания. Важную роль имеют первые отражения звукового сигнала, которые не могут быть рассчитаны на основе статистической теории. В этом случае необходимо воспользоваться волновой теорией анализа отзвука. Однако до недавнего времени волновая теория из-за сложности математического анализа была разработана и применялась только при анализе акустики залов, имеющих простую форму (форму параллелепипеда).

Формы больших концертных залов, как и крупных студий звукового и телевизионного вещания, весьма разнообразны. Их выбирают, исходя из

архитектурно-строительных соображений и удобства размещения оркестрантов на сцене (игровой площадке студии). Для получения хороших акустических свойств, стены и потолок зала должны иметь сложную форму (хорошо рассеивать отражаемую звуковую волну), а противоположные стены, пол и потолок не должны быть параллельными (подробнее рассмотрено ниже). В результате современные концертные залы имеют сложную форму, а неточность расчётов на основе статистической теории нередко приводила к необходимости дорогостоящих переделок после постройки зала, к так называемой «настройке» акустических характеристик.

Залы средних и малых размеров часто имеют форму прямоугольного параллелепипеда, стороны которого - длина l , ширина b , высота h - находятся в соотношении так называемого "золотого сечения":

$$\frac{l}{b} = \frac{b}{h} \quad \text{при} \quad l = b + h \quad (6.1)$$

Учитывая, что объем студии $V = lbh$, получаем:

$$h = 0,62\sqrt[3]{V}, \quad b = \sqrt[3]{V}, \quad l = 1,62\sqrt[3]{V} \quad (6.2)$$

Важен правильный выбор высоты залов студий h .

Зависимость $h = 0,62\sqrt[3]{V}$ совпадает с данными нормативных документов, которые составлены на основании опыта длительной эксплуатации залов. В больших концертных залах и музыкальных студиях допускается уменьшать высоту h на 10 — 20 % по сравнению с размером, получаемым из (6.2). Даже в самых крупных концертных залах и студиях с объемом более 10000 м³ высота не должна превышать 14 м. Размещаемые над оркестром звукорассеивающие конструкции следует подвешивать на высоте 6 — 8 м.

В студиях небольшого объема выражение (6.2) приводит к недопустимо малой высоте, которая в любом случае не должна быть менее 3 м.

Объем концертных залов и музыкальных студий находится в прямой зависимости от максимального числа исполнителей. Удельный объем, приходящийся на одного оркестранта, должен быть не менее 10-18 м³, а на одного слушателя - не менее 10 м³. Площадь пола сцены, приходящаяся на одного исполнителя, должна быть не менее 1,8-3 м². Скученное расположение оркестра дезориентирует музыкантов, затрудняя исполнение и повышая психологическую нагрузку, что приводит к быстрой их утомляемости и потере контроля над качеством исполнения.

В таблицах 3 и 4 приведены основные требования к размерам музыкальных студий.

Основные типы музыкальных студий звукового и телевизионного вещания.

Наименование студии	Назначение	Оптимальное число исполнителей	Высота, м	Площадь пола, м ²
Большая музыкальная	Музыкальные передачи крупных форм (классическая музыка в исполнении больших симфонических оркестров; хоровое пение и т.п.) с возможностью присутствия слушателей	250	13	1000
То же, но без слушателей	--	150	12	750
Средняя музыкальная	Симфоническая музыка (в исполнении средних по числу исполнителей оркестров)	40 - 65	8,5 - 10	350 - 450
	Запись эстрадной и джазовой музыки	35 - 60	8,5 - 10	350 - 450
Малая музыкальная	Запись небольших оркестров и хоров	30 - 35	8,0 - 8,3	250 - 300
Камерная	Исполнение камерной музыки, для солистов-вокалистов, музыкальных передач малых форм	10 - 15	6	150

Оптимальное соотношение сторон музыкальных студий

Объем студии, м ³	Соотношение сторон		
	длина	ширина	высота
До 250	1,6	1,3	1
От 650 до 1250	2,25	1,5	1
От 2000 до 4000	3	2	1
От 4000 и больше	3,3	2,2	1

Параметры больших концертных залов аналогичны параметрам большой музыкальной студии с возможностью присутствия слушателей.

Форме речевых студий не придается большого значения в силу слабого влияния отражений на равномерность звукового поля в них. Однако этого нельзя сказать о музыкальных студиях и концертных залах. Значительно большее время реверберации музыкальных студий и их большие размеры могут привести к тому, что отражения от параллельных стен при значительной средней длине свободного пробега волны будут затухать медленнее других отражений, что приведет к заметной неравномерности поля. Придавая стенам некоторую непараллельность, можно добиться уменьшения количества волн, звуковые лучи которых нормальны к плоскости стен, и поэтому имеющих наиболее упорядоченный характер. Такие волны могут создавать большую неравномерность звукового поля.

6.2. Заключительный этап реверберационного процесса

Участок реверберационного процесса, условно названный «заключительным», по длительности занимает до 85% времени. На этом участке звуковое поле становится диффузным, поэтому расчётные соотношения статистической теории реверберации теперь точно описывают характер отзвука. Для больших концертных залов оптимальное время реверберации находится в пределах 1,5 ... 2,0 с, а звуковое поле становится практически диффузным через 0,3 с после выключения источника звука.

Одним из важнейших понятий в статистической теории реверберации является средняя длина свободного пробега $l_{\text{ср}}$, которая для помещений, имеющих форму близкую к прямоугольному параллелепипеду, может быть найдена из выражения:

$$l_{cp} = \frac{4V}{S} = \frac{4 \cdot 34 \cdot 37 \cdot 9}{3865} = 11,7 \text{ м}, \quad (6.3)$$

где V – объём помещения,

S – суммарная площадь всех поверхностей помещения.

Зал имеет сложную форму, и использованное расчётное выражение может оказаться неточным. Моделирование путей звуковых лучей позволяет определить для данного конкретного зала:

$$l_{cp} = \frac{s}{n},$$

где s – суммарное расстояние, пройденное звуковым лучом,

n – число отражений звукового луча.

Если при проектировании студий и концертных залов не учитывается добавочный фонд звукопоглощения, то время реверберации в области нижних частот часто оказывается много меньше расчетного.

6.3. Измерение времени реверберации

Время реверберации является одним из основных, легко поддающимся измерению параметром, определяющим акустику помещения.

Так как для оптимальных акустических условий требуется обеспечить вполне определенную частотную характеристику времени реверберации, то и измерение времени реверберации производится во всем спектре звуковых частот.

Структурная схема измерительного тракта представлена на рисунке 7.

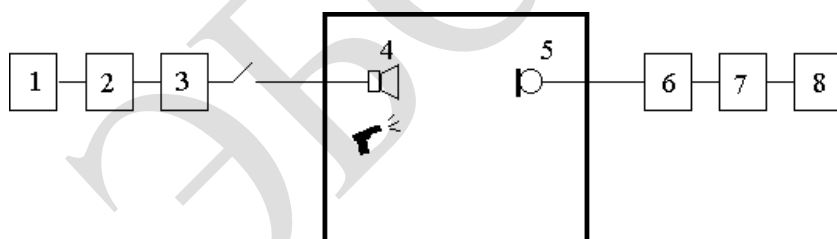


Рисунок 7.

На рисунке:

1 – источник измерительного сигнала;

2, 7 – полосовые фильтры;

3, 6 – усилители;

4 – громкоговоритель;

5 – измерительный микрофон;

8 – самописец уровней.

Учитывая, что звуковое поле в помещении никогда не является полностью диффузным, для измерения нельзя использовать чистые тона. При измерении на чистых тонах в помещении могут возникнуть стоячие волны, и результаты измерений будут существенно отличаться от реальных. Поэтому оптимальным является использование в качестве измерительного сигнала полос белого шума шириной в октаву. С помощью фильтров из принятого микрофоном сигнала выделяют желаемую полосу частот.

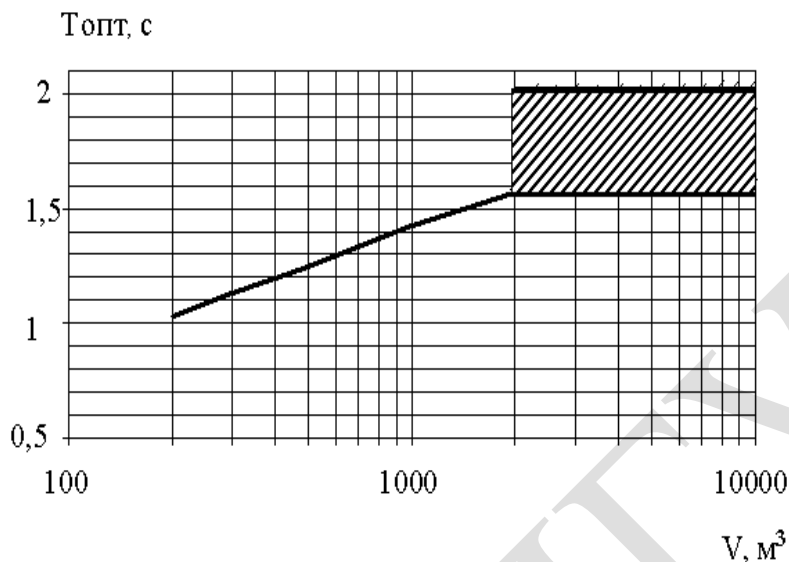


Рисунок 8.

Для концертных залов и музыкальных студий многоцелевого назначения рекомендуется время реверберации на частоте 1000 Гц составляет $1,7 \div 1,8$ с.

Частотная характеристика оптимального времени реверберации концертных залов и музыкальных студий имеет, как правило, подъем в области нижних частот на 20...40%, как показано на рисунке 9.

Подъем в области низких частот следует отнести за счет эстетических вкусов и традиций слушателей, предпочитающих в музыкальных передачах некоторое подчеркивание низких частот.

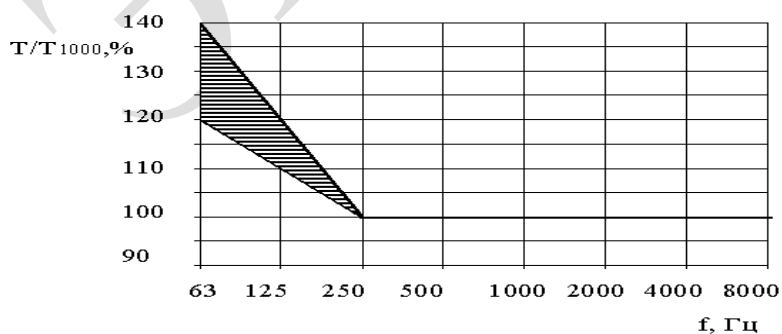


Рисунок 9.

Допустимое отклонение стандартного времени реверберации от оптимальных значений показано на рисунке 10 (для концертных залов и музыкальных студий – область 1 на графике).

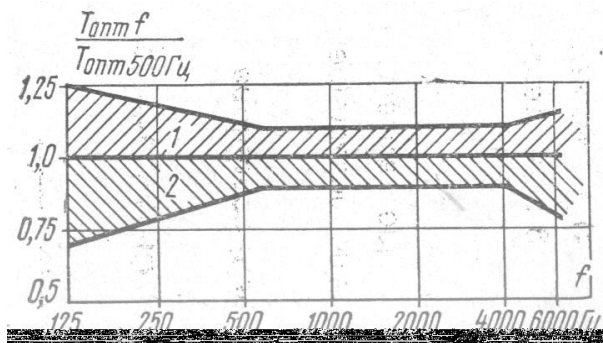


Рисунок 10.

7. Содержание отчёта

1. Титульный лист с указанием кафедры, лаборатории, номера и наименования работы, номера группы и фамилии студента.
2. Цель работы.
3. Параметры заданной студии (с результатом расчёта).
4. Графики и таблицы с результатами наблюдений.
5. Выводы.