

УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ СМЕЖНЫХ РЕВЕРБЕРАЦИОННЫХ КАМЕР

А. С. Мирсков, С. Н. Шиляев

Рассмотрена разработанная ЗАО "Руднев-Шиляев" управляющая система, обеспечивающая измерение звукоизоляции строительных конструкций методом смежных реверберационных камер в автоматизированном режиме с выдачей протокола испытаний.

Шум и механические колебания всегда присутствуют в повседневной жизни и могут быть вызваны как природными явлениями, так и производственной деятельностью человека. Следствия шума и механических колебаний самые различные: от раздражения и дискомфорта до возникновения опасности для здоровья. 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, например, для оценки звукоизоляции оконных и дверных блоков жилых, общественных, производственных и других зданий и сооружений широко используется лабораторный метод двух смежных реверберационных камер. Испытуемую конструкцию *ИК* размещают в проеме между реверберационными камерами (рис. 1). Одна из этих камер содержит излучатели звука *И1*, *И2* и называется камерой высокого уровня

КВУ, а другая — камерой низкого уровня *КНУ*. В камерах высокого и низкого уровня устанавливаются измерительные микрофоны *М1—М10*. Одно из основных требований при проведении измерения звукоизоляции — исключение обходных путей распространения колебаний из камеры высокого уровня в камеру низкого уровня, минуя испытуемую конструкцию. Другим требованием является обеспечение диффузности звуковых полей камер.

Если испытуемая конструкция размещена в проеме стены, разделяющей две смежные камеры, в которых звуковое поле диффузное, то звукоизоляция конструкции может быть определена согласно 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.

$$L_1 = 10 \lg \frac{p_{11}^2 + p_{12}^2 + \dots + p_{1n}^2}{n p_0^2}, \quad (2)$$

где p_{11}^2 , p_{12}^2 , ..., p_{1n}^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 из выражения

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

Здесь эквивалентная площадь звукопоглощения камеры низкого уровня A_2 вычисляется по формуле:

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

где V — объем камеры низкого уровня; T_m — время реверберации; S — площадь поверхности испытуемого образца.

При очевидной простоте выражений (1)–(4) реализация метода предъявляет достаточно жесткие требования к измерительной и задающей аппаратуре, числу измерительных каналов, мгновенному динамическому диапазону измерений, быстроте действия, межканальным проникновениям.

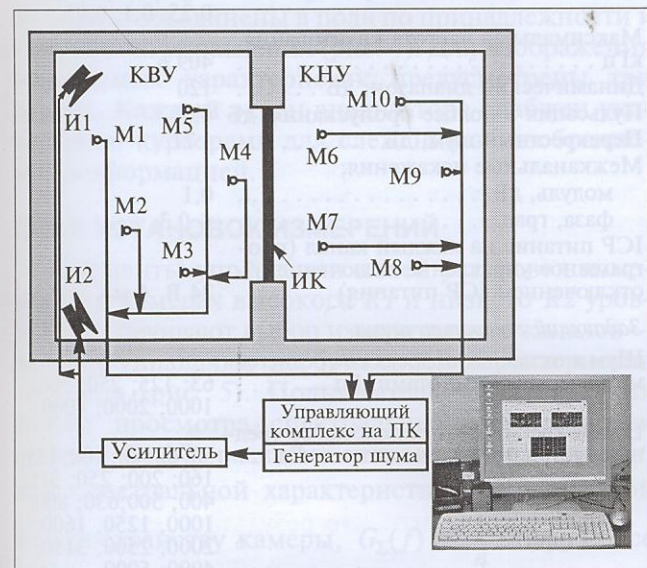


Рис. 1. Схема, поясняющая работу метода смежных реверберационных камер

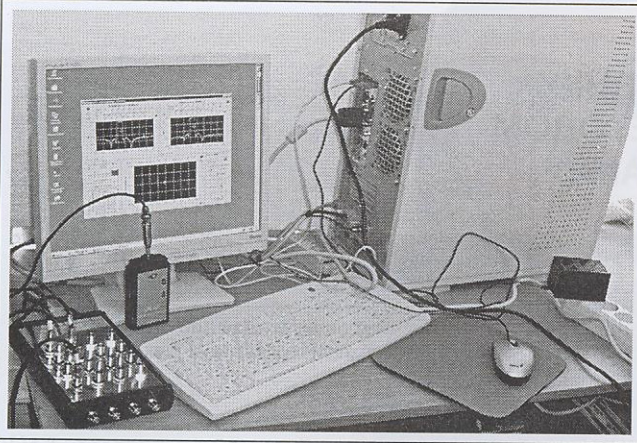


Рис. 2. Общий вид управляющего комплекса

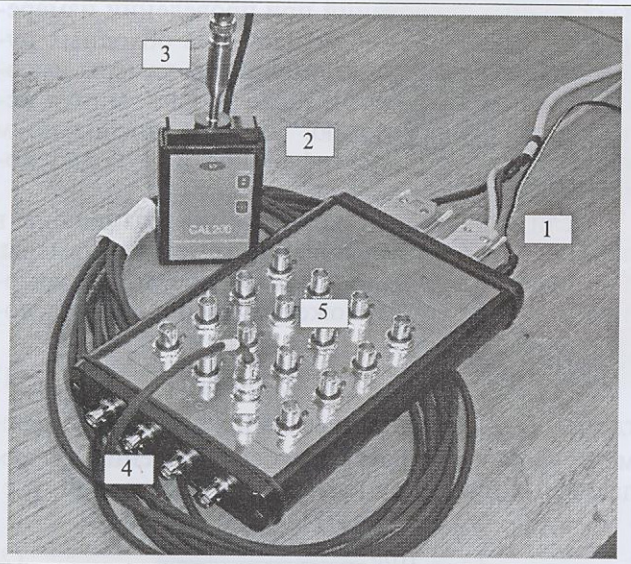


Рис. 3. Коммутационная коробка БК-16ICP:

1 — кабели подключения к ПК; 2 — пистонфон; 3 — измерительный микрофон с ICP питанием; 4 — выходы генератора-формирователя сигналов; 5 — BNC разъемы для подключения измерительных микрофонов с ICP питанием

Задающий генератор-формирователь сигнала должен обеспечивать возможность формирования шума в заданной полосе частот с высоким подавлением вне полосы, так как исходными данными для оценки звукоизоляции конструкции являются результаты измерений в октавных или одна треть-октавных полосах частот.

Указанные требования к аппаратуре реализованы фирмой “Руднев-Шиляев” в виде управляющего комплекса для оценки звукоизоляции конструкций методом смежных реверберационных камер, построенного на базе ПК (рис. 2).

В свободные слоты компьютера установлены специализированные платы аналого-цифрового (АЦП) и цифроаналогового (ЦАП) преобразования. Программная оболочка настроена на решение конкретной задачи — формирование режимов

акустического нагружения испытуемого объекта и управление сбором и цифровой обработкой сигналов измерительных микрофонов, расположенных в смежных реверберационных камерах, в соответствии с заданным алгоритмом.

Измерительный комплекс снабжен внешней коммутационной коробкой с разъемом СР-50 для подключения 16-ти измерительных микрофонов с ICP питанием. При этом коробка имеет четыре параллельных выхода генератора-формирователя сигнала шума (рис. 3). Включение/отключение ICP питания измерительных микрофонов и фильтров высоких частот на каждый из 16-ти каналов обеспечивается программно по цифровому порту платы АЦП непосредственно из программной оболочки.

Комплекс обеспечивает управление процессом измерения звукоизоляции испытуемых конструкций и включает в себя следующие этапы измерений:

- калибровку измерительных каналов от внешнего источника сигнала;
- измерение времени реверберации в октавных и третьоктавных полосах частот;
- измерение изоляции воздушного шума конструкции в октавных и третьоктавных 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.

Основные технические характеристики измерительного комплекса

Блок сбора данных

Входное сопротивление	100 МОм/12пФ
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:

модуль, дБ	0,1
фаза, град.	< 0,3

ICP питание на каждый канал (программное управление включением/отключением ICP питания)	24 В, 4 мА
---	------------

Задающий генератор шума

Шум в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц	63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000
---	-------------------------------------

Шум в третьоктавных 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 значения напряжения выхода в заданной полосе, В	0—2,1
---	-------

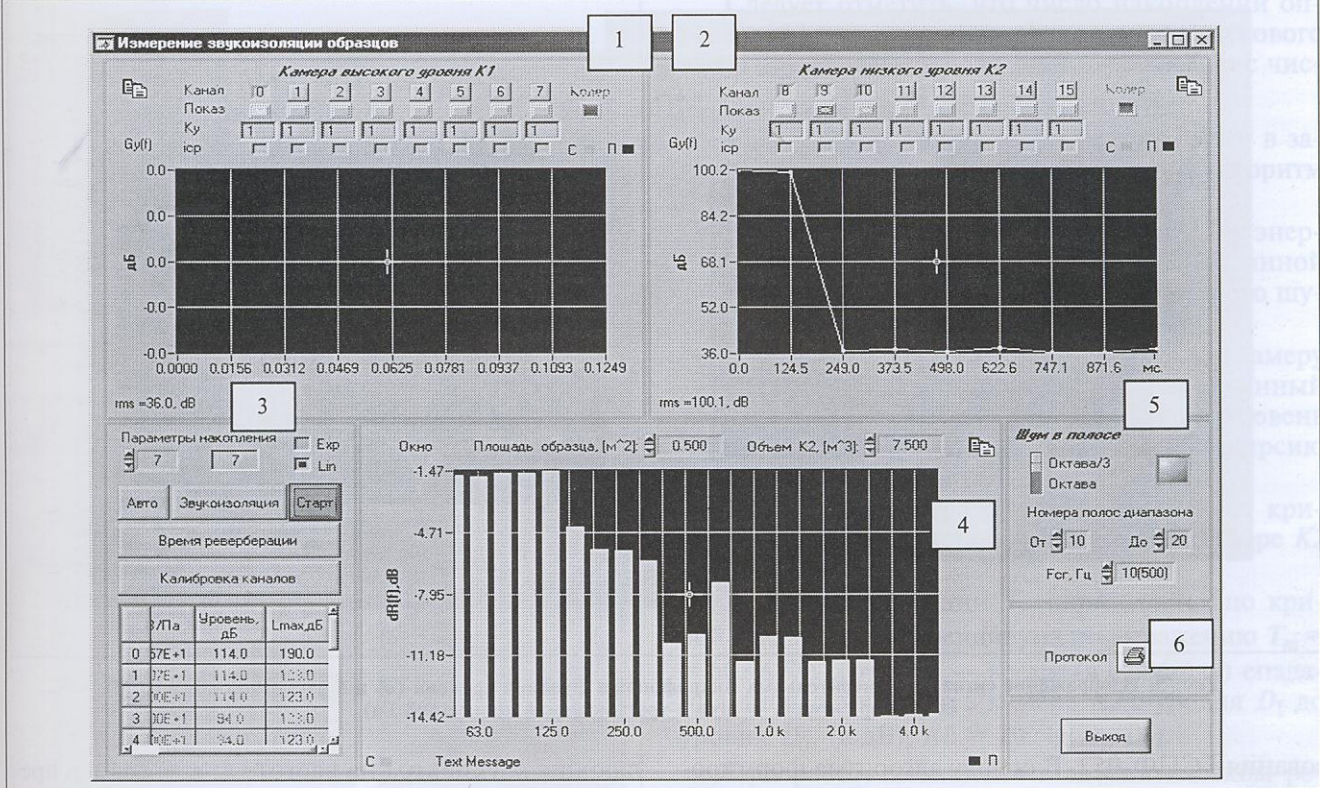


Рис. 4. Поля управления измерительного комплекса:

1, 2 — поля установок измерений в камерах высокого и низкого уровней; 3 — поле выбора режима измерений; 4 — поле изображения результатов измерений; 5 — поле управления задающим генератором; 6 — экспорт данных в "Excel" для составления протокола измерений

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. Управляющие элементы объединены в поля по принадлежности к типу задачи управления (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 $K1$ и низкого $K2$ уровней обеспечивают выбор измерительных каналов — кнопки управляют изображением характеристик сигналов (рис. 5). Пользователь может выбрать режим просмотра спектральных характеристик сигнала $G_{y_i}(f)$, развитие сигнала во времени $Y(t)$ или спектральной характеристики, усредненной по пространству камеры, $G_{\Sigma}(f) = \frac{1}{n} \sum G_{y_i}(f)$. Все это может быть полезно при выборе мест установки микрофонов в измерительных камерах.

Основной курсор дает возможность отследить координаты изображаемых на экране характеристик одновременно по всем каналам, а информация представленная на экране, может быть передана через системный буфер обмена другим приложениям.

ПОЛЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЮЩИМ ГЕНЕРАТОРОМ

На рис. 6 показаны элементы управления генератором полосового шума. Элемент 1 обеспечивает выбор характера полосового шума: "Октава/3", "Октава". Элемент 2 — осуществляет включение/отключение генератора. Для выбора диапазона полос служат переключатели 3, где можно задать нижнюю "От" и верхнюю "До" полосы анализа. Эти переключатели ограничивают диапазон полос анализа при работе системы в автоматическом режиме измерения. Переключатель 4 обеспечивает выбор полосы и соответствующей ей среднегеометрической частоты. При выборе переключателем 1 ширины полосы "Октава" изменится набор полос для выбора диапазона анализа и среднегеометрических частот.

Задающий генератор-формирователь комплекса построен на плате цифроаналогового преобра-

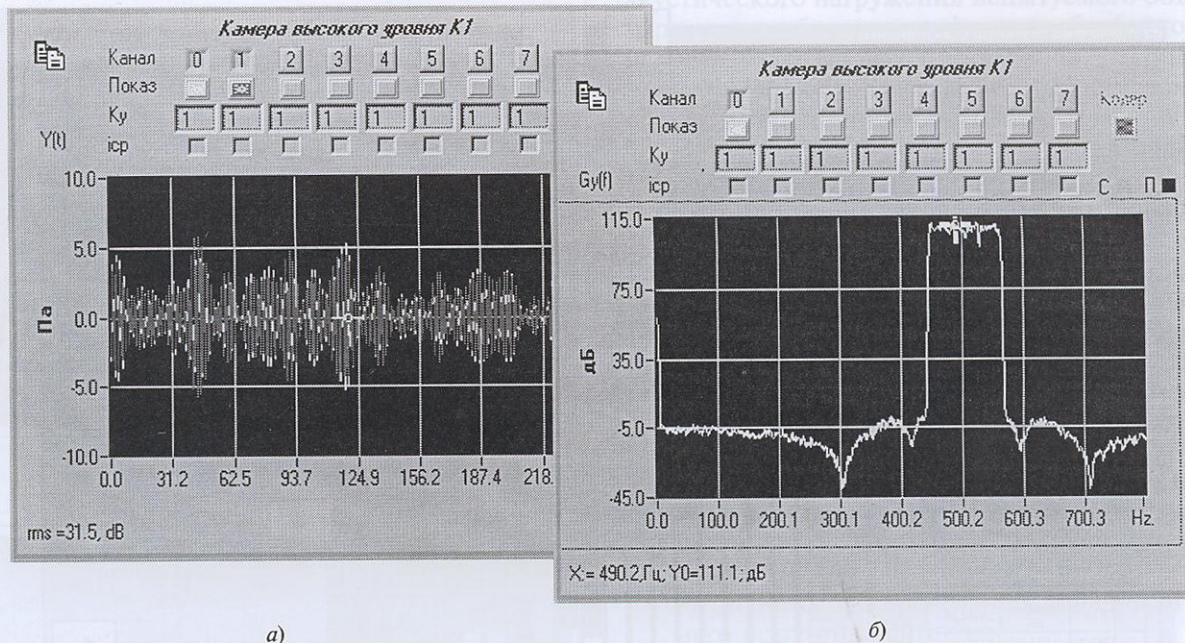


Рис. 5. Изображение сигналов измерительных микрофонов в функции времени (а) и в частотной области (б) (характер сигнала — шум в третьоктавной полосе 500 Гц)

зования ГСПФ-052. В основу алгоритма формирования шума в заданной октавной или третьоктавной полосе положено обратное преобразование Хартли:

$$x(i) = \sum_{k=0}^{n-1} W[k] \cdot X[k] \text{Cas}(2PI \cdot i \cdot k/n),$$

где $\text{Cas}(i) = \cos(i) + \sin(i)$; $W[k]$ — составляющие k th весовой функции на частоте k ; $X[k]$ — состав-

ляющие k th спектра на частоте k ; n — размер преобразования Хартли; $x(i)$ — мгновенные значения временной реализации.

ПОЛЕ ВЫБОРА РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЙ

В этом поле (рис. 7), расположены элементы управления, обеспечивающие выбор режима измерений, параметров измерений, а также кнопка “Старт”, управляющая запуском процесса измерений.

КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Для калибровки измерительного тракта пистонфон 1 подсоединяется к калибруемому измерительному микрофону 2. На панели управления комплекса в поле выбора режима измерений активируется режим “Калибровка каналов”. Затем 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 (рис. 7, а, строка “0”). Далее включением пистонфона и нажатием клавиши “Старт” на панели управления запускается процесс калибровки измерительного тракта.

При равенстве числа заданных и текущих накоплений процесс калибровки закончится автоматически.

Следует отметить, что результаты калибровки измерительного тракта (чувствительность тракта [мВ/Па]), сохраняются в памяти ПК до проведения следующей калибровки. Выключение ПК, перезаг-

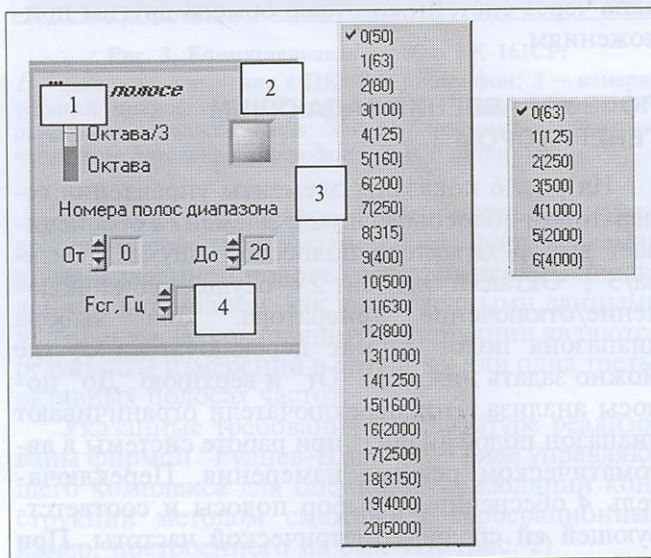


Рис. 6. Элементы управления генератором шума:

1 — переключатель ширины полосы шума; 2 — кнопка-индикатор включения/отключения генератора; 3 — выбор номеров полос измерений — диапазона измерений; 4 — выбор текущей полосы сигнала (среднегеометрической частоты)

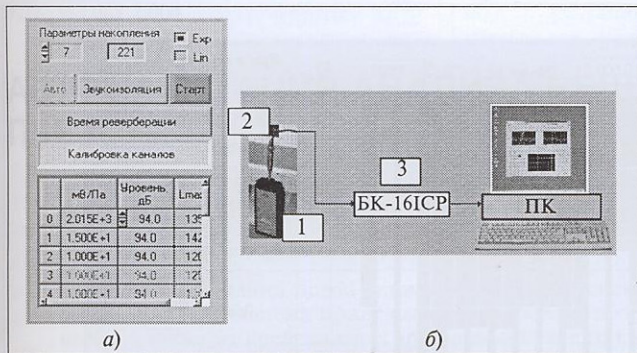


Рис. 7. Режим калибровки:

а — установка поля управления “режим”; б — схема калибровки измерительного канала: 1 — пистонфон; 2 — измерительный микрофон; 3 — блок коммутации комплекса

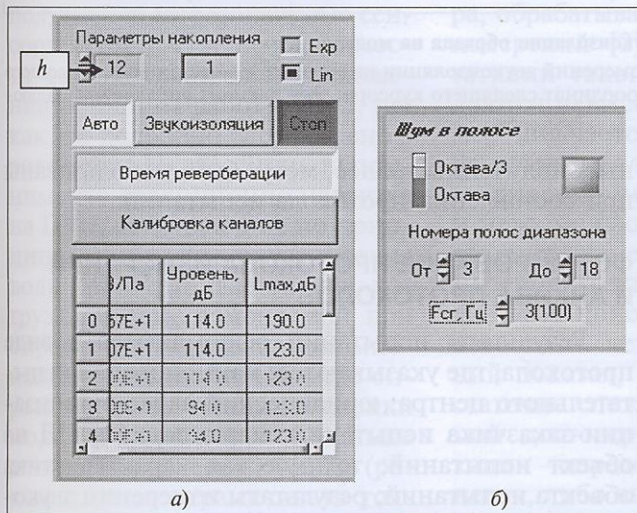


Рис. 8. Управление режимом измерения времени реверберации и параметра dR_m :

а — установки в поле выбора режима измерений; б — установки элементов управления задающего генератора

рузка программы, работа с другим приложением не влияют на результаты последней калибровки.

Измерение времени реверберации и параметра dR_m

Для измерения времени реверберации (времени, требуемого для снижения уровня звукового давления в замкнутом помещении на 60 дБ после выключения источника звука) следует настроить задающий генератор, т. е. указать параметры шума — октавный или третьоктавный, задать номера полос диапазона, в которых предстоит провести измерения (рис. 8, б).

В поле выбора режима измерений необходимо нажать клавишу “Время реверберации” (рис. 8, а). Затем задать число накоплений, включить клавишу “Авто” и клавишей “Старт” запустить процесс измерений.

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 ϵ измерений спектров звукового давления в камере K_2 . Эта ошибка связана с числом накоплений h выражением $\epsilon = 1/\sqrt{h}$.

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

- измеряют усредненную по пространству энергию собственного шума камеры K_2 в заданной полосе частот — дисперсию собственного шума D_0 ;
- после закачивания генератором шума в камеру K_2 звуковой энергии, измеряют усредненный по пространству, установившийся уровень звуковой энергии в камере K_2 — дисперсию шума D_1 ;
- выключают генератор шума и снимают кривую спада дисперсии шума D_1 в камере K_2 до уровня D_0 .

Время реверберации T_m определяется по кривой спада дисперсии шума по выражению $T_m = 60 \cdot \Delta T / \Delta L$, где ΔT — время (в секундах) спада дисперсии шума в камере K_2 с уровня D_1 до уровня D_0 , (в дБ); $\Delta L = 10 \cdot \lg(D_1/D_0)$.

При работе комплекса в автоматическом режиме указанный алгоритм повторяется для каждой заданной полосы измерений.

В уравнение (1) входит параметр dR_m , который определяется объемом и эквивалентной площадью звукопоглощения камеры низкого уровня, площадью поверхности испытуемого образца и временем реверберации.

На рис. 9 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

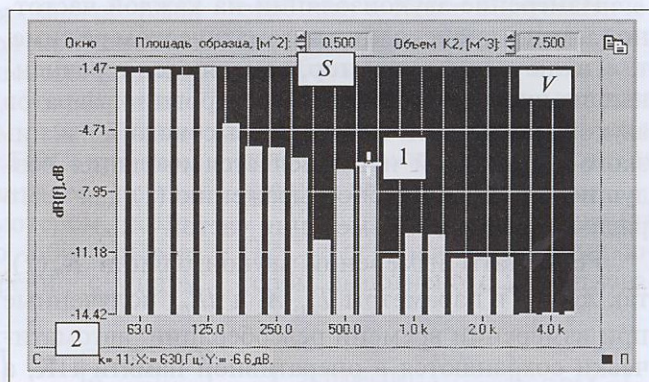


Рис. 9. Результаты измерений параметра dR_m :

S и V — поля ввода значений площади испытуемого образца и объема камеры K_2 , соответственно; 1 — следящий курсор; 2 — поле отображения координат курсора

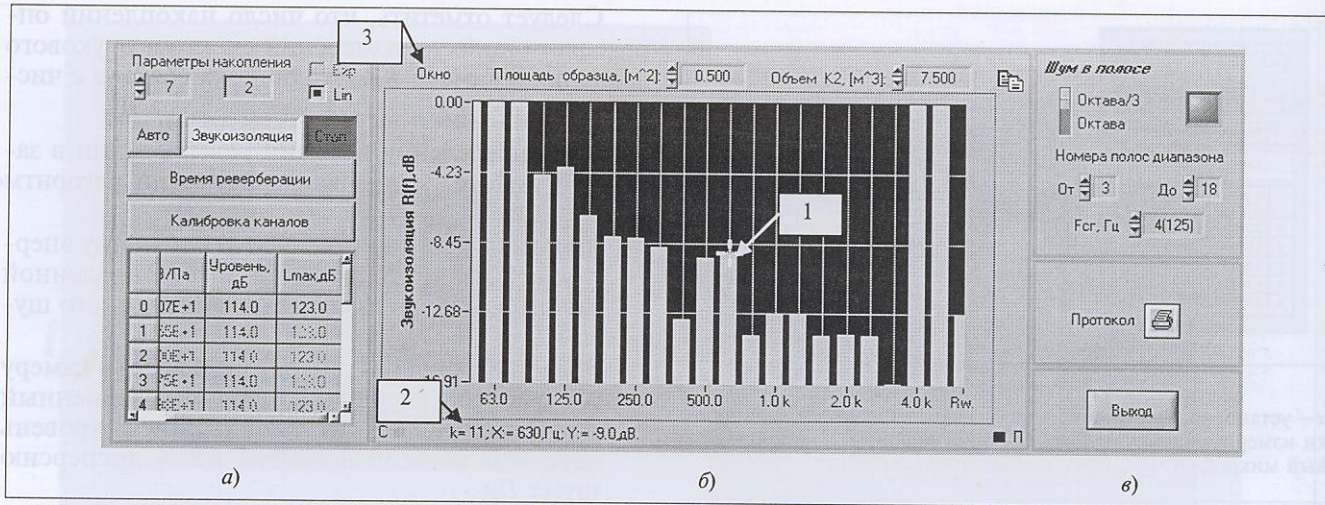


Рис. 10. Результаты измерений звукоизоляции образца на модели:

а — установки поля выбора режима измерений; б — результаты измерений звукоизоляции на модели; в — установки задающего генератора шума; 1 — следящий курсор; 2 — поле отображения координат следящего курсора; 3 — элемент управления, задающий тип объекта измерений “окно/дверь”

при измерении звукоизоляции образца. Эти данные сохраняются и после выхода из программы в специальном файле, который при повторном входе в программу восстанавливает их в оперативной памяти и обеспечивает возможность их использования при продолжении измерений.

Измерение звукоизоляции образца

На рис. 10 показаны установки задающего генератора (в), поля выбора режима измерений (а) и приведены результаты измерений звукоизоляции модели для стандартного ряда третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами от 100 до 3150 Гц.

Для измерения звукоизоляции образца сначала надо установить параметры задающего генератора. Затем активировать клавиши “Звукоизоляция” и “Авто”, если измерения будут проводиться во всем заданном диапазоне частот.

Измерение звукоизоляции на каждой частотной полосе происходит 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 сохраняются в специальном файле.

При повторном включении программы этот файл загружается в оперативную память, и дан-

ные, полученные ранее, могут быть использованы при составлении протокола испытаний.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОТОКОЛА ИЗМЕРЕНИЙ И АРХИВА ПРОТОКОЛОВ

Результаты испытаний оформляются в виде протокола, где указываются: наименование испытательного центра; юридический адрес организации-заказчика испытаний; маркировка и НД на объект испытаний; техническая характеристика объекта испытаний; результаты измерений звукоизоляции $R_m(f)$, оформленные в виде таблицы.

Кроме того, в протоколе должна быть указана дата проведения испытаний, руководитель лаборатории и испытатель, а также дата проведения измерений, фамилии ответственных лиц, эксклюзивная информация, характеризующая условия измерений, после чего распечатывается протокол непосредственно из приложения “Excel”. Для выхода из “Excel” необходимо вернуть управляющий элемент “Протокол” в исходное состояние нажатием левой клавиши мыши. Сохраненные таким образом данные могут быть полезны при повторном формировании протокола измерений и, кроме того, их можно использовать для анализа состояния испытательных камер и статистической обработки данных измерений однотипных конструкций.

Александр Сергеевич Мирсков — канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник;

Сергей Николаевич Шилев — ген. директор ЗАО “Руднев-Шилев”.

☎/📠 (095) 787-63-67, 787-63-68

E-mail: Mirskov@rudshel.ru,

www.rudshel.ru