

## АКУСТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В НАЦИОНАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ\*

*Г. В. Кей, Теддингтон*

Национальная физическая лаборатория, расположенная в 12 милях к юго-западу от Лондона, в Теддингтоне, представляет собой государственный институт, производящий изыскания и испытания такого же типа, как Национальное бюро стандартов в Америке.

Работы по акустике были начаты в Национальной физической лаборатории с 1922 г. С тех пор быстрое развитие технической акустики в кино, радио и в граммофонной промышленности, успехи архитектурной акустики, а также заинтересованность общества в проблеме борьбы с шумом обусловили все увеличивающееся число обращений в лабораторию для различных акустических испытаний и исследований. Ведущиеся в лаборатории работы по акустике могут быть разделены на две группы. В первую группу входят работы по архитектурной акустике, в том числе определения коэффициентов поглощения материалов, применяемых для создания нужной реверберации и измерения звуковой изоляции зданий. Вторая группа занимается абсолютными измерениями звука; сюда входят измерения параметров различных типов акустических аппаратов и измерения шумов. В начале своей деятельности лаборатория не имела специально оборудованного помещения и только с 1933 г. получила законченную часть нового здания.

### Акустическая лаборатория

Акустическая лаборатория расположена в тихой местности, удаленной от главных дорог с большим движением. На рис. 1 представлен план лаборатории. Законченная постройкой часть здания состоит из помещения для измерения реверберации и двух помещений для измерения звукоизоляции с прилегающими к ним комнатами для аппаратуры и сотрудников. Части здания, показанные на плане пунктиром, а именно верхнее помещение для измерения звукоизоляции полов и сильно заглушенная комната для основных акустических измерений, должны быть в ближайшем будущем закончены. Для получения возможно более совершенной акустической изоляции стены лабораторий сделаны из массивной кирпичной кладки; стены, пол и потолок сделаны двойными. Внутренние стены,

\* Journ. of Acoustical Society of America, Jan. 1936. Перев. Б. Г. Шпаковского.

пол и потолок каждой лаборатории (толщиной 35 см) совершенно не зависят от внешних и опираются на изолирующие столбы, укрепленные на отдельных фундаментах. Изолирующие столбы состоят из пробковых плит (толщиной около 7,5 см). Специальная гидравлическая установка позволяет поднимать внутреннюю комнату (весающую 150—200 т) и в случае необходимости сменить пробковые изолирующие столбы. Вентиляция помещения осуществляется

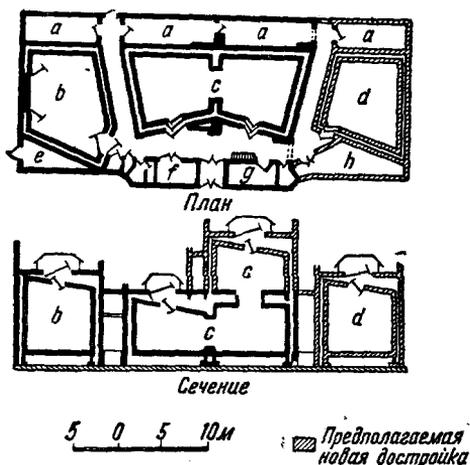


Рис. 1. План акустической лаборатории: *a* — измерительные комнаты, *b* — реверберационная комната, *c* — комната для измерения звукоизоляции, *d* — заглушенная комната, *e* — комната воздушного отопления, *f* — аккумуляторная, *g* — электротехническая, *h* — кладовая

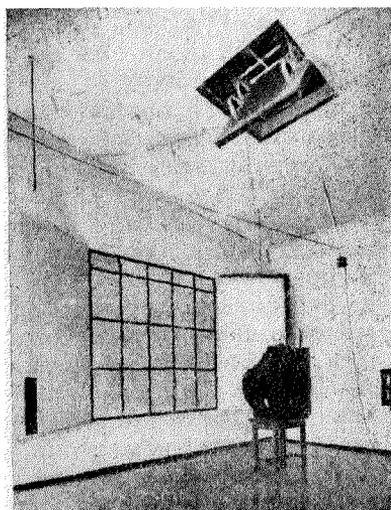


Рис. 2. Реверберационная комната. На фотографии видны: громкоговоритель, микрофон, исследуемая панель из звукопоглощающего материала

с помощью нагнетания воздуха, а постоянная температура в рабочих помещениях поддерживается путем пропускания теплого воздуха между двойными стенами. Все электрическое питание подведено к рабочим комнатам с помощью гибких проводов, проходящих через отверстия между двойными стенами. В случае необходимости все помещение или какая-либо часть его может быть электрически изолирована путем выключения питания от внешних источников.

#### Коэффициенты поглощения звука

Лаборатория уже давно занимается измерениями коэффициента поглощения звука. Были освоены различные методы для определения коэффициентов поглощения как при нормальном падении (метод стоячих волн)<sup>2</sup>, так и в условиях реверберирующего помещения. Коэффициенты поглощения, определенные этим последним методом,

как раз требуются при расчетах акустических свойств помещений; однако и первый метод дает существенные данные, достаточные для предварительного ознакомления и сравнения различных материалов. Коэффициенты поглощения звука определялись с помощью метода реверберации в течение нескольких лет во временном помещении до постройки новой реверберационной комнаты. Значительные удобства последней позволили увеличить точность измерений и распространить их на больший диапазон частот. Новая реверберационная комната, показанная на рис. 2, имеет объем в  $270 \text{ м}^3$ , асимметрична как в плане, так и в разрезе.

Непараллельность стен и наклон потолка уменьшают возможность образования стоячих волн в комнате и создают более равномерное и однородное распределение звука, которое лежит в основе всех реверберационных формул. Двойные, плотно закрывающиеся входные двери сделаны целиком из стали, внутренняя дверь имеет в толщину  $9,1 \text{ см}$  и весит  $2\frac{1}{2} \text{ т}$ , а внешняя имеет в толщину  $6,25 \text{ см}$  и весит более  $1,5 \text{ т}$ . Люки, находящиеся в потолке комнаты, сделаны двойными и приводятся в действие с помощью электрических моторов. Пол состоит из окрашенного бетона, а стены и потолок — из окрашенной цементной штукатурки. В пустой комнате время реверберации при  $500 \text{ Hz}$  составляет около  $13 \text{ сек}$ . В одной из стен устроена неглубокая ниша, закрываемая стальными дверьми толщиной в  $2 \text{ см}$ . В этой нише может быть помещено около  $10 \text{ м}^2$  материала для определения его коэффициента поглощения. В случае необходимости исследуемый материал может быть разложен на полу. Принятый метод определения коэффициента поглощения основывается на формуле Эйринга и состоит в определении времени затухания ревербирующего звука в пустой комнате (или когда находящийся в нише материал закрыт стальными дверями) и в комнате с находящимся в ней материалом. Скорость затухания измеряется объективным методом. В качестве источника звука применяется громкоговоритель с воющим тоном, для того, чтобы обеспечить равномерное распределение звуковой энергии по всему помещению. Ревербирующий звук улавливается микрофоном, создающаяся э. д. с. подводится к усилителю с изменяющейся степенью усиления, находящемуся в соседней измерительной комнате. Выключение громкоговорителя приводит автоматически в действие электрический хроноскоп, который останавливается с помощью реле на тиратронах, когда величина э. д. с. на зажимах микрофонного усилителя опустится до заранее заданного значения. Если увеличить усиление на  $10 \text{ дб}$ , то это вызовет соответствующее удлинение времени затухания ревербирующего звука прежде, чем хроноскоп будет автоматически остановлен, и получающаяся разность двух отсчетов времени по хроноскопу дает время, в течение которого сила ревербирующего звука уменьшается на  $10 \text{ дб}$ . Дальнейшее увеличение усиления ступенями по  $10 \text{ дб}$  дает возможность определить время затухания ревербирующего звука при изменении его интенсивности в различных пределах до  $60$  и более  $\text{дб}$ . Обычно измерения производятся при различных частотах, меняющихся окта-

вами, от 125 до 8000 Hz, причем для каждой частоты измерения производятся при четырех различных положениях микрофона.

Рис. 3 представляет пример практически равномерного затухания звука в пределах 60 дБ для пустой комнаты и для комнаты с находящимися в ней 10 м<sup>2</sup> исследуемого материала. Этот рисунок является типичным для измерений, производимых с помощью звука с частотой в 500 Hz и выше. При более низких частотах затухание звука становится все менее и менее равномерным.

Вследствие постоянных требований со стороны промышленности, полученных лабораторией в течение последних лет, было исследовано большое количество различных материалов, как то: акустическая штукатурка, акустические плитки, плиты из древесного волокна, акустический войлок, шлаковая вата, стеклянная вата, и получены значения коэффициентов поглощения от 0,05 до 0,9. В 1933 г. лаборатория, имея только временное оборудование, приняла участие в международном сравнении коэффициентов поглощения, организованном Американским акустическим обществом<sup>3</sup>. Испытывавшийся тогда материал был недавно вновь исследован в новой реверберационной комнате, причем были подтверждены прежние результаты измерений. Предполагается поставить исследование вопроса о зависимости коэффициента поглощения от размера, формы и распределения материала.

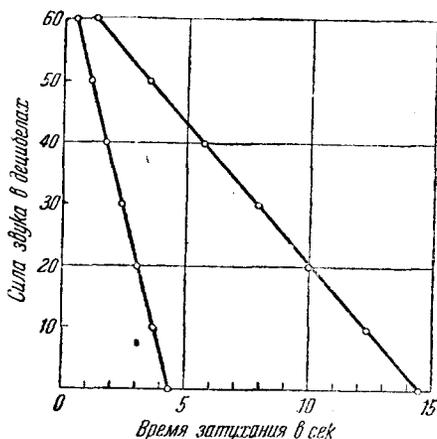


Рис. 3. Спадание силы звука в реверберационной комнате. Частота  $500 \pm 50$  Hz. Коэффициент поглощения материала 0,85.

### Звукоизоляция

Стены. Разработка методики для измерения звуковой изоляции стен, перегородок и т. п. от звуков, возникающих в воздухе, была начата в 1924 г. в помещении, состоящем из 2 комнат, разделенных друг от друга двойной стеной с отверстием  $1,5 \times 1,2$  м<sup>2</sup>, закрывающимися исследуемым образцом. Комнаты были сильно заглушены, и в одной из них получался звуковой луч, направляемый под некоторым углом на отверстие. Коэффициент пропускания звука исследуемым образцом определялся на основании измерений силы звука, прошедшего во второй комнате через открытое отверстие и через отверстие, закрытое исследуемым образцом. При этом было установлено для большого количества материалов, начиная с бумаги и кончая 11-см кирпичной стеной, фундаментальное положение, согласно которому уменьшение звука при прохождении через орди-

нарную однородную перегородку вполне определяется ее весом (на  $1 \text{ м}^2$ )<sup>4,5</sup>.

Много исследований было выполнено и над сложными перегородками. Надлежащим образом сконструированные двойные перегородки могут оказаться более звукоизолирующими, чем ordinariaя перегородка, имеющая тот же самый общий вес. Однако нерационально выбранное расстояние между двумя частями, образующими одну систему двойной перегородки, может сделать ее менее звукоизолирующей, чем ordinariaя перегородка того же самого веса<sup>6</sup>, что ясно из примера на рис. 4.

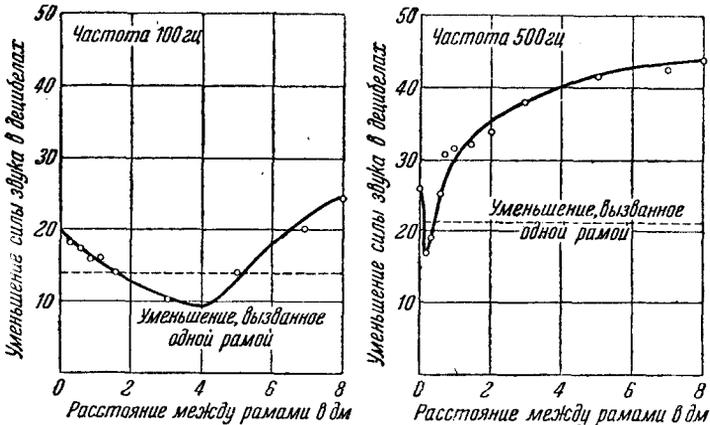


Рис. 4. Влияние расстояния между рамами двойного окна на величину звукоизоляции. Кривые показывают минимум звукоизоляции.

Новые комнаты для измерения звукоизоляции, изображенные на рис. 5, дают возможность производить измерения над образцами большего размера и с большими изолирующими свойствами. Они расположены на различных независимых друг от друга фундаментах и имеют такую же неправильную форму и общую конструкцию, как и уже описанная реверберационная комната, с тем лишь исключением, что входная дверь сделана тройной из дерева толщиной в 7,5 см. Отверстие, разделяющее эти две комнаты, может быть закрыто исследуемым образцом размером до  $3 \times 2,4 \text{ м}^2$ . В комнате имеется подъемный кран для перемещения тяжелых образцов. В настоящее время измерения производятся в ревербирующей комнате, т. е. не заглушенной, и звук падает на образец под самыми разнообразными углами; но предусмотрено устройство, позволяющее заглушать комнату в тех случаях, когда для измерения следует применить направленный звук. Громкоговоритель, расположенный в одной из комнат, дает „воюющий“ тон. Измерения средней силы звука в каждой комнате при открытом отверстии и при отверстии, закрытом исследуемым образцом, дают возможность определить значение звуковой изоляции для данной перегородки. Средняя сила звука определяется с помощью микрофона, помещаемого в различные положения. Перемещение

микрофона осуществляется из соседней измерительной комнаты, где находятся генератор, питающий громкоговоритель и микрофонный усилитель. Измерения обычно производятся при нескольких частотах в диапазоне от 100 до 4000 Hz.

Описанные комнаты, предназначенные для испытания звуковой изоляции перегородок, могут быть быстро приспособлены для исследования затухания звука в вентиляционных каналах и глушителях и для опытов по глушению шума в машинах.

Полы. Вследствие отсутствия верхней операционной комнаты (рис. 1) была сконструирована временная установка для определения сравнительных изолирующих свойств различных полов в отношении ударных звуков (например, вызванных шагами). Образец пола (размером  $2,4 \times 1,5 \text{ м}^2$ ) заделывался в тяжелую железобетонную раму, установленную над отверстием в железобетонном полу, толщиной 15 см. Рама лежала на каучуковой полосе, которая ее изолировала от частей бетонного пола, окружающего отверстие. Специальная ударная машина с 4 молотками, приводимая в действие мотором, осуществляет последовательность ударов, соответствующих по силе шагам. Применялись два типа молотков: твердые (керамол) и мягкие (резина).

Громкость шума, производимого внизу под исследуемым полом, определялась субъективно группой исследователей. Было испытано большое количество сложных полов. Работа в этом направлении ведется совместно с Архитектурным исследовательским комитетом с помощью аналогичной временной установки, дающей возможность исследовать образцы полов еще большего размера ( $5,4 \times 4,5 \text{ м}^2$ ).

Работы, ведущиеся в лабораторной обстановке по исследованию звукоизолирующих свойств полов и стен, часто дополняются еще выездами в строящиеся здания. Развернутая программа акустических исследований зданий выполняется по заданию Министерства внутренних дел. Требования на соответствующие исследования, поступающие в последние годы от частных фирм, настолько многочисленны, что явилась необходимость продолжать эксплуатировать и старые установки наряду со вновь построенными

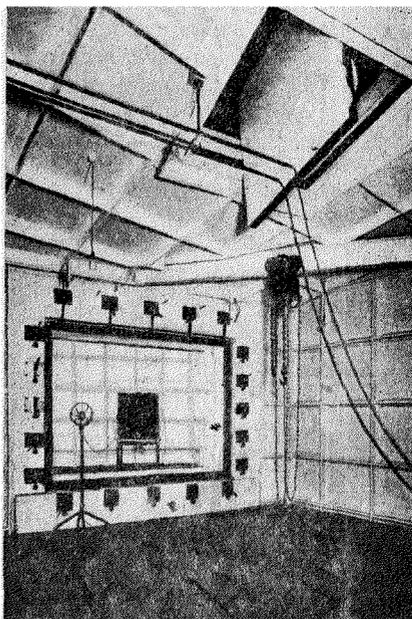


Рис. 5. Камеры для определения звукоизоляции с окном, в которое вставляется исследуемый образец

### АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

Лаборатория ставит своей задачей создание хорошей акустики в залах как уже построенных, но обладающих дефектами в отношении акустики, так и во вновь строящихся.

Был сконструирован аппарат для фотографирования процесса распространения звуковых импульсов в модели здания и применен для выявления причин возникновения нежелательного эхо и для демонстрационных целей<sup>7,8</sup>. Исследования в этом направлении ведутся по заданию правительства, общественных организаций и частных фирм как местных, так и зарубежных.

### АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКА

Абсолютное измерение звука является совершенно необходимым для градуировки микрофонов и их последующего использования при всякого рода звуковых измерениях. Методы, применяемые в Национальной физической лаборатории, основаны в конечном счете на использовании диска Релея, который дает возможность измерить скорость частиц среды. Конденсаторные микрофоны, градуированные в абсолютных единицах, служат лабораторными эталонами, с которыми производится сравнения рабочих микрофонов. Для градуировки микрофонных эталонов применяются тонкие, круглые, стеклянные диски диаметром в 1 см, посеребренные с одной стороны. Диски подвешиваются на тонких кварцевых нитях, модуль кручения которых предварительно измерен, и скорость частиц среды может быть вычислена по измерению угла отклонения.

Определение чувствительности микрофонного эталона, т. е. отношение наводимой в микрофоне э. д. с. к величине звукового давления в свободной волне, производится в сильно заглушенной комнате, изображенной на рис. 6. Комната представляет приблизительно куб со стороной в 3 м (внешний размер) и выложена внутри слоем водорослей (eel grass) толщиной 15 см, сверху которого подвешен слой хлопчатобумажного ватина общей толщиной 30 см. Пол, точно так же заглушенный, покрыт, кроме того, снимающейся металлической решеткой. В качестве источника звука применяется громкоговоритель, установленный в одном углу комнаты. Скорость частиц в ряде точек, расположенных на оси громкоговорителя, определяется по отклонению диска Релея, отсчитываемому извне с помощью светового зайчика, перемещающегося по прозрачной шкале. Соответствующие давления в звуковой волне вычисляются с помощью известных формул. Затем, на место диска устанавливается микрофон, и получающаяся на его клеммах э. д. с. измеряется для каждой из серии тех же точек. Эти измерения производятся для различных частот, от 10 000 до 300 Hz. При еще более низких частотах начинает сказываться отраженная волна (от заглушенных стен комнаты), и простые формулы, имеющие место только в свободной (бегущей) волне, перестают уже быть применимыми,

При этих частотах для определения чувствительности микрофона применяются косвенные методы.

Другой метод определения чувствительности эталонного микрофона, т. е. отношения возникающей в микрофоне э. д. с. к величине звукового давления, приложенного к мембране микрофона, основывается на измерениях с помощью диска Релея в стоячей волне. Диск Релея подвешивается на оси цилиндрической трубы с диаметром поперечного сечения, приблизительно равным мембране микрофона, закрывающей один

конец трубы. В трубе устанавливаются стоячие волны, возбуждаемые громкоговорителем, помещенным напротив открытого конца трубы. Частота звука подбирается так, чтобы диск Релея оказался расположенным в пучности скорости; измеренный при этом угол отклонения диска позволяет вычислить величину звукового давления, действующего на мембрану микрофонного эталона. Этим методом может быть произведена градуировка в диапазоне частот от 3500 до 62,5 Hz. Верхний предел частоты ограничивается возможностью возникновения в трубе поперечных колебаний, а нижний предел ограничен неудобством пользования слишком длинными трубами. Поэтому для частот, меньших 62,5 Hz, был разработан другой метод для градуировки с помощью специального поршневого излучателя (листонофона).

Последний состоял из маленького поршня, приводимого в колебание с помощью подвижной катушки электродинамического репродуктора. Поршень возбуждает колебания в небольшой камере, одна сторона которой закрыта мембраной микрофона-эталона, подлежащего градуировке. Стальная игла, прикрепленная к обратной стороне поршня, упирается в горизонтальное плечо согнутого под прямым углом рычага, подвешенного на крутильной нити. На его вертикальном плече укреплено маленькое зеркальце, отбрасывающее зайчик на шкалу. Отклонения зайчика по шкале, происходящие при колебаниях поршня, дают возможность измерить амплитуду колебаний поршня и вычислить соответствующие значения звукового давления в камере, а значит, и около мембраны эталона. С помощью описанного метода эталонный микрофон был проградуирован в диапа-

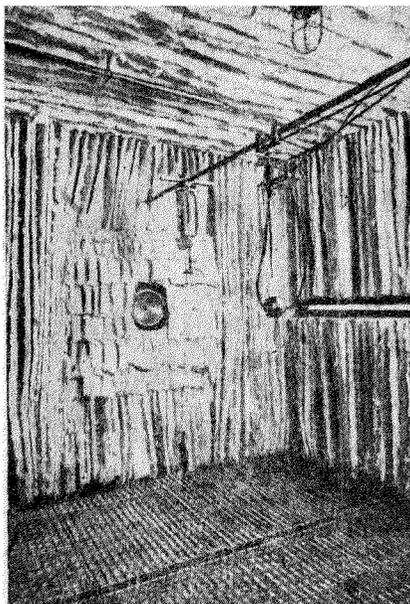


Рис. 6. Заглушенная комната для акустических измерений

зоне частот от 10 до 400 Hz. Кривые градуировки эталона приведены на рис. 7. Из рисунка видно, что оба метода градуировки дают идентичные результаты при частотах, лежащих ниже 400 Hz. Поэтому для микрофона принятого размера (около 7,5 см в диаметре) результаты градуировки в стоячей волне (определяющие так называемую чувствительность к давлению) при низких частотах, где метод градуировки в свободно распространяющейся волне (определяющий так называемую чувствительность в свободном звуковом поле) не может быть непосредственно применен, вполне достаточны для суждения о чувствительности в звуковом поле и

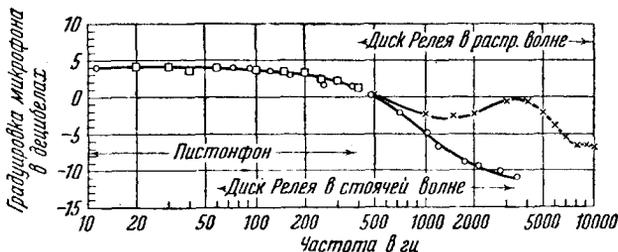


Рис. 7. Кривые градуировки эталонного микрофона.

при низких частотах. В диапазоне частот от 62,5 до 400 Hz, где измерения производились с помощью двух методов градуировки, совпадение полученных результатов градуировки представляется в высокой степени удовлетворительным. В случае „скоростных“ микрофонов, реагирующих по существу на градиенты давлений, а также микрофонов, реагирующих одновременно как на звуковое давление, так и на градиент давлений, должен быть применен другой метод для градуировки и определения чувствительности в звуковом поле при низких частотах. Примененный в этом случае метод градуировки состоял в том, что создавались стоячие волны в деревянной трубе около 6 м длины и 60 см поперечного сечения, в закрытый конец которой был смонтирован микрофон-эталон, определяющий величину давления в этом месте. Чувствительность в звуковом поле микрофона, подлежащего градуировке, определялась путем вычислений на основании даваемых им показаний при помещении в различные точки стоячей волны с известным распределением давлений и скоростей.

#### Громкоговорители и другие акустические инструменты

Измерения акустической мощности, излучаемой громкоговорителями, производятся на открытом воздухе на крыше здания Физической лаборатории. Громкоговоритель устанавливается на площадке на краю крыши и направляется своим рупором в сторону открытого пространства. Измерительный микрофон, помещенный на высту-

паюшем вперед длинном рычаге, дает возможность измерять давления в звуковой волне на расстоянии до 2,5 м. Вращающийся рычаг позволяет снимать полярные диаграммы излучения звука. Належащим обрзом расположенные рефлекторы отбрасывают отраженный звук в сторону от микрофона. Громкоговоритель возбуждается с помощью генератора звуковой частоты, а показания микрофона записываются автоматически; при этом приняты меры для устранения (с помощью специальных электрических контуров) посторонних шумов и влияния ветра. Искажения формы звуковой кривой, вносимые громкоговорителем, устанавливаются с помощью гармонического анализа звука, записанного от громкоговорителя, питаемого синусоидальным переменным током. Подобные же измерения выполняются и с телефонами. В этом случае телефон монтируется вместе с „искусственным ухом“, рассчитанным и сконструированным так, чтобы создавать такую же акустическую нагрузку на телефонную мембрану, как и среднее человеческое ухо, и измерения давления производятся в полости искусственного уха.

В лаборатории производится снятие частотных характеристик граммофонных адаптеров, акустических усилителей (протезов) для глухих, а также скорости спадания силы звука (декремента затухания) камертонов, применяемых отоларингологами при исследовании слуха. Кроме того, ведутся исследования и в других направлениях, как, например, исследуется скорость распространения звука в трубах<sup>9</sup>.

### ИЗМЕРЕНИЯ ШУМА

В течение нескольких лет проблема шума, как то: измерение шумов, исследования и анализ шумов различного происхождения и мероприятия по борьбе с шумами, составляла значительную часть всей работы Акустической лаборатории<sup>10-15</sup>. Измерения громкости производились как субъективными методами с помощью инструментов типа шумомера Барнгаузена, так и объективными методами. При этом были изучены преимущества и возможности каждого типа инструментов. Была разработана собственная конструкция прибора для объективного измерения уровня громкости шума средней интенсивности. Этот прибор, изображенный на рис. 8, состоит из конденсаторного микрофона, усилителя, выпрямителя и индикатора. Степень усиления, даваемого усилителем, может изменяться ступенями через 1 дб. Специально рассчитанные электрические контуры служат для исправления частотной характеристики микрофона, а также для уменьшения усиления на низких и высоких частотах, с целью приведения показаний индикатора в соответствие с восприимчивостью уха согласно кривым равной громкости при уровне громкости около 70 дб. Сконструированный прибор имитирует свойства уха еще и в том отношении, что правильно реагирует на прерывистые звуки как на отдельные импульсы, так и на последовательность импульсов различной степени повторяемости. Описание этого прибора будет вскоре опубликовано.

Начиная с 1929 г., значительная работа была выполнена по заданию Авиационного научно исследовательского комитета по исследованию аэропланых шумов<sup>16</sup>. Измерения производились как на аэропланах, находящихся в полете, так и над шумом, создаваемым пропеллерами и выхлопными газами моторов в экспериментальных условиях. В связи с усовершенствованием глушителей выхлопных шумов было выполнено исследование на модели заглушающей выхлопной трубы, рассматриваемой как акустический фильтр.

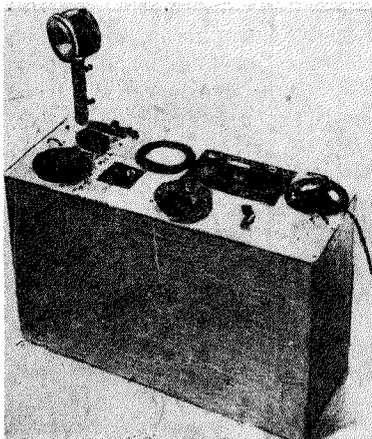


Рис. 8. Переносный акустиметр (шумомер) для объективного измерения силы звука и уровня громкости

Лаборатория производила исследование шумов транспорта для железнодорожной компании и часто оказывает консультацию по вопросам борьбы с шумом при оборудовании помещений для испытания аэропланых моторов, типографий, трансформаторных подстанций, шумных контор и т. п.

Недавно по поручению комитета при Министерстве транспорта лаборатория приступила к выполнению большой программы работ по исследованию шума, создаваемого механическим транспортом<sup>17</sup>. Были проделаны объективные измерения громкости шума, создаваемого различными мотоциклами, автомобилями и грузовиками при различных условиях эксплуатации, а именно: а) в неподвижном по-

ложении с работающей машиной и в) при движении с различными скоростями и ускорениями как на ровном месте, так и при подъеме.

В результате наших исследований комитет обратился к министру транспорта с предложением запретить как продажу, так и использование на шоссеиных дорогах автотранспорта, производящего шум, превышающий некоторый установленный предел. Для частных автомобилей этот предел составляет 90 дб на расстоянии 5,4 м от центра автомобиля, движущегося со скоростью 50 км в час, или 95 дб на расстоянии 5,4 м от выхлопной трубы неподвижного автомобиля с машиной, работающей с полной мощностью.

Лаборатория также была приглашена выполнить для комитета Министерства транспорта исследование гудков и других сигнальных приборов, применяемых на автомобильном транспорте. Комитет предполагает провести мероприятия по установлению определенной характеристики применяемых сигналов с целью уменьшения тех неприятных звуковых ощущений, которые при сигнале могут возникать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. G. W. C. Kaye, *Nature* **124**, 202, 1934.
  2. A. H. Davis a. E. I. Evans, *Proc. Roy. Soc., A* **89**, 127, 1930.
  3. P. E. Sabine, *J. Acous. Soc. Am.*, **6**, 239, 1935.
  4. A. H. Davis a. T. S. Litter, *Phil. Mag.*, **3**, 177, 1927
  5. A. H. Davis a. T. S. Litter, *Phil. Mag.*, **7**, 1050, 1929.
  6. I. E. R. Constable, *Phil. Mag.*, **18**, 321, 1934.
  7. A. H. Davis a. X. Fleming, *J. Sci. Inst.* **3**, 393, 1926.
  8. N. Fleming, *Proc. Seventh Int. Cong. Phot.*, 318, 1928.
  9. G. W. C. Kaye a. G. C. Sheratt, *Proc. Roy. Soc., A* **141**, 123, 1933.
  10. G. W. C. Kaye, *Proc. Roy. Inst.*, **26**, 435, 1931.
  11. G. W. C. Kaye, *Eng.* **134**, 314, 432, 1932.
  12. G. W. C. Kaye, *Anti Noise League Exhibition Handbook*, 1935.
  13. G. W. C. Kaye, *Science Progress*, January 1936.
  14. A. H. Davis, *Nature*, **125**, 48, 1930.
  15. A. H. Davis, *Eng.*, **138**, 663, 1934.
  16. A. H. Davis, *Aeronautical Research Committee Reports and Memoranda*, N 1542, 1933.
  17. Ministry of Transport, H. M. Stationery Office, 1935
-