

# УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ

Для оценки звукоизоляции различных объектов широко используется метод двух смежных реверберационных камер. В ЗАО "Руднев-Шиляев" разработан измерительный комплекс на базе ПК, который управляет процессом измерения звукоизоляции испытуемых конструкций.

Шум и механические колебания в повседневной жизни присутствуют всегда. Вызываются они как природными явлениями, так и производственной деятельностью человека. Их последствия самые различные – от раздражения и дискомфорта до возникновения угрозы здоровью. Для обеспечения комфортных условий профессиональной деятельности и проживания необходимо еще на стадии проектирования зданий и сооружений знать акустические свойства применяемых материалов и конструкций.

Методы оценки акустических свойств конструкций известны, стандартизированы и широко применяются. Так, для оценки звукоизоляции оконных и дверных блоков различных зданий широко используется лабораторный метод двух смежных реверберационных камер. Испытуемую конструкцию (ИК) размещают в проеме между реверберационными камерами (рис. 1). Одна из этих камер – камера высокого уровня (КВУ) – содержит излучатели звука (И1, И2). Вторая называется камерой низкого уровня (КНУ). В обеих камерах установлены измерительные микрофоны (М1–М10). Одно из основных требований при измерении звукоизоляции – исключение обходных путей распространения колебаний из КВУ в КНУ, минуя испытуемую конструкцию. Другим требованием является обеспечение диффузности звуковых полей камер.

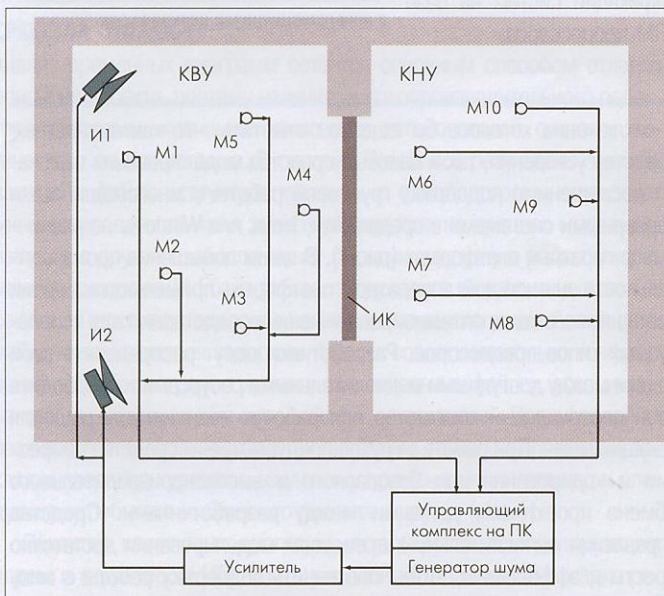
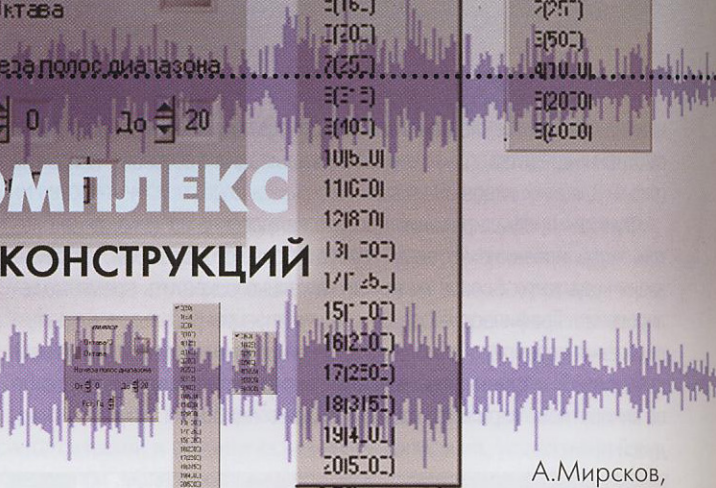


Рис. 1. Блок-схема для метода смежных реверберационных камер



А.Мирсков,  
С.Шиляев  
www.rudshel.ru

Если испытуемая конструкция размещена в проеме стены, разделяющей две смежные камеры, в которых звуковое поле диффузно, то звукоизоляция конструкции  $R_m$  определяется по выражению

$$R_m = L_1 - L_2 + dR_m \quad (1)$$

где  $L_1, L_2$  – усредненные по пространству и времени уровни квадратов звуковых давлений в передающей и приемной камерах, соответственно, т.е.

$$L_i = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{i1}^2 + P_{i2}^2 + \dots + P_{in}^2}{n \cdot P_0^2} \right) \quad (2)$$

где  $P_{i1}^2, P_{i2}^2 \dots P_{in}^2$  – средние по времени квадраты звуковых давлений в  $n$  точках поля камеры,  $P_0$  – пороговый уровень звукового давления,  $n$  – число измерительных микрофонов в каждой камере.

Параметр  $dR_m$  определяется по формуле

$$dR_m = 10 \cdot \lg(S/A_2) \quad (3)$$

где  $S$  – площадь поверхности испытуемого образца, а  $A_2$  – эквивалентная площадь звукопоглощения камеры низкого уровня, которая вычисляется по формуле

$$A_2 = 0,16V/T_m \quad (4)$$

где  $V$  – объем камеры низкого уровня,  $T_m$  – время реверберации.

При очевидной простоте выражений (1)–(4) реализация метода предъявляет достаточно жесткие требования к измерительной и задающей аппаратуре, числу измерительных каналов, мгновенному динамическому диапазону измерений, быстродействию, межканальным прониканиям. Задающий генератор-формирователь сигнала должен обеспечивать формирование шума в заданной полосе частот с высоким подавлением вне полосы, так как исходными данными для оценки звукоизоляции конструкции являются результаты измерений в октавных или в одну треть октавных полосах частот.

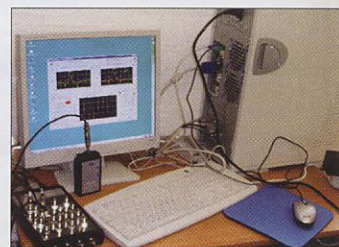


Рис. 2. Общий вид управляющего комплекса

Указанные требования к аппаратуре реализованы фирмой ЗАО "Руднев-Шиляев" в виде "Управляющего комплекса для оценки звукоизоляции конструкций методом смежных реверберационных

камер", который построен на базе ПК (рис.2). В свободные слоты компьютера установлены специализированные платы АЦП и ЦАП. Программная оболочка настроена на решение конкретной задачи – формировать режимы акустического нагружения испытуемого объекта, управления сбором и цифровой обработкой сигналов измерительных микрофонов в соответствии с заданным алгоритмом.

Измерительный комплекс снабжен внешней коммутационной коробкой с разъемом CP-50 для подключения 16 измерительных микрофонов с ИСР-питанием. Коробка имеет также четыре параллельных выхода генератора-формирователя сигнала шума. Включение-отключение ИСР-питания измерительных микрофонов и фильтров ВЧ на каждый из 16 каналов обеспечивается по цифровому порту платы АЦП непосредственно из программной оболочки (рис.3).

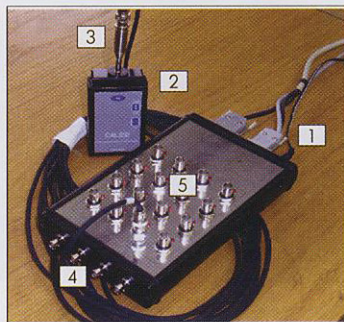
Комплекс обеспечивает управление процессом измерения звукоизоляции испытуемых конструкций и проводит следующие этапы измерений:

- калибровку измерительных каналов от внешнего источника сигнала;
- измерение времени реверберации в октавных и треть октавных полосах частот;
- измерение изоляции воздушного шума конструкции в октавных и треть октавных полосах частот;
- оценку звукоизоляции окна с учетом скорректированных уровней эталонного шума потока городского транспорта, рекомендуемых ГОСТ 26602.3-99;
- формирование и печать протокола измерений звукоизоляции.

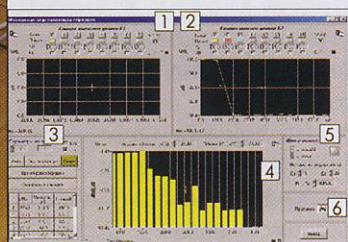
Измерительный комплекс имеет следующие основные технические характеристики (см. таблицу).

Блок сбора данных	
Входное сопротивление	100 МОм/12 нФ
Диапазоны входных напряжений, В	10; 5; 2,5; 1; 0,5; 0,25; 0,1; 0,05
Максимальная частота квантования, кГц	409,6
Динамический диапазон, дБ	120
Пульсация в полосе пропускания, дБ	0,3
Перекрестный шум, дБ	-71
Межканальные искажения по модулю, дБ по фазе, °	0,1 < 0,3
ИСР-питание на каждый канал (программное управление включением-отключением)	
	24 В, 4 мА
Задающий генератор шума	
Шум в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц	63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000
Шум в треть октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц	50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000
Действующее значение напряжения выхода в заданной полосе, В	0–2,1

При загрузке программного продукта на экране монитора появляется изображение основной панели управления виртуального прибора, где расположены управляющие элементы: кнопки управления, индикаторы, поля ввода данных, а также экраны для наблюдения за процессом измерений и изображения результатов.



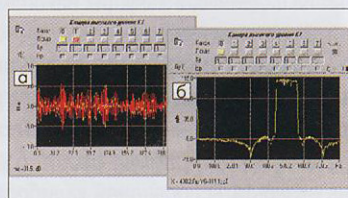
**Рис.3. Коммутационная коробка БК-16/СР:** 1 – кабели подключения к ПК; 2 – пистонфон; 3 – измерительный микрофон с ИСР-питанием; 4 – выходы генератора-формирователя сигналов; 5 – ВНС-разъемы для подключения измерительных микрофонов с ИСР-питанием



**Рис.4. Поля управления измерительного комплекса:** 1, 2 – поля установок измерений в камерах; 3 – поле выбора режима измерений; 4 – поле изображения результатов измерений; 5 – поле управления задающим генератором; 6 – экспорт данных в Excel для составления протокола измерений

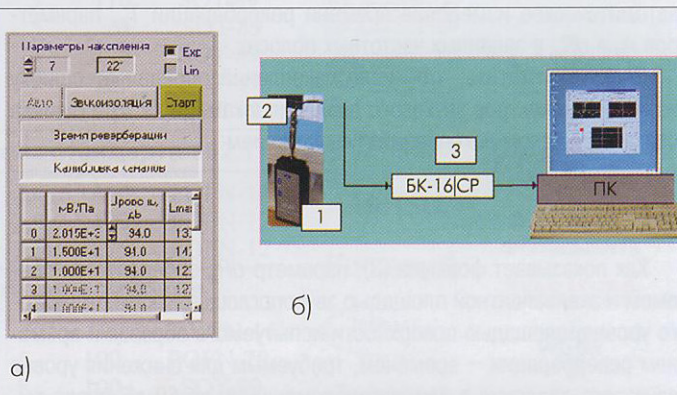
Управляющие элементы объединены в поля по принадлежности к типу задачи управления. Таких полей несколько (рис.4). Для изображения измеряемых характеристик предусмотрены три экрана. Каждый экран анализатора снабжен указателями-курсорами для слежения за изображаемой информацией.

**Поля установок измерений.** Элементы управления полей установок измерений в камерах высокого (К1) и низкого (К2) уровней обеспечивают выбор измерительных каналов (кнопки), управляют изображением характеристик сигналов. Пользователь может выбрать режим просмотра спектральных характеристик сигнала, развития сигнала во времени или спектральной характеристики, усредненной по пространству камер. Все это поможет правильно определить места установки микрофонов в измерительных камерах (рис.5). Основной курсор позволяет отследить координаты изображаемых на экране характеристик одновременно по всем каналам, а информация, представленная на экране, может быть передана через системный буфер обмена дру-



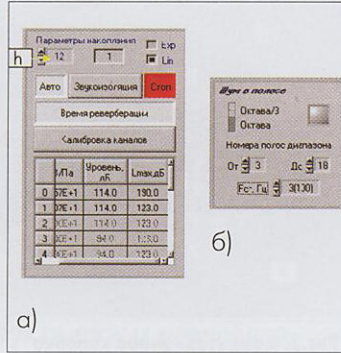
**Рис.5. Изображение сигналов измерительных микрофонов:** а) в функции времени; б) в частотной области, характер сигнала – шум в третьей октавной полосе 500 Гц

**Поле управления задающим генератором.** Генератор построен на плате цифроаналогового преобразования ГСПФ-052.



**Рис.6. Установки поля управления:** а) "режим"; б) блок-схема калибровки измерительного канала: 1 – пистонфон; 2 – измерительный микрофон; 3 – блок коммутации комплекса

В основу алгоритма формирования шума в заданной октавной или треть октавной полосе положено обратное преобразование Хартли. Элементы управления генератором полосового шума обеспечивают выбор характера полосового шума – "Октава/3", "Октава"; включение-отключение генератора; выбор диапазона полос анализа; выбор полосы и соответствующей ей среднегеометрической частоты.



**Рис.7. Управление режимом измерения времени реверберации и параметра  $dR_m$ :** а) установки в поле выбора режима измерений; б) установки элементов управления задающего генератора

**Поле выбора режима измерений.** В этом поле (рис.6а) расположены элементы управления, обеспечивающие выбор режима измерений, параметров измерений, а также кнопка "Старт", управляющая запуском процесса измерений.

Для калибровки измерительного тракта к калибруемому измерительному микрофону подсоединяется пистонфон (рис.6б), а в поле выбора режима измерений активируется режим "Калибровка каналов". В "Параметрах накопления" выбирается линейное накопление Lin. и задается число накоплений в диапазоне 3–7, а в таблице калибровки, в столбце "Уровень, дБ", выставляется уровень сигнала калибратора, например 94 дБ (строка "0"). Включается пистонфон, и нажимается клавиша "Старт". Процесс калибровки измерительного тракта запущен, о чем должно свидетельствовать изменение числа в ячейке "мВ/Па". При равенстве числа заданных и текущих накоплений процесс калибровки закончится автоматически.

Следует отметить, что результаты калибровки измерительного тракта – чувствительность тракта в мВ/Па – сохраняются в памяти ПК до проведения следующей калибровки. Выключение ПК, перезагрузка программы, работа с другим приложением не влияют на результаты последней калибровки.

**Измерение времени реверберации и параметра  $dR_m$ .** Для измерения времени реверберации следует настроить задающий генератор, для чего необходимо указать параметры шума – октавный или треть октавный, задать номера полос диапазона, в которых предстоит провести измерения (рис.7). В поле выбора режима измерений необходимо нажать клавишу "Время реверберации". Затем следует задать число накоплений, включить клавишу "Авто" и запустить процесс измерения. Программа обеспечит автоматическое измерение времени реверберации  $T_m$ , параметров  $A_2$  и  $dR_m$  в заданных частотных полосах.

Следует отметить, что число накоплений определяет ошибку измерения спектров звукового давления в камере K2. Эта ошибка связана с числом накоплений  $h$  выражением:

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{h}}$$

Как показывает формула (3), параметр  $dR_m$  определяется объемом и эквивалентной площадью звукопоглощения камеры низкого уровня, площадью поверхности испытываемого образца и временем реверберации – временем, требуемым для снижения уровня звукового давления в замкнутом помещении на 60 дБ после выключения источника звука.

Для определения времени реверберации в заданной полосе реализован следующий алгоритм измерений:

- измерение усредненной по пространству энергии собственного шума камеры K2 в заданной полосе частот – дисперсии собственного шума  $D_0$ ;
- закачивание в камеру K2 звуковой энергии от генератора шума, измерение усредненного по пространству, установившегося уровня звуковой энергии в камере K2 – дисперсии шума  $D_1$ ;
- после выключения генератора шума измерение кривой спада дисперсии шума  $D_1$  в камере K2 до уровня  $D_0$ .

Время реверберации  $T_m$  определяется по кривой спада дисперсии шума согласно выражению  $T_m = 60 \cdot \frac{\Delta T}{\Delta L}$ , где  $\Delta T$  – время

(в секундах) спада дисперсии шума с уровня  $D_1$  до уровня  $D_0$ ,

$$\Delta L = 10 \cdot \lg\left(\frac{D_1}{D_0}\right)$$

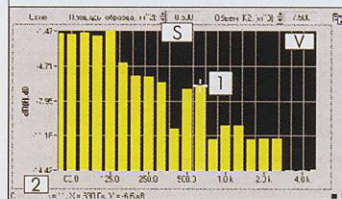
При работе комплекса в автоматическом режиме рассмотренный алгоритм повторяется для каждой заданной полосы измерений. На рис.8 приведены результаты измерений параметра  $dR_m$  на модели и отмечены поля для ввода параметров  $S$  и  $V$ , куда должны быть занесены соответствующие данные перед проведением измерений.

Параметры  $T_m$ ,  $A_2$  и  $dR_m$  автоматически заносятся в оперативную память и будут использованы при измерении звукоизоляции образца. Эти данные сохраняются и после выхода из программы в специальном файле. При повторном входе в программу файл восстановит их в оперативной памяти и обеспечит их использование при продолжении измерений.

**Измерение звукоизоляции образца.** Этот процесс следует начинать с установок задающего генератора, которые должны соответствовать установкам, использованным при проведении измерений времени реверберации  $T_m$  и параметра  $dR_m$ . На рис.9 показаны установки задающего генератора, поля выбора режима измерений и представлены результаты измерений звукоизоляции модели для стандартного ряда третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами от 100 до 3150 Гц.

Измерение звукоизоляции на каждой частотной полосе проводится в автоматическом режиме, т.е. включается генератор, измеряются усредненные по пространству и времени уровни квадратов звуковых давлений в камерах высокого (K1) и низкого (K2) уровней и вычисляется изоляция воздушного шума согласно выражению (1) для всего ряда заданных для измерения частот.

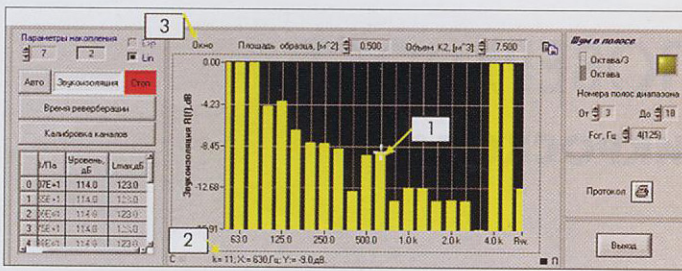
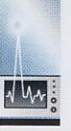
Результаты измерений звукоизоляции  $R_m(f)$  так же, как и параметры  $T_m$ ,  $A_2$  и  $dR_m$ , полученные при измерении времени реверберации, автоматически сохраняются в оперативной памяти ПК, а после выхода из программы – в специальном файле. При повторном включении программы этот файл загружается в оперативную



**Рис.8. Результаты измерений параметра  $dR_m$ :** S – поле ввода значений площади испытываемого образца; V – поле ввода объема камеры K2; 1 – следящий курсор; 2 – поле отображения координат курсора

память, и данные, полученные ранее, могут быть использованы при составлении протокола испытаний.

**Формирование протокола измерений и архива протоколов.** Результаты испытаний оформляются в виде протокола, где указано: наименование испытательного центра; юридический адрес организации – заказчика испытаний; маркировка и НД на объект ис-



**Рис.9. Результаты измерений звукоизоляции образца на модели:**  
**1** – следящий курсор; **2** – поле отображения координат следящего курсора; **3** – элемент управления, задающий тип объекта измерений (окно/дверь)

пытаний; техническая характеристика объекта испытаний; результаты измерений звукоизоляции  $R_m(f)$ , оформленные в виде таблицы. Кроме того, в протоколе должны быть также указаны дата проведения испытаний, руководитель лаборатории и испытатель.

Оформление протокола испытаний образца, с учетом рекомендаций ГОСТ 26602.3-99, реализуется с помощью приложения Excel, куда полученные в результате измерений данные передаются при активации управляющего элемента "Протокол". Пользователю останется указать в протоколе дату проведения измерений, фамилии ответственных лиц, эксклюзивную информацию, характеризующую условия измерений, и распечатать протокол непосредственно из приложения Excel.

Сохраненные данные могут быть использованы при повторном формировании протокола измерений, а также для анализа состояния испытательных камер и статистической обработки данных измерений однотипных конструкций. ○