

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ

С А М А Р А 2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ

*Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Основы виброакустики машин»*

С А М А Р А 2015

Составители: А.А. Иголкин, Л.В. Родионов, Е.В. Шахматов

УДК 681.8

Определение времени реверберации в помещении: Метод. указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-та; Сост. *А.А. Иголкин, Л.В. Родионов, Е.В.Шахматов.* – Самара, 2015. 20 с.

Рассмотрены теоретические основы измерения времени реверберации. Дано описание оборудования необходимого для измерения времени реверберации. Изложены методы расчёта времени реверберации и оценки погрешности измерений.

Методические рекомендации предназначены для магистрантов.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета

Рецензент: д-р техн. наук, доцент. А.Б. Прокофьев

СОДЕРЖАНИЕ

Термины, обозначения и определения	5
Введение	6
1 Теоретические основы лабораторной работы	7
2 Аппаратура	11
3 Проведение измерений	12
4 Метод обработки кривых реверберации	13
5 Экспериментальные исследования времени реверберации в помещении	15
6 Оформление результатов измерений и отчета	17
Контрольные вопросы	18
Список использованных источников	19

ТЕРМИНЫ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин	Обозначение	Определение
1. Реверберация	-	Это процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях
2. Время реверберации	T_p	Время, в течение которого уровень звукового давления в помещении уменьшается на 60 дБ после прекращения действия источника звука
3. Импульс взрывного типа		Короткий звуковой сигнал, возникающий при имитации в помещении явления слабого взрыва (выстрел из стартового пистолета или холостой выстрел из ружья, искровые разряды и т. д.). Для использования этого импульса в качестве испытательного сигнала при измерении времени реверберации длительность импульса и пиковый уровень звукового давления должны обеспечить в исследуемом частотном диапазоне по всей площади помещения отношение сигнал/шум не менее 40 дБ
4. Звукопоглощение	-	Способность материала ослаблять интенсивность звука

ВВЕДЕНИЕ

Контроль и снижение шумов является довольно сложной проблемой. С одной стороны, трудность состоит в систематизации природы шумов, связанной с такими научными направлениями, как математика, динамика, вибрация, механика жидкостей и газов, термодинамика, электроника, психоакустика, материаловедение и, конечно инженерная акустика. С другой стороны невыясненная природа возникновения и распространения звука часто становится непреодолимой преградой при решении проблемы уровня шума, к которой чаще всего подходят интуитивно или базируясь на опыте других областей техники. Понимание основ возникновения и распространения звука является важным моментом для инженера, отвечающего за снижение шума на рабочем месте.

В теории акустики существует много неявных особенностей и "нелогичных" с точки зрения здравого смысла выводов, в данной области появилось и утвердилось огромное количество легенд и заблуждений.

Это приводит к тому, что у огромного количества людей сформировался устойчивый стереотип о том, какими материалами, в случае необходимости, можно решить все трудности недостаточной шумоизоляции. Но практическое применение схожих материалов в лучшем случае оставит ситуацию без видимых изменений, в худшем - приведет к увеличению шума в помещении. В качестве примера - миф о звукоизоляционных свойствах пробки.

Снижение шума в производственном помещении возможно методами звукоизоляции и звукопоглощения. И тот и другой связан с понятием времени реверберации.

Настоящие методические рекомендации устанавливают метод определения времени реверберации в натуральных условиях и предназначены для проведения испытаний акустического качества помещений, реверберационного коэффициента звукопоглощения, и звукоизоляции воздушного и ударного шума конструкций.

Цель работы: изучение экспериментального метода определения времени реверберации для определения акустического качества помещений и звукоизоляции воздушного и ударного шума.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Решать задачу повышенного шума в уже существующих зданиях можно двумя основными методами: повышением звукоизоляции ограждающих конструкций здания и увеличением звукопоглощения в конкретных помещениях. Каждый из методов имеет свои плюсы и минусы и, как правило, при решении конкретных задач используется их комбинация [8].

Материалы, применяемые для защиты от шума в конструкциях зданий, подразделяются на звукопоглощающие, гасящие отраженные звуковые колебания внутри помещений, и звукоизолирующие - предназначенные для применения в многослойных ограждающих конструкциях с целью улучшения изоляции от ударного и воздушного шумов, распространяющихся сквозь стены, перегородки и др.

Звукопоглощающие материалы применяются в основном в конструкциях звукопоглощающих облицовок внутренних поверхностей помещений и технических устройств, требующих снижения уровня шумов (установки вентиляции и кондиционирования воздуха и др.), а также для улучшения акустических свойств помещений (зрительные залы, аудитории и пр.).

Наглядное представление об эффективности методов звукоизоляции и звукопоглощения дает рисунок 1.1.

Одним из основных критериев акустического качества помещений является время реверберации.

Время реверберации для разных помещений будет различным. Оно может быть непосредственно измерено. По измеренному времени реверберации несложно определить коэффициент потерь звуковой энергии в помещении [1].

Возможно использовать средства звукопоглощения для снижения уровня шума в помещении. Детали таких устройств должны разрабатываться

специалистами-акустиками. Большую роль здесь играет творческий замысел и художественный вкус архитектора. Общеизвестно, что с повышением вдвое среднего коэффициента звукопоглощения уровень звукового давления в помещении снижается примерно на 3 дБ [2]. В гулких помещениях уровень звукового давления может быть снижен даже на 10 дБ путем отделки потолка звукопоглощающими материалами, что уменьшает субъективную громкость шума в два раза.

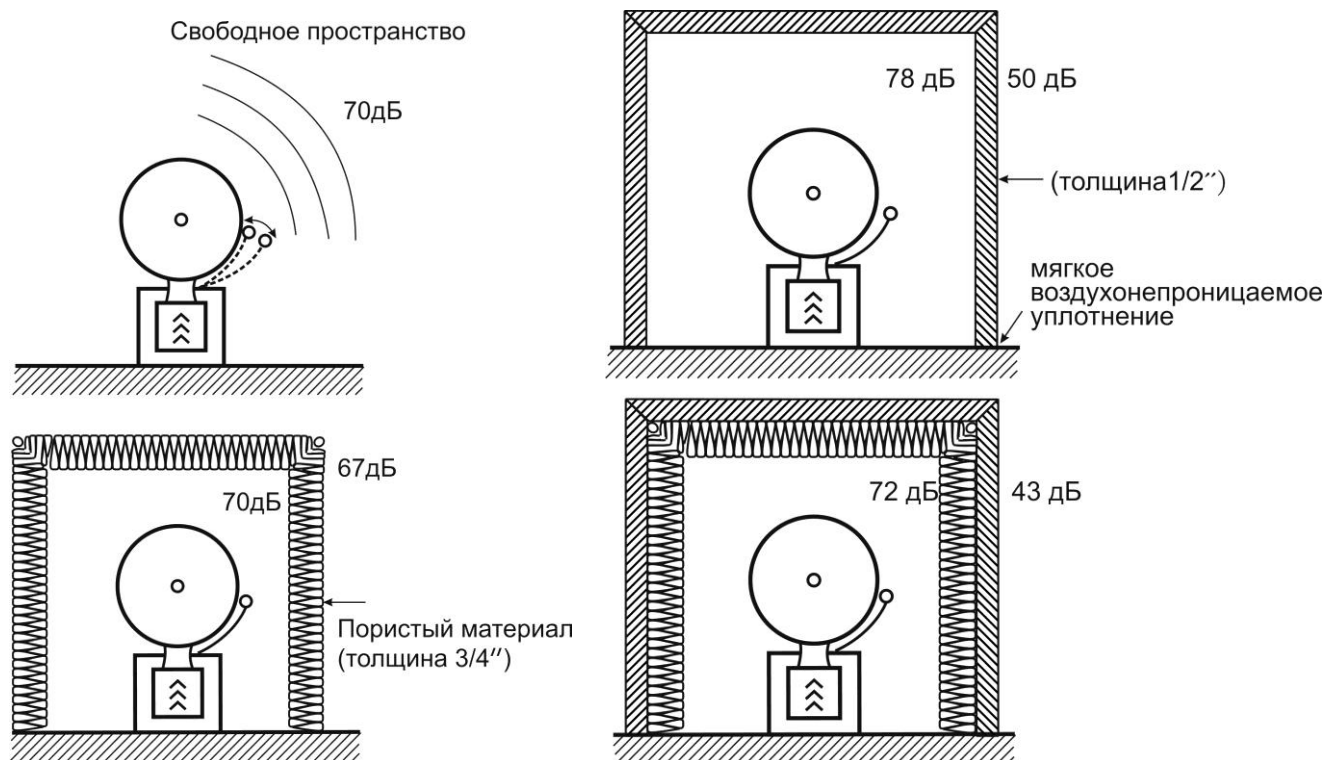


Рисунок 1.1 – Методы снижения шума

Проведение мероприятий по звукопоглощению приводит к следующим результатам:

- 1) заметно снижается гулкость в помещении;
- 2) уровень звукового давления понижается;
- 3) падение уровня звукового давления по мере удаления от источника шума происходит интенсивнее, чем в гулких помещениях;
- 4) значительно повышается разборчивость речи.

В промышленных предприятиях по техническим соображениям чаще всего устраивают хорошо отражающие звуки твердые бетонные полы и стены

из керамических плиток. Если, к тому же, как обычно применены железобетонные покрытия с гладкой потолочной поверхностью, остекленные и бетонные поверхности стен, стены из стеклоблоков, то в помещениях цехов имеет место большая гулкость, увеличивающая шум оборудования.

Если оборудование установлено по всему цеху, уровень звука на этой площади будет равномерно распределяться в помещении, тогда для эффективного использования звукопоглощающего материала его следует помещать вблизи машин, потому что чем ближе расположен материал к источнику шума, тем больше будет угол охвата пространства, что снизит общее количество требуемого материала. С точки зрения улучшения условий работы оператора, обслуживающего машину, эта мера является наилучшим решением.

Снижение общего *времени реверберации* облегчает условия работы оператора и значительно повышает его способность соответствующим образом выполнять рабочую операцию, а, следовательно, и повышает безопасность [3].

Время реверберации испытательных помещений определяется в соответствии с ГОСТ 26417-85 по формуле [4]:

$$T = 0.164 \cdot V / A \quad (1)$$

где V - объем помещения, м^3 ;

$A = a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 + \dots + a_i \cdot S_i$ – эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 ;

a_i - коэффициент звукопоглощения, зависит от материала поверхности;

S_i - площадь каждой поверхности.

Коэффициент 0,164 был экспериментально получен У. Сэбином. Чтобы согласовать физические размерности в левой и в правой частях формулы, было решено придать коэффициенту размерность $\frac{c}{m}$.

Для уменьшения времени реверберации помещений до нормируемых значений эквивалентную площадь звукопоглощения A следует увеличивать,

равномерно размещая в помещениях звукопоглощающие конструкции или системы. После каждого размещения звукопоглощающих конструкции (систем) процедуру измерения времени реверберации T следует повторять до тех пор, пока это время не достигнет нормируемой величины.

Метод измерения изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями заключается в последовательном измерении и сравнении средних уровней звукового давления в помещениях высокого и низкого уровней в определенных полосах частот.

Изоляцию воздушного шума (звукоизоляцию) ограждающими конструкциями (R) рассчитывают по формуле [5]:

$$R = L_{m1} - L_{m2} + 10 \lg \frac{S}{A_2}, \quad (2)$$

где L_{m1} и L_{m2} , - средние уровни звукового давления в помещениях высокого и низкого уровней соответственно, дБ;

S - поверхность испытываемой конструкции, m^2 ;

A_2 - эквивалентная площадь звукопоглощения помещения низкого уровня, которая определяется по значению *времени реверберации* (T), измеренному в соответствии с ГОСТ 26417-85 [4].

Сущность метода измерения реверберационного коэффициента звукопоглощения заключается в последовательном измерении времени реверберации в пустой камере и в камере с образцом на ее внутренней поверхности и последующем определении реверберационного коэффициента звукопоглощения материала [4].

Таким образом, измерение *времени реверберации* целесообразно проводить при оценке акустического качества помещений, измерении реверберационного коэффициента звукопоглощения и измерения звукоизоляции воздушного и ударного шума конструкций.

Время реверберации следует определять по записи спада уровня звукового давления во времени (кривых реверберации).

2 АППАРАТУРА

Передающая система, излучающая шум при измерениях времени реверберации должна содержать:

- 1) генератор шума;
- 3) усилитель мощности;
- 4) громкоговорители.

Приемная измерительная система должна обеспечивать проведение измерений уровня звукового давления в третьоктавной полосе и содержать:

- 1) Интегрирующий шумомер;
- 2) Компьютер со специализированным программным обеспечением;

Звуковой сигнал при измерениях следует создавать громкоговорителем, излучающим третьоктавные полосы шума. В качестве звукового сигнала допускается применять нефильтрованный шум, звуковые импульсы взрывного типа (например, холостые выстрелы из пистолета), отрывки оркестровой музыки.

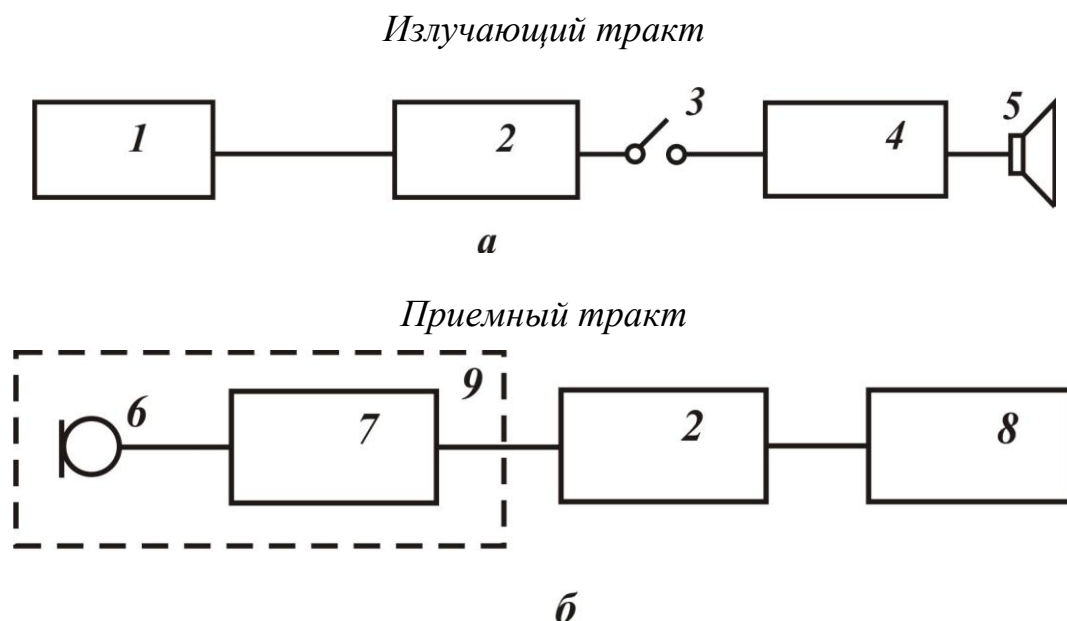


Рисунок 2.1 - Блок-схема аппаратуры для измерения времени реверберации

- 1 - генератор шума; 2 - фильтры; 3 - ключ; 4 - усилитель мощности;
5 - громкоговоритель; 6 - конденсаторный микрофон; 7 - микрофонный усилитель; 8 - самописец; 9 - шумомер

Внешний вид генератора с усилителем, додекаэдра и интегрирующего шумомера приведен на рисунках 2.2-2.4.



Рисунок 2.2– Внешний вид шумомера Svan 948 с четырьмя микрофонами



Рисунок 2.3 – Внешний вид додекаэдра



Рисунок 2.4 – Внешний вид генератора белого и розового шума с усилителем мощности

3 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения должны производиться в третьоктавных полосах по ГОСТ 12090—80 [6] со среднегеометрическими частотами 100—8000 Гц. При необходимости верхняя граница диапазона частот может быть увеличена до 20000 Гц.

Число повторных записей времени реверберации должно быть не менее трех.

До начала или после каждого измерения должны быть измерены температура и относительная влажность воздуха в помещении (камере).

За окончательный результат испытаний образца принимают среднее арифметическое трех испытаний этого образца. Погрешность измерения следует оценивать согласно СТ СЭВ 1929—79[7].

4 МЕТОД ОБРАБОТКИ КРИВЫХ РЕВЕРБЕРАЦИИ

Кривая реверберации, записанная на интегрирующий шумомер, представляет собой волнистую линию, проходящую под углом к горизонтальным линиям децибельной сетки (рисунок 4.1).

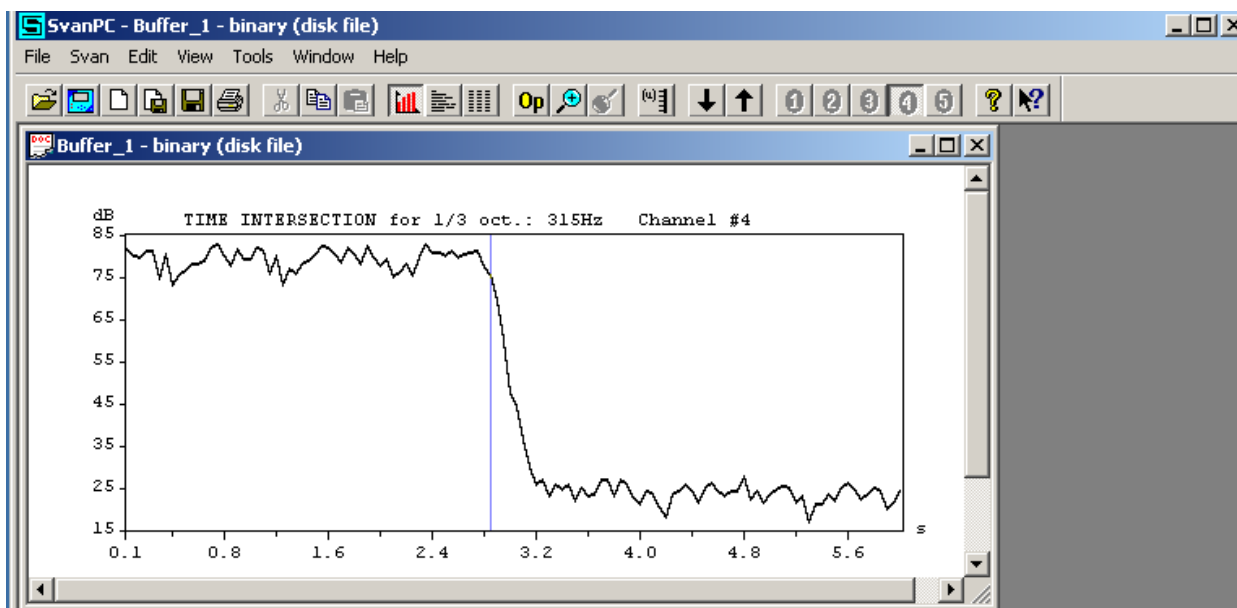


Рисунок 4.1 – Вид окна программы Svan PC с измеренной кривой реверберации на частоте 315 Гц

Каждую из полученных записей процесса реверберации аппроксимируют прямой линией на участке от минус 5 до минус 35 дБ по отношению к начальному уровню звукового давления и определяют время падения давления (рисунок 4.2). Умножая на два определенное по кривой реверберации время падения давления на 30 дБ, получаем время реверберации на данной частоте.

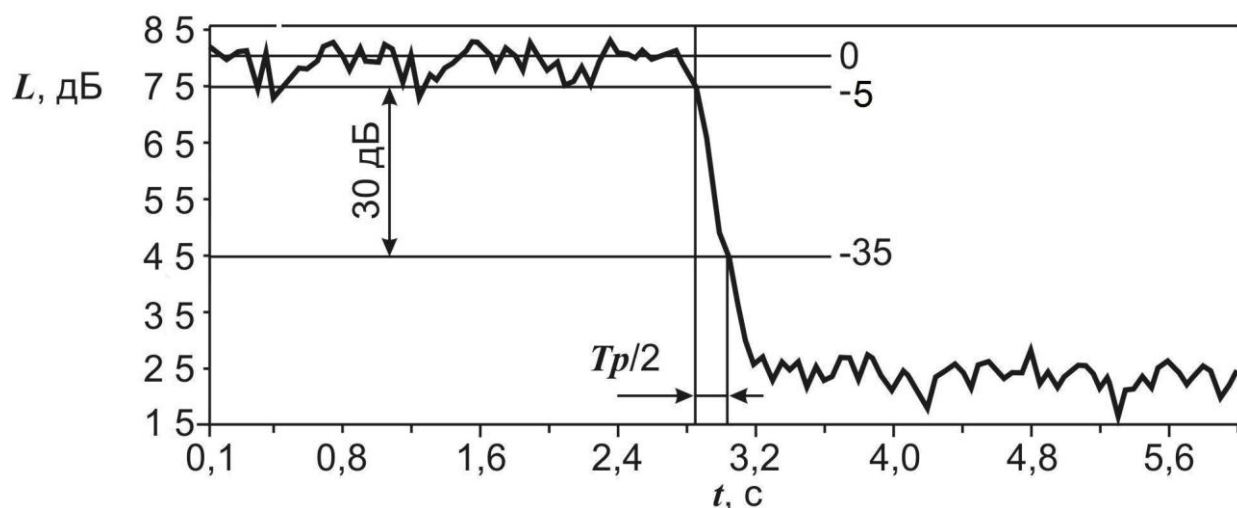


Рисунок 4.2 – Вид окна программы SvanPC с измеренной кривой реверберации на частоте 315 Гц

Записи, которые нельзя аппроксимировать указанным способом, не учитывают.

Время реверберации в точке измерения определяется как среднее арифметическое значений времени реверберации, в секундах, полученных из отдельных записей спадаения уровня звукового давления

Время реверберации зала T_p рассчитывается как среднее арифметическое значений времени реверберации, определенных в точках измерений. Результаты расчета следует округлять до 0,05 с.

Примечание. В тех случаях, когда значения времени реверберации в разных частях помещения отличаются более чем на 10%, необходимо установить среднее арифметическое значение времени реверберации для каждой части помещения отдельно.

Результаты измерений представляют в виде таблицы частотной зависимости T_p в протоколе (см. раздел б).

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ

Для экспериментального исследования времени реверберации помещения необходимо:

1. Подключить генератор с усилителем к додекаэдру;
2. Включить прибор (Svan 948) одновременным нажатием клавиш «старт/стоп» и «пауза/прод.». Выключение прибора осуществляется аналогичным способом

Войти в меню прибора нажатием клавиши «ввод/меню» при нажатой клавише «↑».

Перемещение по меню прибора осуществляется при использовании клавиш «v», «^», «<», «>», «ввод» и «отмена».

В меню **ПРИБОР→РЕЖИМ** выбрать 1/3 спектр;

В меню **ИЗМЕРЕНИЕ→ПАРАМЕТРЫ** установить следующие настройки:

ЗАДЕРЖКА – 1s.

ВРЕМЯ ИНТ. – 5s.

КОЛ. ЦИКЛ. – Н/О.

ШАГ ЗАПИСИ – 50ms.

В меню **ИЗМЕРЕНИЕ→КАНАЛЫ→КАНАЛ 4** установить следующие настройки:

РЕЖ. (4) – ЗВУК;

ДИАПАЗ. – 130dB/

В меню **ИЗМЕРЕНИЕ→БУФЕРЫ** установить следующие настройки:

БУФЕРЫ – ДА.

В меню **ИЗМЕРЕНИЕ→НАСТР. 1/3 ОКТ.** установить следующие настройки:

КАНАЛ 1 – НЕТ;

КАНАЛ 2 – НЕТ;

КАНАЛ 3 – НЕТ;

КАНАЛ 4 – ДА.

В меню **ИЗМЕРЕНИЕ**→**ТРИГГЕР** установить следующие настройки:

ТРИГГЕР – Выкл.

В меню **ЭКРАН**→**ИНДИКАЦИЯ** установить следующие настройки:

СПЕКТР – [√];

3 КАНАЛА – [*];

ВСЕ ПРОФ. – [];

СТАТИСТИКА - [√];

ИСТОРИЯ - [√].

После установки всех перечисленных настроек прибор готов к проведению измерения времени реверберации. Выполненную настройку можно сохранить для последующего использования: меню **ФАЙЛЫ**→**СОХР. НАСТРОЙКИ**.

Нажимаем клавишу «ввод». Далее выбираем название сохраняемой конфигурации используя клавиши «√», «^», «<», «>». Для удаления текущего символа необходимо удерживать клавишу «↑» и нажать клавишу «<». Для вставки пробела необходимо удерживать клавишу «↑» и нажать клавишу «>». Затем нажимаем клавишу «ввод». Текущая настройка сохранена.

Нажатием клавиши «отмена» выходим из меню в основное окно для проведения измерений.

Для запуска и останова измерения нажимаем клавишу «старт/стоп».

При появлении надписи «ОШИБКА 25» во время проведения измерения необходимо войти в меню **ФАЙЛЫ**→**ОЧИСТИТЬ БУФЕР**.

Результаты измерения времени реверберации сохранены в буфер прибора.

3. Включить генератор с усилителем. Выставить следующие настройки: тумблер в положении внутренний генератор (inside generator), спектр – линейный (linear), уровень - 7 дБ.
4. Провести запись реверберации в помещении, нажав кнопку «Запись» на шумомере. Во время измерений выключить источник, путем размыкания кабеля между генератором-усилителем и додекаэдром.
5. После проведения трех измерений выключить всю аппаратуру;

6. Обработку проводить на компьютере, где установлено специализированное программное обеспечение SvanPC.
7. Соединить прибор Svan 948 с компьютером посредством USB-кабеля.
8. Включить прибор.
9. Запустить программу SvanPC.
10. В программе выбрать **File→SVAN files** и в появившемся окне выбрать файл, который необходимо обработать и нажать «Open». (В программе существует возможность сохранения записанных файлов на жесткий диск компьютера («Download») и их последующая обработка. В этом случае необходимо указать место сохранения файлов «Target path»).
11. После загрузки файла нужно нажать **View→Time intersections→for Octaves 1/3**.
12. В появившемся окне клавишами «↑» и «↓» изменять частоту и определять время реверберации для искомым частот (см. раздел 4).

6 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ОТЧЕТА

Результаты испытаний записывают в протокол, который должен содержать следующие данные:

1. назначение и название исследуемого помещения.
2. название учреждения, проводившего измерения;
3. описание, эскиз и техническую характеристику объекта испытаний;
4. размеры и объем помещения;
5. температуру и относительную влажность;
6. основные отклонения от процедуры проведения измерений с указанием причин;
7. величину времени реверберации T_p ;
8. дату испытаний;
9. фамилию студента, проводившего испытания.

Примечание. Частотная зависимость коэффициента времени реверберации

должна быть представлена в виде диаграммы и таблицы для частот по п. 3.

Таблица 6.1 – Таблица частот

частота	100	125	160	200	250	315	400	500
вр рев	0,64	0,6	0,52	0,44	0,44	0,56	0,48	0,52
частота	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
вр рев	0,48	0,52	0,44	0,48	0,52	0,48	0,48	0,48

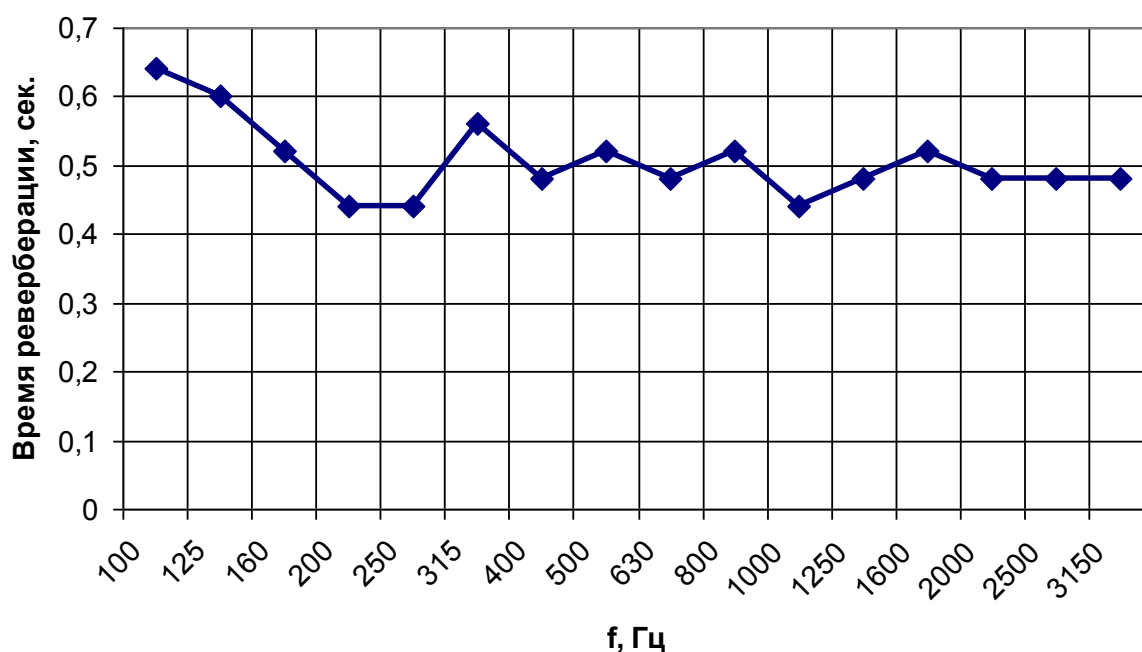


Рисунок 6.1 – График измеренной времени реверберации

Контрольные вопросы

1. Что такое реверберация?
2. Что такое время реверберации?
3. Есть ли разница между звукоизоляцией и звукопоглощением?
4. Где используется время реверберации?
5. Какая аппаратура используется при измерении времени реверберации?
6. В чем заключается методика измерения времени реверберации?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковригин С.Д. Архитектурно-строительная акустика [Текст]: Издание второе, переработанное и дополненное Ковригин С.Д., Крышов С.И. – М.: Высшая школа, 1986. – 256 с.
2. Эйхлер Ф. Борьба с шумом и звукоизоляция зданий [Текст]: [пер. с нем.]/Ф. Эйхлер. – М.:1962. – 312 с.
3. Скарин Л. Б. Справочник по контролю промышленных шумов [Текст]: Пер. с англ./Пер. Л. Б. Скарин, Н. И. Шабанова; Под ред. д-ра техн. наук проф. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1979. – 447 с.
4. ГОСТ 26417-85 Материалы звукопоглощающие строительные Метод испытаний в малой реверберационной камере [Текст] - М.: Издательство стандартов, 1985. – 17с.
5. ГОСТ 27296-87 Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения [Текст] - М.: Издательство стандартов, 1987. – 15с.
6. ГОСТ 12090—80. Частоты для акустических измерений. [Текст] – М.: Издательство стандартов, 1980. – 27с.
7. СТ СЭВ 1929—79 Шум. Метод измерения звукопоглощения в реверберационной камере.
8. Звукоизоляция ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с использованием новейших звукоизоляционных материалов (доклад на семинаре). А. Я. Лившиц, А. Г. Боганик.
9. Боголепов И. И. Архитектурная акустика [Текст]: Санкт – Петербург 2001 год.
- 10.Иванов Н.И. Основы виброакустики [Текст]: Учебник для вузов – А.С. Никифоров, СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.: ил.
- 11.Боголепов И. И. Промышленная звукоизоляция. – Л.: Судостроение, 1986. – 368 с.

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ

Методические указания

Составитель *Иголкин Александр Алексеевич*
Родионов Леонид Валерьевич
Шахматов Евгений Владимирович

Компьютерная верстка Трусов А.Е., Сафина А.Р., Лысенкова Н.Ю.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. Академика С.П. Королева
443086, Московское шоссе, 34.