

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
Московский ордена Трудового Красного Знамени
электротехнический институт связи

Лабораторная работа № 7-А

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ
МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН

Редакционно-издательский отдел ВЭИС
Москва 1980

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с методикой измерения коэффициента поглощения звукопоглощающих материалов с помощью стоячих волн.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Коэффициент поглощения звука является важнейшей характеристикой различных строительных и специальных звукопоглощающих материалов, знание которой совершенно необходимо при акустическом расчете помещений.

Коэффициентом поглощения звука α называется отношение звуковой энергии, поглощенной данным звукопоглощающим материалом, к звуковой энергии, падающей на его поверхность.

Существует несколько методов измерения коэффициента поглощения материалов; наиболее простым и точным является метод стоячих волн. Исследование звукопоглощающих материалов этим методом производится в измерительной трубе, на одном конце которой помещают исследуемый материал, а на другом — источник звука, частота которого может изменяться в необходимых пределах.

Диаметр трубы выбирается так, чтобы в ней могли распространяться лишь плоские волны (практически для этого достаточно выполнить условие $\lambda_g \geq 1,7D$, где λ_g — длина волны звука для наивысшей применяемой частоты, а D — диаметр трубы). Благодаря частичному отражению звука от исследуемого материала в трубе распространяются в противоположных направлениях две плоские звуковые волны — падающая и отраженная, в результате чего образуются стоячая и бегущая волн. Результирующее давление в каждой точке трубы складывается из давления в падающей волне и давления в отраженной волне.

Если пренебречь затуханием звука в воздухе, то результирующее давление на расстоянии x от источника может быть рассчитано с помощью формулы:

$$p(x, t) = \rho_m e^{j(\omega t - \frac{\omega}{c} x)} + \rho_m e^{j(\omega t + \frac{\omega}{c} x + \varphi)}$$

- где ρ_m - амплитуда давления в падающей волне,
 τ - модуль коэффициента отражения (по давлению) исследуемого материала;
 ω - круговая частота;
 c - скорость звука в трубе;
 φ - сдвиг фазы между падающей и отраженными волнами в точке $x = 0$.

Результирующее давление будет достигать максимальной величины в тех точках (пучностях), где фазы падающей и отраженной волн совпадают или отличаются на четное число \mathcal{K} , т.е., где

$$\left[\frac{\omega}{c} x + \varphi \right] - \left[- \frac{\omega}{c} x \right] = 2n\mathcal{K}; \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Амплитуда давления в пучности равна

$$\rho_{\max} = \rho_m (1 + \tau).$$

Результирующее давление будет минимально в тех точках (узлах), где фазы падающей и отраженной волн противоположны, т.е. отличаются на нечетное число \mathcal{K} :

$$\left[\frac{\omega}{c} x + \varphi \right] - \left[- \frac{\omega}{c} x \right] = (2n+1)\mathcal{K}; \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Амплитуда в узле равна

$$\rho_{\min} = \rho_m (1 - \tau).$$

Отношение давления в пучности к давлению в узле равно

$$K = \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} = \frac{1 + \tau}{1 - \tau}.$$

Величина κ , которая определяется непосредственно из экспериментальных данных, позволяет вычислить коэффициент звукопоглощения α .

Отношение энергии отраженной звуковой волны к энергии падающей звуковой волны равно z^2 , так как энергия пропорциональна квадрату амплитуды звукового давления. Но энергия падающей звуковой волны равна сумме энергии отраженной звуковой волны и поглощенной звуковой энергии. Поэтому справедливо равенство:

$$\alpha = 1 - z^2.$$

Из предыдущего равенства следует, что:

$$z = \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}.$$

Подставляя это значение z , получаем окончательное выражение:

$$\alpha = \frac{4\kappa}{(\kappa + 1)^2}.$$

При исследовании звукопоглощающих материалов методом стоячих волн необходимо обеспечить внутри трубы неискаженное звуковое поле, так как в противном случае будет изменено распределение давлений в трубе. Последнее вызовет существенные погрешности при определении величины α .

Одним из источников искажений звукового поля является сама труба, которая представляет собой колебательную систему с распределенными параметрами и обладает целым спектром собственных частот колебаний. Может случиться, что применяемая для измерений частота или какой-нибудь ее обертона совпадет с одной из собственных частот трубы. В этом случае стенки трубы будут совершать колебания с большой амплитудой и заметно искажать звуковое поле внутри трубы. Устранить эти помехи можно двумя способами: либо задемпфировать стенки трубы, подавив ее резонансные колебания, либо сделать трубу достаточно жесткой, чтобы собственные резонансные частоты лежали вне рабочего диапазона.

В описываемой установке применена массивная стеклянная труба длиной $l = 1200$ мм, диаметром $D = 80$ мм; толщина стенок $\delta = 6$ мм.

В соответствии с приведенным выше критерием верхняя граница рабочего диапазона частот равна

$$f_B = \frac{c}{\lambda_B} < \frac{c}{1,7D} = 2500, \text{ Гц} .$$

Нижняя граница определяется из условия, что в трубе укладывается хотя бы половина длины волны. Только в этом случае при любом акустическом сопротивлении звукопоглотителя можно будет обнаружить стоячую волну. Отсюда нижняя граница рабочего диапазона равна

$$f_H > \frac{c}{2l} = 142, \text{ Гц} .$$

Другим источником искажений звукового поля может явиться микрофон, с помощью которого исследовалось звуковое поле. Если его размеры не достаточно малы, то он будет рассеивать заметную часть энергии и таким образом исказить звуковое поле.

Еще одной причиной возможных ошибок измерения являются нелинейные искажения у источника звука, которые вызывают появление внутри трубы звуковых полей обертонов. Для того, чтобы исключить их появление, измерения должны производиться на синусоидальном сигнале. Поэтому в качестве источника звука должен быть использован мощный громкоговоритель, работающий в заведомо линейном режиме.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Устройство установки представлено на рис. I. Стекло́нная труба Т закреплена горизонтально на двух подставках П. Эти подставки жестко закреплены на лабораторном столе, благодаря чему труба не может смещаться. На правом конце трубы находится громкоговоритель Гр типа БГД-6, обратная сторона которого изолирована от окружающей среды жестким колпаком. Слева в трубу вдвигается отражатель О в виде массивного диска с уплотнением из фетра. На отражателе может быть закреплен образец звукопоглощающего материала ЭП.

Внутри трубы имеется плоская катушка К1, свободно перемещающаяся вдоль трубы. Для уменьшения трения в качестве роликов использованы миниатюрные шарикоподшипники Р. В центре катушки на

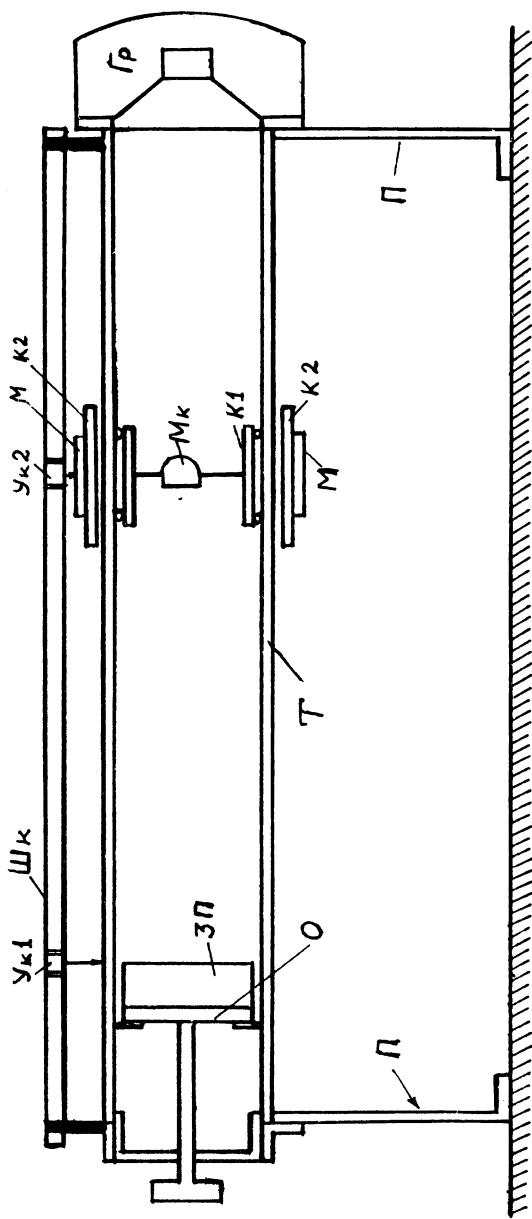


Рис. I

растяжках закреплен небольшой микрофон Мк типа ДЭМШ. Для того чтобы он работал в качестве приемника давления, одна сторона его закрыта. Выводы микрофона подключены к обмотке катушки К1. На трубу с относительно свободной посадкой надета катушка К2. Помимо обмотки, обеспечивающей индуктивную связь с обмоткой катушки К1, на К2 закреплена система сильных постоянных магнитов М. Благодаря создаваемому ими магнитному полю катушка К1 и вместе с ней микрофон удерживаются в центре катушки К2.

Над трубой закреплена шкала Шк с делениями через 0,5 см. На катушке К2 закреплён указатель Ук1, который при перемещении катушки скользит по шкале и позволяет определять положение Мк. Кроме того, имеется второй указатель Ук2, который можно перемещать по шкале. Его устанавливают таким образом, чтобы стрелка, скользящая по поверхности стеклянного цилиндра, совпадала с наружным краем звукопоглотителя. Расстояние между микрофоном Мк и поверхностью звукопоглотителя ЗП равно разности отсчетов, произведенных по обоим указателям.

К обмотке катушки К2 присоединен гибкий кабель, с помощью которого она подключается ко входу измерительного прибора. Показания этого прибора пропорциональны звуковому давлению в трубе.

СХЕМА УСТАНОВКИ

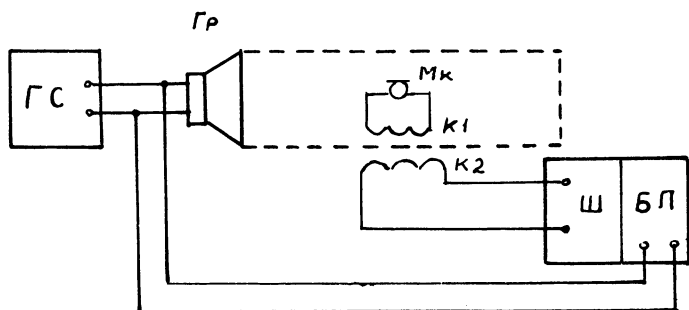


Рис. 2

На рис. 2 изображена схема измерительной установки. Источником измерительного сигнала служит генератор ГС. Его выход подключен к закрепленному на трубе громкоговорителю Гр.

Измерительный микрофон Мк подключен к находящейся внутри трубы катушке К1. Индуктивно связанная с ней катушка К2 присоединена к измерителю звукового давления Ш соединительным кабелем Ск. В качестве этого измерителя используется шумомер типа Ш-7Г. Так как шумомер рассчитан на питание от батарей, то для обеспечения длительной работы был изготовлен блок питания Бп, размещаемый в отсеке источников питания Ш-7Г. Блок питания подключается не к электросети, а к выходу ГС. Поэтому блок питания, являющийся стабилизированным выпрямителем, мог быть выполнен с упрощенным фильтром. Так как на Бп необходимо подавать напряжение не менее 20 В, то используется генератор типа ЗГ-18, обладающий достаточной выходной мощностью.

Нижняя частота измерительного сигнала, равная 300 Гц, в шесть раз выше частоты электросети, что позволяет уменьшить емкость конденсаторов фильтров и обойтись без силового трансформатора. Катушки К1 и К2 не имеют магнитных экранов и поэтому на них наводятся помехи от переменных магнитных полей. В основном это помехи частотой 50 и 100 Гц. Для подавления этих помех при измерении шумомер должен быть переключен на шкалу "А". При этом уровень звукового давления измеряется в дБА.

В связи с тем, что микрофон шумомера имеет большие габариты и не может быть установлен в трубе, он был заменен малогабаритным микрофоном типа ДЭМШ, чувствительность которого существенно зависит от частоты.

Дополнительные частотные искажения вносятся за счет индуктивной связи при малом коэффициенте связи. Поэтому для определения абсолютной величины звукового давления потребовалось бы вносить поправки, учитывающие оба эти фактора. Однако, поскольку коэффициент звукопоглощения определяется не абсолютными значениями звукового давления, а отношением давления в пучностях (ρ_{\max}) и узлах (ρ_{\min}), достаточно определить величину K по формуле:

$$K = \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} = 10^{0,05(L_{\max} - L_{\min})}$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А. Подготовка к измерениям.

1. Получить задание у преподавателя и ознакомиться с установкой.

2. Получить у лаборанта образцы поглотителей.

3. Включить питание измерительной аппаратуры, выключив предварительно громкоговоритель; проверить правильность включения аппаратуры. Для этого после предварительного прогрева аппаратуры в течение 5 мин, проверить установку генератора ЗГ-18 на нуль. В исходном положении переключатель шкалы прибора генератора должен быть установлен на 30 В. Переключатели выхода генератора должны быть установлены на 30 В и 150 Ом. Тумблер внутренней нагрузки в положении Выкл. Тумблер проверки частоты генератора должен стоять в положении нуль. Для проверки настройки генератора поставить ручку расстройки на деление нуль. Установить регулятор выходного напряжения примерно в среднее положение. Вращением ручки "установка нуля" добиться нулевых показаний по вольтметру.

4. Установить образец на отражатель. Совместить положение указателя УК2 с поверхностью поглотителя.

5. Настроить генератор на требуемую частоту. Включить громкоговоритель и регулятором выхода генератора установить напряжение 25-30 В.

П р и м е ч а н и е . Частоты, на которых проводятся измерения, должны указываться преподавателем.

6. Включить шумомер и проверить его работу. Для этого на панели шумомера нажать кнопки "бат." и "Вкл.", а переключатель рода работы прибора поставить в положение "Проверка питания" ("Пр."). При этом стрелка прибора должна оказаться в пределах черного сектора, а неоновая лампочка должна мигать. После проверки шумомера его нужно переключить на режим "Измерение". Для этого на переключателе рода работы нужно включить кнопки "А" и "Вкл.". Для измерения звуковых давлений первоначально должна быть включена шкала 100 дБ, для чего должны быть нажаты кнопки "60" и "+40". Показания прибора определяют как сумму значений, обозначенных на

нажатых кнопках шумомера и показаний стрелочного прибора.

Б. Выполнение измерений.

1. Плавно перемещая микрофон, определить положение, соответствующее ближайшей к звукопоглотителю пучности. Зафиксировать показания прибора и указателя Ук1. При последующих измерениях на данной частоте ручку установки выходного напряжения генератора не вращать.

2. Плавно перемещая микрофон, определить положение соседних узлов и пучностей. Зафиксировать показания прибора в найденных точках, а также в промежуточных точках (в трех точках между соседними узлом и пучностью). Если число пучностей велико, то следует ограничиться тремя пучностями и двумя узлами.

П р и м е ч а н и е . Нельзя резко изменять положение катушки и резко останавливать наружную катушку, так как внутренняя катушка с микрофоном обладают большой инерцией и могут выскользнуть из магнитного поля постоянных магнитов внешней катушки.

3. Изменить частоту сигнала и повторить измерения в порядке, указанном в п. 1 и 2.

4. То же повторить на всех остальных частотах.

5. Полученные результаты показать преподавателю.

В. Обработка полученных результатов.

1. Результаты измерений и расчетов целесообразно записывать в виде таблицы по следующей форме.

Образец	Частота, Гц	Показ. Ук1, см	Показ. Ук2, см	Разность отсч. по Ук1 и Ук2	Показ. шумомера, дБА

2. По полученным результатам построить графики изменения звукового давления вдоль трубы и для каждой частоты определить среднее значение звукового давления в узлах и пучностях.

3. Рассчитать значение коэффициента поглощения α .

Расчет удобно производить по таблице следующей формы.

Образец	Частота, Гц	$L_{\text{макс}},$ дБА	$L_{\text{мин}},$ дБА	κ	$(\kappa+1)^2$	4κ	$L = \frac{4\kappa}{(\kappa+1)^2}$

4. Построить график зависимости коэффициента звукопоглощения от частоты.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание и схему измерительной установки.
2. Описание измеренных образцов звукопоглотителей.
3. Результаты измерений и расчетов в виде таблиц и графиков.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое коэффициент звукопоглощения?
2. Что такое коэффициент отражения и как он связан с коэффициентом поглощения?
3. Как связан частотный диапазон с размерами трубы?
4. Какой вид имеет распределение давления вдоль трубы?
5. Причины поглощения звука пористыми материалами.
6. Какой характер имеет звукопоглощение перфорированной конструкции?
7. Как связаны между собой коэффициент поглощения и акустическое сопротивление поглотителя?
8. Как влияют размеры микрофона на точность измерений? На каких частотах точность измерений снижается?
9. Из каких соображений следует выбирать интенсивность сигнала внутри трубы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожков М.А. Электроакустика. М., "Связь", 1979.
2. Фурдуев В.В. Акустические основы вещания. М., Связьиздат, 1960.

Лабораторная работа № 7-А

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ
МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН

Составители: Л.З. Папернов, Н.Т. Молодая

Редактор Г.Д. Сазыкина

Корректор Р.К. Бабанина

Подписано к печати 12.02.1981 , п.л. 0,7 , тир. 600,
зак. 819 , изд. № 110. Бесплатно.

Московская типография № 9 Связьполиграфпрома. Москва.
Волочаевская ул., д.40.