

НОВЕЙШИЕ УСПЕХИ ПРИКЛАДНОЙ АКУСТИКИ *

Ф. Тренделенбург, Берлин

Содержание

- I. Введение.
- II. Методы измерений.
 1. Анализ звука.
 2. Компенсационные методы точного определения фазы и амплитуды периодических колебаний давления.
 3. Другие способы определения величин, характеризующих звуковое поле. Измерение акустической мощности звукоизлучателя. Акустические измерения в помещениях.
- III. Звукоизлучатели и микрофоны.
 1. Микрофоны.
 2. Общие вопросы электрических звуковых генераторов.
 3. Музыкальные инструменты и их звук.
- IV. Слух и речь.
- V. Архитектурная акустика и акустика помещений.
- VI. Запись звука. Звуковые фильмы.

I. Введение

В 1926 и 1928 гг. автором были опубликованы обзорные статьи по вопросам акустики. Первая из этих статей ограничивалась областью анализа звука, получившей в то время благодаря внедрению точных физических методов большое развитие. Второй обзор² охватывал несколько большую область: новейшие акустические и особенно электроакустические работы. В настоящей статье порядок изложения несколько видоизменен; кроме того вопросы записи звука и техники звукового кино, получившие за последнее время

* Z. Hochfrequenz, technik, 1931. Перевод Н. Д. Ершовой.

большое техническое и экономическое значение, выделены в особый раздел. За последние два года акустические исследования получили большое развитие. Интерес, проявляемый к акустике со всех сторон, подтверждается тем фактом, что в рабочей программе института Герца ³ акустическим исследованиям было отведено большое место. В рамках этой сжатой обзорной статьи невозможно охватить все работы в различных пограничных областях акустики ⁴, и поэтому мы ограничимся рассмотрением только тех работ, которые имеют значение для прикладной акустики.

II. Методы измерения

1. Анализ звука

В области методов измерений значительно улучшились методы автоматического анализа звука. Э. Мейер ⁵ дал особенно простой метод автоматического анализа, применяемый также для определения нелинейного искажения микрофонов. Угольный микрофон (рис. 1) включен в ветвь мостика, остальные ветви которого представляют собой омические сопротивления W_1, W_2, W_3 . Через угольный микрофон пропускается не постоянный, как обычно, а переменный ток. Если переменный ток представить в виде $J \sin 2\pi st$, и если на микрофон падает звуковая волна частоты p (которую мы для упрощения примем синусоидальной), то микрофон испытывает колебания сопротивления формы $2R \sin 2\pi pt$, и напряжение на микрофоне будет:

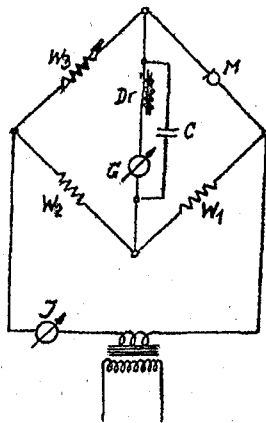


Рис. 1. Автоматический анализ звука помощью угольного микрофона.

$$E = (R + \Delta R \sin 2\pi pt) J \sin 2\pi st, \quad (1)$$

где R — постоянная слагающая сопротивления микрофона. Уравнение (1) можно преобразовать так:

$$E = JR \sin 2\pi st + \frac{J\Delta R}{2} \cos 2\pi(s-p)t - \frac{J\Delta R}{2} \cos 2\pi(s+p)t. \quad (2)$$

При произведении анализа звука заставляют частоту * (пробную частоту, Suchfrequenz) идущего через микрофон переменного тока проходить через всю область звуковых частот.

Приборами переменного тока, настроенными на низкую частоту, измеряют силу разностного тона частоты $(s-p)$, которая пропорциональна ΔR , если амплитуда тока J постоянна во всем диапазоне частот и следовательно пропорциональна амплитуде звуковой волны с частотой p . Если звуковой процесс не синусоидален, а представляет собой сложный звук, то можно точно так же последовательно определить силу отдельных компонент, проходя через диапазон звуковых частот.

Суммой тон $(s+p)$ [последний член уравнения (2)] измерительными приборами, настроенными на низкую частоту, не регистрируется. Ток пробной частоты не может дать отклонений, так как измерительный прибор включается в диагональ мостика и при правильно уравненном мостике не может реагировать на ток этой частоты. Для измерения тока в мостике употребляется струнный гальванометр Хута или иногда крутильный прибор Киппа и Цонена. Этим способом, с помощью микрофона Рейсса без применения усилителя, могут быть определены компоненты, эффективная амплитуда давления которых составляет приблизительно $0,1 \text{ дин/см}^2$.

Такой же схемой можно проверить нелинейность микрофона. Для этого на испытуемый микрофон (в описываемом способе включенный в измерительный мостик) воздействуют два тона от двух высококачественных громкоговорителей с частотами p и q , и при помощи пробной частоты выясняется, когда и какой силы возникают комбинационные тоны, вызванные нелинейностью микрофона.

Рис. 2 дает результаты измерений угольных микрофонов. Двойной микрофон дает очень незначительные искажения, несколько большие — микрофон Рейсса * и очень

* При малой амплитуде давления (6 дин/см^2) нелинейные искажения даваемые микрофоном Рейсса, все же очень незначительны.

значительные искажения дает обычный телефонный микрофон.

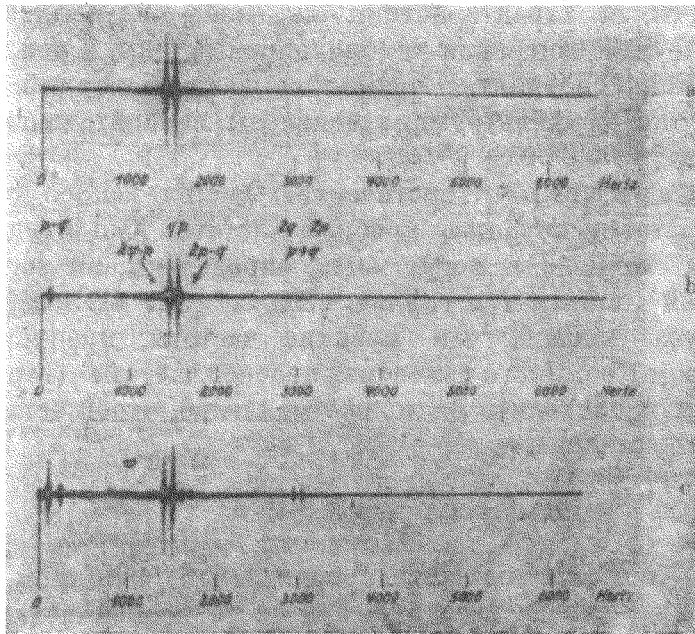


Рис. 2. Нелинейные искажения микрофонов.
(Амплитуда давления 30 дин/см^2 .)

Описанный метод Э. Мейера является дальнейшим развитием прежних методов автоматического анализа звука.

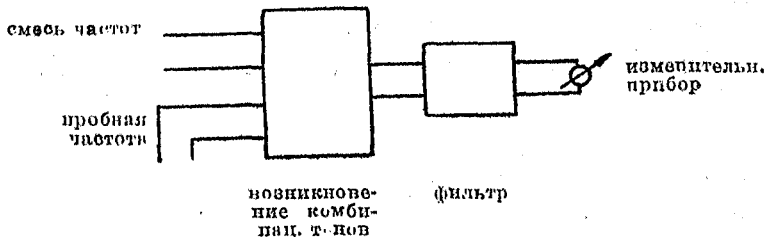


Рис. 3. Принципиальная схема анализа звука помощью пробной частоты.

Этот метод основан на возникновении комбинационных колебаний между пробной частотой и различными компонентами исследуемого звука. Рис. 3 дает схему способа Мейера,

где комбинационные тоны возникают непосредственно в принимающем звук микрофоне. В прежних способах это происходило в усилительной лампе, работавшей на квадратичной части характеристики так, чтобы получались необходимые для измерения комбинационные тоны. К усилителю присоединялся фильтр, отфильтровывавший первый разностный тон; к фильтру присоединены измерительные приборы⁶.

Н. Салингер⁷ теоретически выяснил вопрос об анализе частот с помощью пробной частоты. Амплитуды различных компонент могут быть определены аналогичным способом лишь в том случае, если частоты их лежат друг от друга дальше, чем крайние частоты, пропускаемые фильтром. Кроме того изменения пробной частоты γ (герц/сек.) должны происходить настолько медленно, чтобы оставалось в силе соотношение

$$\frac{F}{\sqrt{\gamma}} > 4,$$

где F — ширина полосы, пропускаемой фильтром. Этим способом можно исследовать как чисто периодические, так и почти периодические процессы. Примером процесса последнего рода может служить звук, даваемый „воющим“ зуммером; кроме того к ним принадлежат звонкие согласные, как например *L, M, N, R*. Шумы могут быть исследованы данным способом только в том случае, если они повторяются в правильной последовательности. Неправильные звуковые процессы, как например непрерывный разговорный текст, шорох, получающийся при истечении газа, и т. п. не могут быть анализированы данным способом, так как шумы в общем случае содержат большое количество компонент, лежащих как угодно близко друг к другу, так что между ними нет даже небольшого частотного расстояния (соответствующего частоте основного тона). Поэтому при возникновении разностных тонов в квадратически работающем элементе устройства могут возникать произвольно низкие разностные тоны, пропускаемые затем низкочастотным фильтром и вызывающие длительное отклонение прибора.

От этого недостатка свободна двухтактная схема, * данная М. Грютцмахером ⁸. Рис. 4 показывает, каким образом в этой схеме возникают комбинационные тоны. Если лампы работают на квадратичной части характеристики,

то для напряжений на выходе будут получаться значения, соответственно пропорциональные

$$[e_g - e_s + (e_g - e_s)^2]$$

и

$$[e_g + e_s + (e_g + e_s)^2].$$

Вычитая одно из другого получим:

$$\frac{e_g - e_s + e_g^2 - 2e_g e_s + e_s^2 - e_g - e_s - e_g^2 - 2e_g e_s - e_s^2}{-2e_s - 4e_g e_s}$$

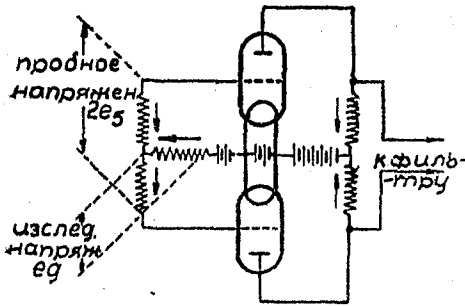


Рис. 4. Анализ звука с помощью двухтактной схемы, по М. Грютцмахеру.

т. е. результирующее напряжение не будет содержать в этом случае квадрата напряжения, происходящего от шума. Вследствие этого в фильтр не входят разностные колебания, вызванные шумом.

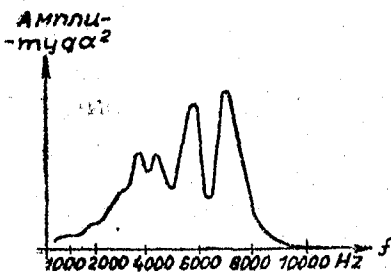


Рис. 5. Спектр шума шипящей буквы S.

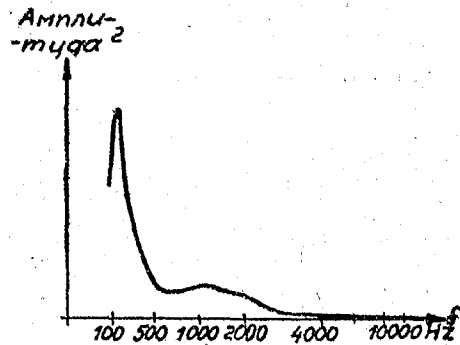


Рис. 6. Спектр шума Бунзеновской горелки.

¹ Метод анализа звука посредством пробной частоты, обладающий тем преимуществом, что работа с ним не зависит от амплитуды напряжения пробной частоты, был недавно разработан на Вернеровских заводах. Анализ производится по схеме выпрямительного мостика ⁹.

Термоэлемент с зеркальным гальванометром при достаточно малой скорости изменения пробной частоты верно регистрирует спектры шума. На рис. 5 изображен спектр шипящего звука S , восходящий до 13 000 герц в случае особо резкого произношения. Рис. 6 дает спектр Бунзеновской горелки, рис. 7 — спектр пылесоса.

М. Грютцмахер ¹⁰ дал еще один очень простой метод автоматического анализа звука, где разностные колебания создаются не в электрическом контуре, а возникают непосредственно в регистрирующей электромеханической системе — в струнном электрометре. Рис. 8 дает схему

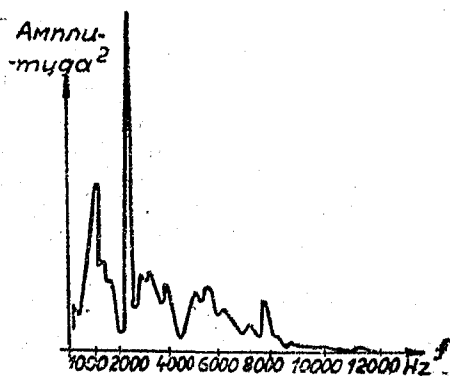


Рис. 7. Спектр шума пылесоса.

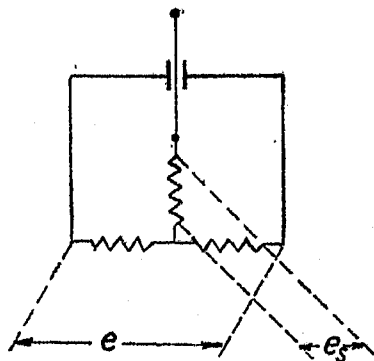


Рис. 8. Анализ звука помощью электрометра, по Грютцмахеру.

включения струнного электрометра. Простой расчет показывает, что приложенная к струне сила пропорциональна $e_s e$, где e_s — напряжение пробной частоты, а e — напряжение, обусловленное звуковым процессом. Если собственная частота струны очень низка, то каждый раз как пробная частота начинает совпадать с какой-либо компонентой звука, струна будет соколебаться в ритме разностного колебания.

Людер ¹¹ произвел с помощью системы фильтров обширные статистические исследования по составу человеческой речи и по свойствам музыкальных звуков, особенно по оркестровой музыке. Мы приведем здесь краткое описание этой работы.

Ленточный микрофон с искусственно выравненной час-

тотной характеристикой работает через подходящий усилитель и выпрямитель на два прибора с вращающейся катушкой, обладающей достаточно большой инерцией. Один из этих приборов позволяет регистрировать при помощи рычажной передачи (Fallbügelapparatur) среднее значение давления, производимого на ленточку за данный интервал времени. * Другой прибор включен в схему для измерения импульса и регистрирует, также с помощью передачи, наибольшие значения давления за данный промежуток времени ¹². К усилителю могут быть попеременно присоединены 9 секций фильтра, и измерительные приборы будут давать показания только для той части процесса, частота которой лежит внутри диапазона частот, пропускаемого в данный момент данной секцией фильтра. Таким образом могут производиться статистические исследования средних и крайних значений давлений за данный промежуток времени.

Секции фильтра сконструированы так, чтобы они по возможности пропускали область частот только одной октавы. Область наиболее низкой октавы лежит между 25—50 герц; следующая между 50 и 100 герц и т. д. Верхняя октава лежит между 6 400 и 12 800 герц. Кривые поглощения отдельных секций фильтра изображены на рис. 9, из которого видно, что только в высоких октавах достигается прямоугольная форма графика пропускания фильтра. О различных результатах исследований, произведенных этим прибором, будет говориться в разделе III.

Методы осциллографического исследования звука нашли себе обширное применение в различных областях при точном исследовании сложного звукового процесса. На ряду с исследованием музыкальных звуков ¹³ производились исследования шума самолетов ¹⁴. Объективное исследова-

* Обычно в акустике дается среднее квадратическое значение давления; следует отметить, что в противоположность этому измерения Людера дают среднее арифметическое значение. Так как среднее арифметическое значение давления за целый период необходимо равно нулю, то схема выполнена таким образом, что значение давления получается за половину периода, например, за время возрастания давления.

ние звука позволило дать объяснения сердечных и легочных шумов ¹⁵.

Звуковая картина биения сердца является важным критерием для определения болезненных изменений отдельных частей сердца. Замыкание сердечного клапана вызывает звуковое явление, известное под названием сердечного тона.

Неперы

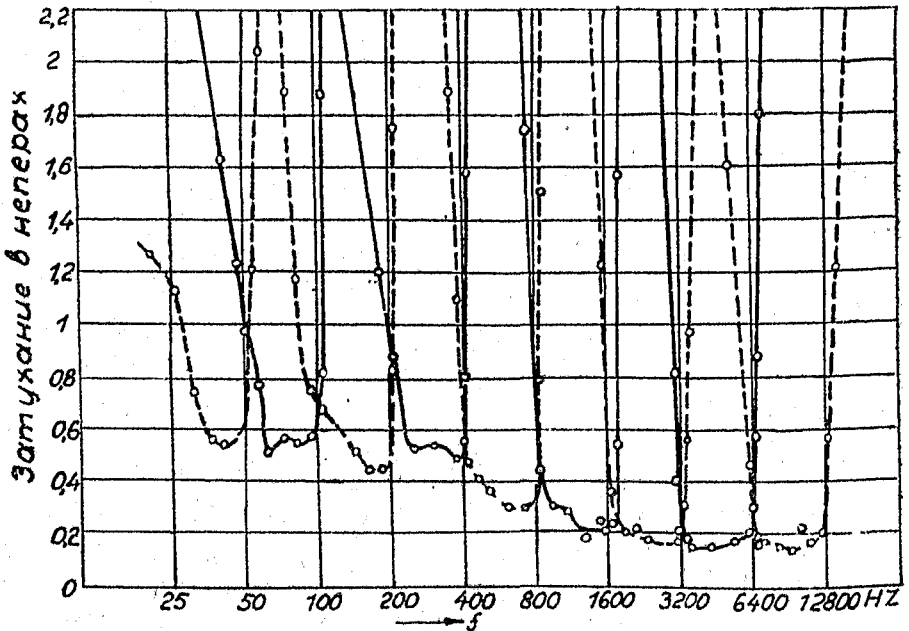


Рис. 9. Области частот, пропускаемые октавным фильтром.

Склероз клапана узнается по звуковой картине тем, что в противоположность здоровому сердцу сердечные тоны обнаруживаются в виде серий длительных, слабо затухающих колебаний. Особо важное значение для диагноза имеют сердечные шумы, возникающие при протекании крови через суженные или отвердевшие клапаны; в звуковой картине нормального сердца обнаруживаются только сердечные тоны, обусловленные замыканием сердечного клапана. Точное наблюдение сердечных шумов и особенно точное определение их положения во времени внутри периода биения

сердца возможно сделать с помощью объективной записи звука с большой точностью, но тем не менее тут возникли некоторые трудности. Эти трудности заключаются в том, что многие шумы, которые при непосредственном, субъективном наблюдении кажутся громкими, на осциллограмме или совсем не заметны или заметны весьма незначительно; в то же время в объективном изображении преобладают сердечные тоны, которые ухом или едва воспринимаются или не воспринимаются вовсе.

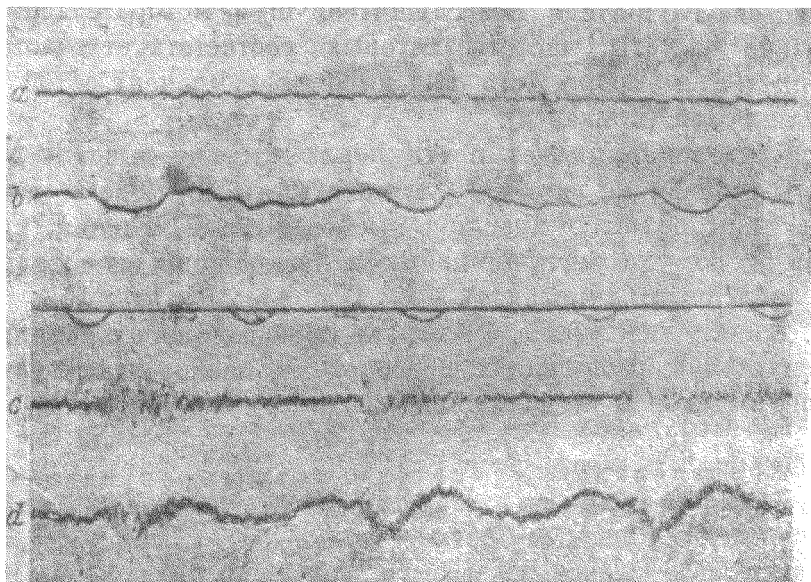


Рис. 10. Звуковая картина шума выхлопа мотора.

Это объясняется большой зависимостью человеческого слуха от частоты; ухо весьма чувствительно к высоким тонам и не чувствительно к низким. Поэтому сердечные тоны, лежащие в области низких частот, воспринимаются слухом гораздо слабее, чем более высокие сердечные шумы.

Разница между объективно-физическим и субъективным наблюдением исчезла после того, как записывающий аппарат был дополнен специальным усилителем с емкостной связью (с конденсаторами малой емкости), так что частот-

ная характеристика устройства стала соответствовать характеристике человеческого уха ¹⁶.

Усилители, работающие подобно человеческому уху, с успехом применялись для исследования различных звуковых явлений ¹⁷.

Рис. 10 дает звуковую картину шума выхлопа автомобильного мотора. Кривые *b* и *d* дают физически объективную картину выхлопа с глушителем и без него. Кривые *a* и *c* дают то же самое, но с применением усилителя, работающего подобно человеческому уху. Из кривых ясно видно действие глушителя. Без глушителя шум мотора содержит низкие частоты, частота которых соответствует частоте всплеск и кроме того ряд высоких компонент с той же амплитудой (кривая *d*).

Слух воспринимает почти исключительно высокие частоты (кривая *e*); включая глушитель, мы заглушаем высокие тоны, оставляя низкие тоны почти без изменения (кривая *b*), но ухо воспринимает эти низкие тоны значительно ослабленными (кривая *a*).

В последнее время в Америке производились с помощью усилителей, работающих подобно уху, исследования уличного шума ¹⁸ и шума машин ¹⁹.

2. Компенсационные методы точного определения фазы и амплитуды периодических колебаний давления.

Метод компенсации может с большим успехом применяться во всех акустических задачах, где нужно с достаточной точностью определить амплитуду и фазу давления чисто периодического акустического процесса. Акустические измерения методом компенсации были впервые произведены Э. Герлахом ²⁰ в его работах с ленточным микрофоном, причем компенсация приложенных к ленточке сил звукового поля достигалась электродинамическим путем. Э. Мейер ²¹ компенсировал силу, приложенную к мембране конденсаторного микрофона, электростатическим путем. К. А. Гартман ²² также использовал электростатический принцип для компенсационных измерений. Ми-

крофон (рис. 11) включен по схеме Риггера; к V_0 подводится постоянное напряжение, к v — переменное напряжение частоты принимаемого звука, малое сравнительно с постоянным напряжением; этим последним будет компенсироваться приложенная к мембране сила звукового поля. Установка на нуль может быть выполнена при помощи телефона, включенного в лежащий за выпрямителем усилитель низкой частоты. Этим способом определяются частотные характеристики микрофонов, телефонов и громкоговорителей. Простой способ, особенно пригодный для измерения коле-

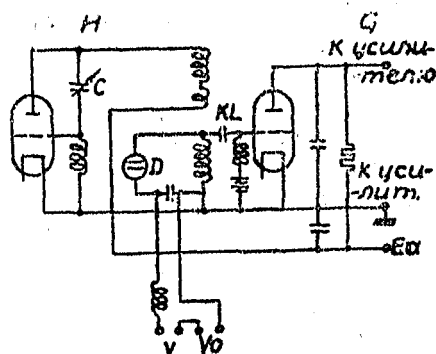


Рис. 11. Схема компенсационного метода с конденсаторным микрофоном.

баний давления в замкнутых акустических системах (как например трубопровод и т. п.); был дан Тишнером²³. Его компенсационное устройство состоит из телефона и звукоприемной системы. Движение телефонной мембраны может быть компенсировано электромагнитным путем с помощью тона соответствующей фазы и амплитуды,

пропускаемого через индукционную катушку телефона. Для наблюдения компенсации к обратной стороне мембраны телефона подведен небольшой микрофонный контакт, к которому присоединен телефон для слушания; этим телефоном субъективно устанавливается компенсация. Этот способ настолько чувствителен, что нет необходимости в усилителе между микрофонным контактом и наушниками.

Рис. 12 дает схему устройства для измерения колебаний давления в водопроводах. Ламповый генератор RS работает через фазовый регулятор P и делитель напряжения S_2 на телефон T_1 . Телефон служит для возбуждения звуковых волн в трубке. Делитель напряжения S_1 может нагружать токком компенсационный микрофон T_2 ; установка на нуль производится телефоном T_3 .

Описываемым способом была проверена теория распро-

странения звука в трубах. Уравнения распространения звука в трубах аналогичны уравнениям распространения электрических волн по проводам, известных под названием телеграфных уравнений. Колебания давления в акустических системах соответствуют переменному напряжению в электрических, а скорость частиц в акустической системе

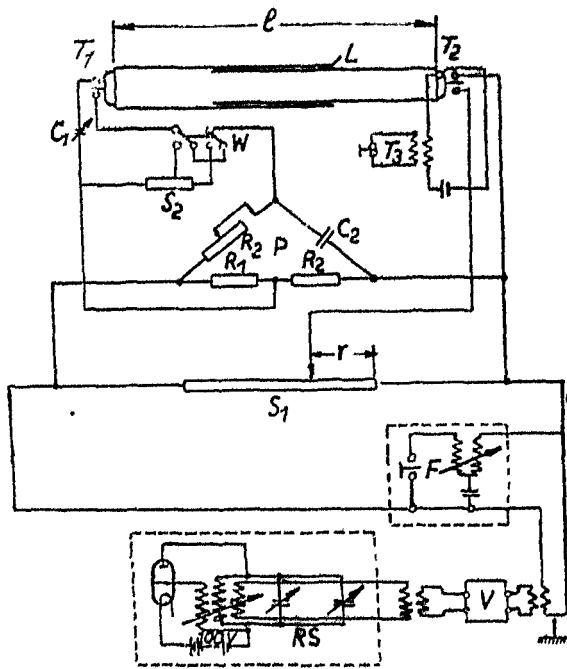


Рис. 12. Схема компенсационного метода Тишнера.

эквивалентна току в электрической. Для чисто периодического процесса телеграфное уравнение можно написать в виде: $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \gamma^2 U$, где U может означать как напряжение, так и ток (либо как давление, так и скорость частиц); константа распространения γ есть, вообще говоря комплексная величина $\gamma = \beta + i\alpha$, где α — фактор, определяющий фазу, а β — мера затухания. Затухание акустического проводника $\beta_{\text{ак}}$ можно вычислить на основании теории Гельмгольца²⁴ или на основе ании теории Н. и рх.

гофа ²⁶. По теории Гельмгольца

$$\beta_{ak} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2} \cdot \frac{1}{cr}},$$

где μ — коэффициент внутреннего трения, ρ — плотность воздуха, ω — угловая частота, c — скорость звука в свободном пространстве, r — радиус трубопровода.

По теории Кирхгофа необходимо еще принять во внимание теплопроводность; тогда нужно положить

$$\sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} + \left(V_k - \frac{1}{V_k} \right) V_\nu,$$

где $k = c_p/c_v$ и $\nu = 5\mu/2\rho$ — кинематический коэффициент вязкости Максвелла.

Точные наблюдения стоячих волн в трубах методом компенсационного микрофона, произведенные Тишнером, показали, что решение дифференциального уравнения, данное Кирхгофом, более соответствует действительности, и следовательно теплопередача должна приниматься во внимание ²⁶.

При помощи компенсационного микрофона было также определено влияние заглушающих поверхностей в трубах; о результатах этих исследований будет сказано в разделе V.

II. Трегер ²⁷ исследовал при помощи компенсационного микрофона образование стоячих волн в трубах, к одному из концов которых было приложено ухо, и таким образом определил физические свойства барабанной перепонки; об этих исследованиях будем говорить в разделе „Слух и речь“.

3. Другие способы определения величин, характеризующих звуковое поле

Метод измерения посредством диска Релея среднего квадратического значения скорости частиц все еще имеет большое значение. Преимуществом этого способа является то, что здесь легко выразить результаты измерения в абсолютных единицах. Недостатком этого способа является его большая чувствительность к воздушным течениям; измерения диском возможны лишь при тщательных предосторожностях и в закрытом помещении.

Л. Сивьян²⁸ описывает способ измерения диском Релея, при котором воздушные течения не так влияют на результаты. В этом способе амплитуда исследуемой звуковой волны (для простоты принимаемой синусоидальной) модулировалась колебанием, частота которого совпадала с собственной частотой диска. Тогда амплитуда крутильных колебаний диска, происходящих с собственной частотой, может быть использована как мера интенсивности исследуемых стоячих волн. Гольдбаум и Ветцман²⁹ пробовали определять в абсолютных единицах интенсивность звука путем измерения в звуковом поле среднего охлаждения нагретой проволоки. Исследования проводились в стоячих волнах, возбуждаемых в трубке телефоном как генератором звука. Амплитуда давления в стоячей волне измерялась мембранным манометром по М. Вину, так что можно было вычислить интенсивность звука в абсолютных единицах. При измерении охлаждения измерительной проволоки 20 мм длины, нагреваемой постоянным током и включенной в цепь мостика, получилось, что эффект охлаждения при увеличении частоты значительно уменьшается, и поэтому возможность произвести непосредственно абсолютные измерения данным способом чрезвычайно мала.

В 1927 г. было признано³⁰ невозможным непосредственно определить путем акустического измерения мощность, излучаемую источником звука. Тем не менее Э. Мейер и П. Юст³¹ очень просто разрешили эту проблему чисто акустическим путем. Исследуемый источник звука помещается в закрытом, сильно отражающем пространстве. Согласно известному уравнению архитектурной акустики для средней плотности энергии в замкнутом пространстве в случае стационарного состояния, имеем:

$$E = \frac{4L}{Ac},$$

где L — мощность источника звука, A — общее поглощение пространства, c — скорость звука. Среднюю плотность энергии удобно определять посредством звукоприемника, градуированного в абсолютных единицах, например посредством конденсаторного микрофона. Плотность энергии и эффектив-

ное значение давления связаны следующим соотношением:

$$E = \frac{p^2}{c^2 \rho}.$$

Значение общего поглощения удобнее всего определить измерением времени реверберации. Между временем реверберации и общим поглощением существует следующая зависимость:

$$AT = kV,$$

где V — объем в m^3 и $k = 0,16$ — константа. О новейших методах измерений реверберации будет сказано в дальнейшем.

Затруднение, возникающее при применении данного способа, заключается в том, что в помещении с сильно отражающими стенками возникает система стоячих волн и плотность энергии меняется от точки к точке. Поэтому выгоднее всего работать с несинусоидальными тонами; лучше всего — с „воющими“ тонами, т. е. с такими, частота которых меняется в определенных узких границах. Если источником звука служит зуммер, то для получения „воющего“ эффекта применяется небольшой конденсатор переменной емкости, приводимый во вращение электромотором. Своим вращением конденсатор непрерывно варьирует частоту звука ³².

Акц. о-вом „Линдстрем“ были введены в употребление граммафонные пластинки, записанные воющими тонами. Эти пластинки совместно с электрическими адаптерами могут быть применяемы для возбуждения громкоговорителей при различных акустических исследованиях ³³. Далее во избежание ошибок, связанных с возникновением стоячих волн, рекомендуется пользоваться при различных акустических измерениях движущимися громкоговорителями и микрофонами и употреблять большой отражающий экран, который также должен приводиться в движение. Снек и Цвинер ³⁴ нашли, что средняя ошибка при применении этого способа в области от 100 до 500 герц равна 14%, а при применении воющих тонов она уменьшается до 9%.

Получили развитие также методы косвенного определения акустической мощности звукоизлучателя. Для определения коэффициента полезного действия электрических

звукоизлучателей Граф³⁵ применял метод, известный из гидроакустической техники: снятие резонансных кривых в воздухе и в вакууме без возбуждения поля. Таким образом он определил помощью чисто электрических измерений коэффициент полезного действия ленточного громкоговорителя, ленточка которого была путем натяжения настроена на частоту 800 герц.

Для определения акустических свойств помещений, в которых исполняется речь или музыка, чрезвычайно важно знать время реверберации; поэтому было сделано много попыток измерения реверберации объективным путем с тем,

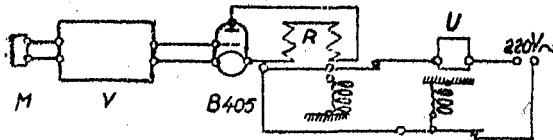


Рис. 13. Способ автоматического измерения реверберации.

чтобы тем самым уменьшить ошибки, получающиеся при субъективных наблюдениях. Э. Мейер и П. Юст³⁶ снимали кривые затухания звука осцил-

лографическим путем, но так как обычно амплитуда, убывая по экспоненциальному закону, становилась в течение короткого промежутка времени весьма малой, то через известный промежуток времени включался (при помощи автоматического реле) усилитель, увеличивавший чувствительность в определенное число раз, например в 10. Кроме того измерения удобнее производить не с чистыми, а с воющими тонами (о значении которых для измерения акустики помещений мы говорили выше). Таким образом можно избежать заметных неровностей в ходе кривой затухания звука, в среднем определяемой экспоненциальным законом.

М. Стрёт³⁷ описывает автоматический способ снятия кривых реверберации (рис. 13). В этом способе при включении источника звука автоматически включаются часы; выключение часов производится после того, как количество энергии достигнет определенного значения, посредством реле, соединенного с микрофоном. Этот способ в достаточной мере точен, так что измерения можно производить с точностью до 0,01 сек.

Кроме вышеизложенного можно еще указать на очень простой способ определения звукопроницаемости материалов. Рис. 14 дает схему способа Мейера³⁸: 2 комнаты разделены стеной из испытуемого материала; в одной из комнат находится громкоговоритель, служащий источником звука. Два одинаковых микрофона служат для приема звука: один принимает звук в том же помещении, где находится громкоговоритель, другой — звук, прошедший через стену в другое помещение.

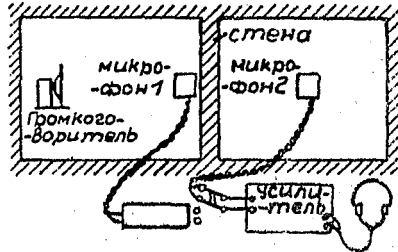


Рис. 14. Измерение звукопроницаемости по методу Мейера.

Субъективное сравнение громкости и уравнивание громкостей посредством введения некоторого затухания дает возможность определить величину звукопроницаемости, мерой которой является введенное затухание.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Z. Hochfr., 28, 54 u. 84, 1926.
2. Z. Hochfr., 32, 27, 94, 131, 173 u. 202, 1928, русский перевод УФН, 10, 593, 1930.
3. K. W. Wagner, E. N. T. 7, 174, 1930.
4. Вопросы новейшей акустики освещены в трудах:
Hdb. d. Phys. hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, Bd. VIII, Berlin 1927; Müller-Pouillers, Lehrb. d. Phys., hrsg. v. E. Waetzmann, Bd. 1/3, Braunschweig 1929.
5. E. Meyer E. N. T. 5, 398, 1928.
6. Ср. напр. M. Grutzmacher, E. N. T. 4, 533, 1927; E. Gerlach Z. f. techn. Phys. 8, 515, 1927; C. R. Moore u. A. S. Curtis. Bell. Syst. Techn. Journ. 6, 216, 1927.
7. H. Salinger, E. N. T. 6, 293, 1929.
8. M. Grutzmacher. Z. f. techn. Phys. 10, 570, 1929.
9. Устройство будет описано в работе:
C. H. Walter „Über eine neue Gleichrechteranordnung und ihre Ver-
wendung in der Messtechnik“.
Grutzmacher, Z. f. techn. Phys. 10, 577, 1929.
10. H. Lueder, Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konz. IX/2, 167, 1930; под тем же устройством: L. J. Sivian. Bell. Syst. Techn. J. 8, 616, 1929.
11. По вопросу о статистике амплитуд см. H. G. Baerwald. E. N. T. 7, 362, 1930.

13. H. Backhaus, *Naturwiss.* 77, 811, 1929.
14. J. Obata u. Y. Yosida, *Rep. Aeron. Res. Ins. Tôkyô Imp- Univ.*, V/6, 144, 1930.
15. F. Trendelenburg, *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konz.* VI/2, 184, 1928. K. Posener u. F. Trendelenburg, *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konz.*, VIII/2, 228, 1929; E. Bass, *Z. f. exp. Med.* 59, 133, 1928; 63, 578, 1928; A. Pierach, *Klin. Wochschr.* 9, 645, 1930; F. M. Groedel, *Verhdl. d. Ges. f. inn. Ned.* 41 Kongr. 372, 1929.
16. См. K. Posener u. F. Trendelenburg, *Z. f. t. Ph.* 9, 495, 1928.
17. H. Gerdien, H. Pauli u. F. Trendelenburg, *Z. f. techn. Phys.* 10, 374, 1929.
18. „City Noise“ hrg. v. d. Noise Abatement Commission Dep. of Health. City of New York 1930. Cp. R. H. Galt, *Journ. Ac., Soc. Amer.* 2, 30, 1930.
19. B. A. G. Churcher u. A. J. King, *J. I. E. E.* 68, 97, 1930.
20. E. Gerlach, *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konz.* Bd. 111/1, 139, 1923.
21. E. Meyer, *E. N. m.* 3, 290, 1926.
22. C. A. Hartmann, *E. N. T.* 4, 86, 1927.
23. H. Tischner, *E. N. T.* 7, 192, 1930.
24. H. V. Helmholtz, *Crelles Journal* 57, 1860.
25. G. Kirchhof, *Pogg. Annal.* 134, 177, 1868.
26. Результаты, полученные Лихте, исследовавшим распространение звука в трубах, с этим совпадают: H. Lichte *E. N. T.* 44, 304, 1927.
27. J. Tröger, *Phys. Z.* 31, 26, 1930.
28. L. J. Sivian, *Phil Mag.* (VII) 5, 615, 1928.
29. G. Golbaum u. E. Waetzmann, *Z. Physik*, 54, 179, 1929; H. Muller u. E. Waetzmann (*I. Physik* 62, 167, 1930).
30. F. Trendelenburg im *Handbuch. d. Physik* von H. Geiger u. K. Schell, VIII, 1927.
31. E. Meyer u. P. Just, *Z. f. techn. Phys.* 10, 309, 1929.
32. *Mitteilungen a. d. R. P. Z. Z. Hochfr.* 33, 184, 1929.
33. E. Meyer u. P. Just *E. N. T.* 5, 293, 1928.
34. J. L. Snoek u. C. Zwikker, *Physica* 10, 219, 1930.
35. Z. Graf, *Z. f. techn. Physik.* 10, 334, 1929. Cp. E. D. Cook, *Gen. El. Rev.* 53, 509, 1930.
36. E. Meyer u. P. Just, *E. N. T.* 5, 293, 1928.
37. M. J. O. Strutt, *E. N. T.* 7, 280, 1930.
38. E. Meyer *Z. d. V. d. J.* 74, 273, 1930; измерения звукопроницаемости посредством термомикрофона были проведены К и ц о м, *Phys. Z.* 30 145, 1929; об измерении звукопроницаемости ср. A. E. Knowler, *Phil Mag.* 70, 342, 1930 u. N. F. Hopkins, *Filmtechnik* 6, 15, 1930.

Ответственный редактор Э. В. Шпольский

ОГИЗ № 2537/м. НГ—80. Технический редактор С. Брильянтов. Сдано в набор 3/VIII 31 г. Подписано к печати 25/XI 31 г. Бумага печ. 62×80. Колич. печат. знаков на листе 26000. Ленинградский Областной № 27118. Вав. № 976. Тираж 4000

7-я тип. ОГИЗа РОФОР им. Бухарина, Ленинград, ул. Моисеенко, 10.