

Б. Д. ТАРТАКОВСКИЙ и М. М. ЭФРУССИ

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В РЕВЕРБЕРАЦИОННОЙ КАМЕРЕ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 28 II 1951)

Хотя важность реверберационного метода измерения коэффициентов звукопоглощения отмечалась неоднократно <sup>(1)</sup> и он уже давно нашел практическое применение <sup>(2)</sup>, изучение этого метода проводилось сравнительно мало и ограничивалось преимущественно выяснением роли краевого эффекта <sup>(3)</sup>.

Измерения коэффициентов звукопоглощения акустических материалов, проводимые в акустической лаборатории ФИАН'а, обнаружили зависимость измеряемого коэффициента звукопоглощения от расположения материала в камере и других причин. Ввиду этого было предпринято специальное исследование реверберационного метода измерения, часть результатов которого излагается в данной заметке.

1. Камера, в которой производились опыты, входит в комплекс помещений, построенных для архитектурно-акустических измерений. Стены камеры непараллельны. Потолок скошен и имеет глубокие кессоны. Площадь пола составляет 42,3 м<sup>2</sup>. Общая поверхность помещения 214 м<sup>2</sup>, объем камеры 225 м<sup>3</sup>. Для обеспечения высокой звукоизоляции камера имеет плавающий пол на пружинных прокладках и двойные железные двери с песочной засыпкой. Время стандартной реверберации пустой камеры в диапазоне 112—3600 гц монотонно уменьшается от 9,6 до 4,2 сек., что соответствует среднему коэффициенту звукопоглощения от  $\alpha = 0,078$  до  $\alpha = 0,04$ .

Передающий тракт состоял из генератора теплового шума\*, усиленного тракта и четырех мощных (30 вт) громкоговорителей, расположенных по углам камеры. Приемный тракт состоял из конденсаторного микрофона с предварительным усилителем, октавного фильтра, усилительных блоков и быстродействующего регистратора уровней. По горизонтальной оси на бумажной ленте регистратора производилась запись времени, по вертикальной (в логарифмическом масштабе) — звукового давления, средне-квадратичного для данной октавы. Поскольку более подробный анализ с узкополосным фильтром (полоса 25 гц) показывает, что частотные характеристики электрических трактов и звукопоглощения камеры в пределах отдельных октав достаточно равномерны, полученные результаты измерений можно относить к средним частотам измеренных октав. В результате принятых мер усреднения уровень звукового давления спал достаточно прямолинейно на всех частотах (см. рис. 1). Звукопоглощающий материал (прессованная

\* Впервые применил тепловой шум («дробовой эффект») для архитектурно-акустических исследований (измерения звукоизоляции перегородок) В. С. Григорьев в 1939 г. (4).

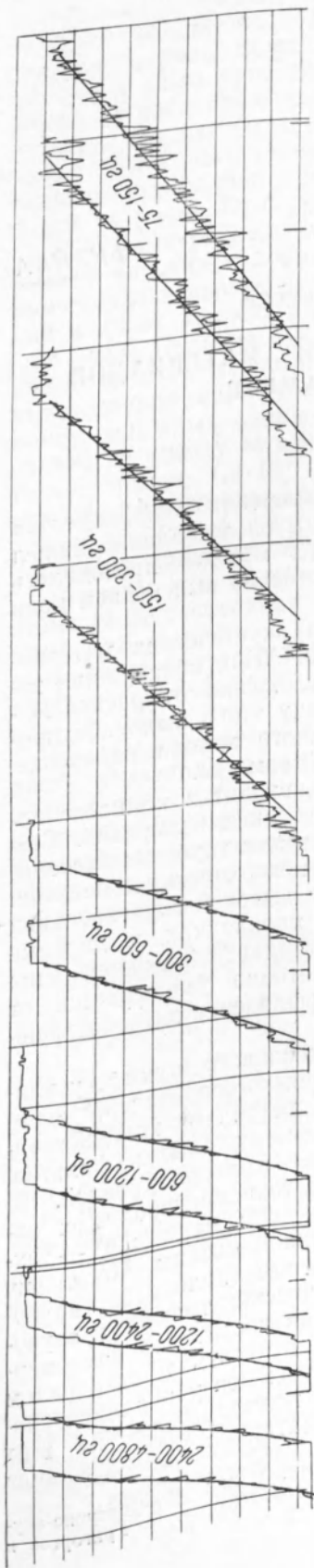


Рис. 1

каолиновая крошка с цементом, изготовленная в форме плит размером  $40 \times 60$  см толщиной 2,5 см трех сортов А, Б, В) укладывался во время измерений на полу камеры и стенах либо вплотную к ним, либо с воздушными промежутками 2,5 и 5 см. В последнем случае торцы воздушной подложки закрывались деревянными рейками. Предварительно проведенные опыты показали, что при заполнении камеры звукопоглощающим материалом в количестве  $15 \text{ м}^2$  коэффициент звукопоглощения перестает зависеть от общей площади материала. Поэтому все измерения производились с таким или большим количеством материала.

2. а) Материал (сорт А) располагался на двух стенах и полу. В одном случае материал укладывался на серединах этих поверхностей (см. рис. 2, а), в другом — в вершине угла (рис. 2, в). Исследования производились и для промежуточного случая, когда материал по полу и на одной из стен находился в углу, образуя двухгранный угол, а на другой стене — посередине (рис. 2, б). Отчетливо видно, что помещение материала в вершину угла уменьшает коэффициент звукопоглощения, притом больше для трехгранного угла, чем для двухгранного.

б) Этот несколько неожиданный результат измерений, на первый взгляд, мог объясняться уменьшением роли «краевого» эффекта при помещении материала в угол. Для проверки этого предположения были поставлены дополнительные измерения, причем длина краев уменьшалась в несколько раз при неизменной площади материала. Оказалось, что коэффициент звукопоглощения при этом уменьшается не более чем на 15%. Так как при укладке материалов в углу длина края уменьшается менее чем на  $\frac{1}{5}$ , то очевидно, что объяснить наблюдавшееся при помещении материала в угол уменьшение поглощения изменением длины края не представляется возможным.

в) Другое предположение сводилось к уменьшению «эффективной площади» образца из-за изменения условий падения на него звуковых лучей или же уменьшению поглощения, связанному с угловой характеристикой звукопоглощения. Для выяснения роли этих факторов была также проведена специальная проверка. Материал располагался на полу в центре, а затем то же количество

в виде четырех полос — у стен или на полу, но в одном углу. Никакой заметной разницы ( $> 10\%$ ) в звукопоглощении при этом не наблюдалось.

г) В прямоугольном помещении наибольшее эффективное звукопоглощение получается при размещении материала равными долями на трех взаимно-перпендикулярных поверхностях помещения (5). В реверберационной камере, при идеальном статистическом звуковом поле, звукопоглощение не должно зависеть от того, помещен ли материал на одной из поверхностей камеры или на трех взаимно-перпендикулярных поверхностях. Лишь вследствие несовершенства камеры зависимость коэффициента звукопоглощения от того или иного расположения материала, будет иметь место, причем материал, расположенный на трех поверхностях, должен поглощать больше, чем на одной из них.

Этот эффект изучался экспериментально в условиях нашей камеры. Оказалось, что поглощение материала, расположенного на полу и расположенного изолированно на трех перпендикулярных гранях (пол и две стены), одинаково с точностью до 5%, что свидетельствует о достаточно высоком качестве нашей камеры.

В связи с этим было сопоставлено звукопоглощение материала, расположенного в трехгранном углу, с материалом, уложенным на полу; результаты измерений для материалов Б и В показаны на рис. 3. Звукопоглощение для углового варианта (рис. 3, 1 и 2) оказалось попрежнему меньше, чем при расположении материала на середине пола (рис. 3, 3 и 4). Таким образом, при сравнении и в этом случае, «выгодном» для материала «в углу», его звукопоглощение оказалось все же значительно меньшим.

3. Показано, что при размещении материалов в вершине трехгранного угла коэффициент звукопоглощения значительно уменьшается по сравнению со случаем расположения материала на серединах ограждающих поверхностей. Установлено, что этот факт не обусловлен «краевым» эффектом и что он проявляется тем сильнее, чем больше граней угла. Он обнаруживается даже при сравнении звукопоглощения материала «в трехгранном угле» с звукопоглощением материала, помещенного на одной плоскости. Обнаруженный эффект опровергает общепринятое представление об увеличении эффективности материала при помещении его в угол. Выводы об увеличении эффективности звукопоглощения материалов, помещенных в угол (6), полученные из волновой теории, можно считать целиком неприменимыми, когда материал располагается на двух или трех гранях у вершины угла. В этом случае некоторое повышение эффективности из-за интерференционных явлений перекрывается эффектом понижения звукопоглощения.

Ввиду существенного различия коэффициентов поглощения материала «в углу» и «на поверхности», достигающего до 45%, оно должно учитываться в инженерной практике.

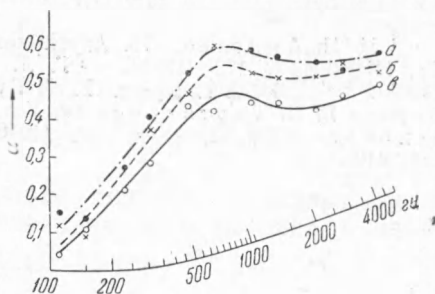


Рис. 2

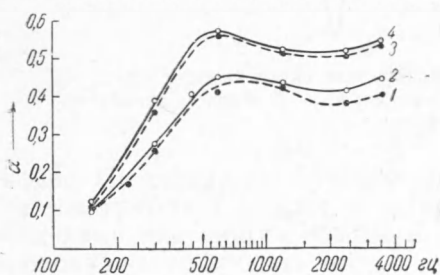


Рис. 3

В проведении измерений принимал участие техник К. А. Кулагин.  
Авторы выражают глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР  
Н. Н. Андрееву за ценные указания и Г. Д. Малюжинец за обсуждение  
полученных результатов.

Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило  
18 X 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Н. Андреев, Тр. Акуст. ком., сборн. 3, 9 (1939). <sup>2</sup> Н. К. Михеева, Тр. НИКФИ, 6, 173 (1937). <sup>3</sup> Г. А. Голдберг, Тр. Акуст. ком., сборн. 3, 33 (1939). <sup>4</sup> Н. Н. Андреев, В. С. Григорьев, И. Г. Лейзер, Л. Д. Розенберг и Б. Д. Тартаковский, Усп. физ. наук, 37, в. 3, 292 (1949). <sup>5</sup> Л. Д. Розенберг, ЖТФ, 1, № 8, 599 (1946). <sup>6</sup> Ф. Морз, Колебания и звук, 1949, стр. 440.