

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ****НАУЧНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ
И УЛЬТРАЗВУКУ****1. СЕКЦИЯ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ**

3—7 марта 1955 г. в Москве в помещении Физического факультета МГУ состоялось научное совещание по физической акустике и ультразвуку, созданное Комиссией по акустике, Акустическим институтом АН СССР, Московским Ордена Ленина государственным университетом имени М. В. Ломоносова и Ленинградским электротехническим институтом имени В. И. Ульянова (Ленина). Было заслушано 33 доклада, из них два доклада на пленарном заседании (Н. Н. Андреев и В. Л. Гинзбург), 15 докладов на секции физической акустики и 16 докладов на секции ультразвука.

На секции физической акустики были заслушаны доклады о распространении и излучении звуковых волн, об отражении, фокусировании и прохождении звуковых волн через различные системы, а также по некоторым вопросам акустических измерений и эффектов, возникающих при распространении звуковых волн в специальных средах.

В докладе «О величинах второго порядка в акустике» Н. Н. Андреев изложил вопросы о плотности и потоке звуковой энергии, импульсе и давлении звукового излучения. Первоначально эти вопросы были обсуждены в опубликованной работе автора, в дальнейшем они дискутировались в ряде работ других авторов. Вычислены поправки второго приближения к уравнениям гидродинамики. Автор считает, что расхождение между выполненным расчетом и обычными формулами плотности и потока энергии несущественно, хотя в принципе решение в первом приближении недостаточно для вычисления акустической энергии.

Докладчик отметил, что идея разделения энергий колебания на две части — «существенную» и «несущественную», указанная Шохом, должна быть дополнена формулировкой начальных и граничных условий, определяющих условия акустического опыта. Это положение иллюстрировалось в докладе случаем излучения передатчика в среду с отражающими границами. Далее отмечалось, что нельзя считать, что давление излучения определяется полной энергией. В действительности оно зависит от средней плотности потенциальной энергии, которая, вообще говоря, не равна средней плотности кинетической энергии.

Докладчик описал явление распространения пакета бегущих волн, ограниченного спереди слабым разрывом. Нелинейность в системе, необходимая для процесса выравнивания, обусловлена в данном случае нелинейностью самих уравнений и нелинейностью уравнения состояния.

Автор указал, что вопрос о возможности существования звукового ветра, не обусловленного вязкостью среды, остаётся открытым. В заключение было отмечено, что теория, включающая второе приближение, не может охватить многих интересных явлений без учёта вязкости и теплопроводности.

Доклад В. Л. Гинзбурга «Об общей связи между поглощением и дисперсией звуковых волн» состоял из двух частей. В первой части автор отметил, что при рассмотрении вопроса о поглощении и дисперсии электромагнитных и звуковых волн в различных средах на основе определённых модельных представлений или феноменологических уравнений всегда оказывается, что дисперсия и поглощение связаны между собой. Это обстоятельство не случайно, а отражает факт существования между дисперсией и поглощением весьма общей связи, не зависящей от тех или иных модельных представлений. Был освещён вопрос о связи между дисперсией и поглощением электромагнитных волн, которая хотя и была установлена давно, но недостаточно хорошо известна. Во второй части доклада был рассмотрен вопрос об универсальной связи между дисперсией и поглощением звуковых волн.

В докладе были обсуждены условия получения и применимости интегральных соотношений между вещественными скоростями звука частот ω_1 , ω_2 и амплитудными коэффициентами поглощения звука на этих частотах. Интегралы берутся в границах от нуля до ω_0 , где ω_0 — максимальная частота, при которой ещё применимо звуковое приближение. Приведённые выражения позволяют производить оценку поглощения по известной дисперсии и определять дисперсию по известному поглощению.

Докладчик в заключение указал, что вопрос о точности и значимости подобных оценок определяется полнотой и точностью имеющихся данных о дисперсии и поглощении звука в рассматриваемой среде.

Г. С. Горелик в докладе «Об измерении весьма малых амплитуд акустических колебаний» дал короткий обзор работ, относящихся к измерению малых акустических колебаний с помощью оптического модуляционного интерференционного метода, предложенного докладчиком и усовершенствованного в дальнейшем И. Л. Бернштейном. Этот метод аналогичен во многом микрофазометрическому методу, рассмотренному ранее И. Л. Бернштейном для некоторых радиофизических задач.

Рассматриваемый метод основан на обнаружении и измерении весьма малых периодических изменений разности хода двух световых лучей, с помощью периодического изменения тока в фотоэлектрическом приёмнике, которое может быть выделено на фоне шумов узкополосным фильтром. Предел чувствительности определяется флуктуациями в аппаратуре и может быть произвольно снижен ценою увеличения временной постоянной аппаратуры. Расчёты и эксперименты показали, что таким путём могут быть довольно просто обнаружены периодические разности хода двух световых лучей порядка 10^{-2} и даже 10^{-3} ангстрем.

Измерения производятся с помощью двухлучевого оптического интерферометра, в одном из плеч которого периодически изменяется оптическая длина пути. Такое изменение может происходить, например, вследствие механических колебаний одного из зеркал интерферометра либо вследствие периодического изменения показателя преломления оптически прозрачной среды из-за распространения в ней акустической волны.

Регистрирующее устройство состоит из щели, параллельной интерференционным полосам, фотоумножителя и узкополосного электрического фильтра, настроенного на частоту изменения разности хода. Ток на выходе фильтра измеряется стрелочным прибором.

Это устройство позволяет измерять весьма малые амплитудные смещения зеркала либо весьма малые периодические изменения показателя преломления, а следовательно, и плотности среды. Автор указал, что разработанный метод позволяет также измерять с большой абсолютной точностью сравнительно большие акустические колебания.

Л. М. Бреховский доложил о «Некоторых вопросах распространения волн в слоях». Определение характеристик распространяющихся в слоях нормальных волн: фазовой и групповой скорости, затухания и др. вызывает большие математические трудности, поскольку оно связано с исследованием интегральных выражений для поля в комплексной плоскости. Автор предложил более простой и элементарный метод для определения характеристик нормальных волн, позволяющий также сделать некоторые качественные заключения о степени возбуждения различных нормальных волн.

Рассматривая поле на сравнительно больших расстояниях от излучателя, где волны можно представлять плоскими, докладчик выразил граничные условия через коэффициенты отражения на границах. В результате он нашёл соотношение между коэффициентами отражения, толщиной слоя и углами наклона плоских волн, позволяющее определить искомые характеристики нормальных волн. Рассмотрены волны в жидких слоях и в слоях, в которых среда обладает сопротивлением сдвига. Анализ предельной формы найденного соотношения в случае бесконечно толстого слоя и наличия малого затухания позволяет найти условия образования поверхностных волн (аналогичных волне Релея), распространяющихся вдоль верхней и нижней границы слоя.

В частном случае жидкого слоя, ограниченного упругой средой и свободной поверхностью, получается известное по литературе дисперсионное уравнение для жидкого слоя, лежащего на упругом полупространстве. Аналогичным образом могут быть исследованы случаи и, например, трёхслойного жидкого полупространства. Для этого только необходимо учесть коэффициент отражения от слоя, разделяющего две различные среды.

Ю. П. Лысанов изложил расчёт «рассеяния звука от неоднородной поверхности с периодически меняющимся нормальным импедансом».

Решение задачи для плоской периодической неоднородной поверхности, характеризуемой нормальным импедансом или акустической проводимостью, не зависящей от угла падения звуковой волны, представлено в виде ряда, для n -го члена которого получена рекуррентная формула. Численный расчёт показывает, что рассеяние весьма значительно при малых углах падения и убывает по мере увеличения угла падения. Метод применим при любых соотношениях между длиной волны звука и пространственным периодом неоднородности. Сравнение полученных результатов с приближённым решением, полученным в предположении, что свойства неоднородной поверхности мало меняются на расстояниях порядка длины волны, позволяет дать количественную оценку границ применимости приближённого решения.

Расчёт коэффициента поглощения периодически неоднородной поверхности показал, что при малых углах падения его значения несколько меньше значений коэффициента поглощения для однородной поверхности с акустической проводимостью, равной среднему значению акустической проводимости неоднородной поверхности. Рассматриваемая задача представляет интерес для некоторых вопросов архитектурной акустики, в частности для отражения звука от канеллур, поверхности с чередующимися полосами отражающего и звукопоглощающего материалов и др.

Л. А. Чернов рассказал «О корреляции флуктуаций амплитуды и фазы при распространении волн в статистически неоднородной среде».

Теоретическое исследование наиболее общих статистических характеристик поля в среде со случайными неоднородностями — корреляционных функций для амплитуд и проч. показывает, что флуктуации амплитуды и фазы в точке приёма, вообще говоря, коррелированы. Однако корреляция ослабевает с дистанцией. Коэффициент корреляции между флуктуациями амплитуды и фазы падает от значения 0,6 на малых дистанциях до нуля на больших дистанциях. Автокорреляция амплитуд (или фаз) в пространстве существенно зависит от расположения приёмников. Когда приёмники расположены в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения, автокорреляция простирается на расстояние порядка радиуса корреляции показателя преломления в среде. Докладчик отметил, что это открывает новые возможности к изучению свойств среды. Определив экспериментально радиус поперечной автокорреляции волнового поля, можно тем самым найти характерный масштаб неоднородностей в среде. Продольная автокорреляция между флуктуациями амплитуды (или фазы) простирается на значительно большее расстояние, чем поперечная: на расстояние, в пределах которого применимо лучевое рассмотрение. Практически ослабление статистической зависимости определяется поперечным смещением приёмников. Корреляция амплитуд во времени исследована для того случая, когда изменение неоднородностей со временем обусловлено их движением относительно наблюдателя или, что то же, движением наблюдателя относительно неоднородностей. Это дало возможность объяснить вид временной корреляционной функции, полученной в результате наблюдений Шихи на движущемся корабле.

Доклад С. Н. Ржевкина касался теории и некоторых результатов экспериментального исследования «излучателей звука с бегущей волной».

Когда на поверхности сферы бежит в азимутальном направлении волна типа $\xi u = u_m \sin^n \vartheta e^{i(\omega t - m\psi)}$, где u_m — амплитуда скорости на экваторе, ϑ — полярный угол, ψ — азимут, m , n — целые числа, в поле, окружающем сферу, возникают волны, также бегущие в азимутальном направлении. Автор нашёл выражения для потенциала скоростей звукового поля, выражения для вектора Умова в радиальном и азимутальном направлениях, вычислил амплитуды звукового давления, величины присоединённой массы, мощность излучения и некоторые другие величины.

При больших n излучение концентрируется в круговом экваториальном поясе в направлениях, близких к $\vartheta = \frac{\pi}{2}$. Интенсивность звука не зависит

от ψ и при $r = \text{const}$ в азимутальном направлении везде одинакова, что является характерной особенностью излучателя с бегущей волной. Для излучателя с бегущей волной существует как радиальный, так и азимутальный поток энергии. Азимутальный поток резко убывает с расстоянием, причём он замыкается кольцом вокруг сферы и имеет реактивный характер.

Излучатель секториального типа со стоячими волнами на поверхности, для которого радиальная скорость на поверхности задаётся выражением $u = u_m \sin^m \vartheta \cos m\psi e^{i\omega t}$, можно рассматривать как суперпозицию двух излучателей с бегущей волной, имеющих равные амплитуды, но противоположные направления бегущих волн.

Установлена аналогия между рассматриваемым излучателем и ротационным излучателем — быстро вращающейся жёсткой сферой с синусоидальными бороздками. Эффективность излучения резко возрастает при росте отношения окружной скорости волны v к скорости звука c . Если окружная

скорость много больше скорости звука, излучение стремится к максимальной величине, не зависящей от отношения $\frac{v}{c}$.

Развитая теория, будучи ограничена линейным приближением, неприменима для ротационных излучателей из-за неучёта при больших окружных скоростях вязкостных эффектов и возникновения ударных волн.

Для экспериментального исследования применялся стальной цилиндрический стакан, по окружности которого были снаружи поставлены на расстоянии в четверть (или три четверти) два электромагнитных возбuditеля, между которыми устанавливался сдвиг фазы $\frac{\lambda}{4}$. Создавая каждым из возбuditелей одинаковые амплитуды возбуждения стоячих волн (что соответствовало возбуждению резонансных колебаний секториального типа), можно было осуществить при совместной работе возбuditелей бегущую волну.

Распределение звукового давления вокруг излучателя при возбуждении бегущими волнами было равномерно, при возбуждении же стоячими волнами показывало ряд минимумов и максимумов в зависимости от азимута.

Совещанию был представлен доклад Г. Д. Малюжинец «О краевом эффекте больших излучателей». Автор заметил, что энергия, излучаемая поршнем, колеблющимся в бесконечном жёстком экране, отличается от энергии, излучаемой равной по площади частью бесконечного поршня, активной и реактивной добавками. Если увеличивать размеры поршня, то доля активной добавки, отнесённой к единице окружной длины поршня, стремится к нулю, а реактивной — к некоторой величине. Последнее равносильно эффекту присоединённой массы, приходящейся на единицу края, равной $m_1 = \frac{\rho \lambda^2}{4\pi^2}$, где λ — длина волны, ρ — плотность. То обстоятельство,

что доля активной добавки энергии, приходящейся на единицу длины края, стремится к нулю, имеет большой интерес для оценки роли краевого эффекта.

Далее рассмотрена величина энергии, приходящейся на остриё двухгранного колеблющегося клина с различными скоростями на гранях. Воспользовавшись им самим найденным точным решением звукового поля в клиновидной области, автор вычислил краевую поправку для клина с бесконечными гранями и нашёл, что независимо от соотношения скоростей, на гранях она чисто реактивна. Наличие края совсем не влияет на среднюю излучаемую мощность, независимо от угла раствора клина.

Чтобы сделать более наглядным рассматриваемый эффект, докладчик в качестве примера приводит случай одинаковых нормальных скоростей на обеих гранях клина, трактуя при этом клин как результат перегиба бесконечной плоской излучающей пластины. Теория показывает, что при этом активная мощность сохраняется постоянной, независимо от угла перегиба. Появляется лишь дополнительная реактивная мощность P_r , величина и знак которой зависит от угла α клина. При $\alpha = 180^\circ$ (плоская пластина) $P_r = 0$; при $\alpha = 90^\circ$ $P_r = -0,5$ (сопротивление излучению внутрь клина имеет упругий характер), при $\alpha = 0^\circ$ $P_r = -\infty$, при $\alpha = 360^\circ$ $P_r = +0,16$ (сопротивление излучению наружу имеет инерционный характер).

Г. И. Макаров и Н. Н. Шапошников доложили о результатах расчёта «нестационарного излучения сферы и сферического сегмента».

Авторы исследовали звуковое поле сферы, приведённой в колебания, описываемые быстро изменяющейся или разрывной функцией. Интегрирование волнового уравнения для потенциала скорости с нулевыми началь-

ными данными и граничными условиями, заданными на поверхности сферы, производилось методом неполного разделения переменных. Волновое уравнение подвергалось преобразованию Лапласа и находились собственные функции задачи, после чего граничные условия разлагались в ряды по найденным собственным функциям и общее решение задачи представлялось в виде аналогичных же рядов, коэффициенты которых определялись. В результате решение задачи представлялось бесконечной суммой контурных интегралов.

Решение исследовалось методом асимптотических оценок, предложенным Г. И. Петрашенъ. Поле в окрестности волновых фронтов описывается быстро меняющейся, или разрывной функцией. Так как каждый член ряда, представляющего решение, представляет собой непрерывную функцию, то основную роль в формировании фронтов играют последние члены ряда. Это позволяет производить вычисление контурных интегралов асимптотическими методами, например методом стационарной фазы, суммировать бесконечные ряды, построить волновые фронты и найти простые формулы, описывающие поле в их окрестности. В удаленной от фронтов области поля, где устанавливается стационарная картина дифракции, ряды, описывающие решение, экспоненциально сходятся, и достаточно вычислить несколько первых членов ряда. В случае возбуждения сегмента гармоническим колебанием в этой области выделяются характерные резонансные члены, причём резонансные частоты и коэффициенты затухания связаны с размерами сферического сегмента.

Доклад Л. М. Лямшев: «Отражение звука тонкими пластинками в воде» был посвящён описанию нового эффекта сильного незеркального отражения тонкой пластинкой при падении на неё плоских звуковых волн из жидкости. Этот эффект обусловлен распространением в пластинке вдоль её поверхности продольных волн, возбуждаемых падающей звуковой волной через поперечные сжатия пластинки. Новый эффект подобен ранее отмеченному Финни эффекту незеркального отражения, обусловленного изгибными колебаниями пластинки. Дана теория отражения и передачи звука тонкой пластинкой конечных размеров с учётом продольных и изгибных волн в пластинке. Теория находится в хорошем согласии с экспериментальными данными. Установлено, что при рассеянии звука тонкой ограниченной пластинкой наблюдается резонанс сложного вида: резонанс по частоте, когда собственная частота одной из форм колебаний пластинки совпадает с частотой падающего звука, и пространственный резонанс, когда распределение давления вдоль пластинки в падающей волне совпадает с одной из собственных форм колебаний пластинки. Для выяснения условий стационарности колебаний пластинки наряду с временем установления колебаний целесообразно пользоваться понятием длины пространственного установления. Экспериментально исследована тонкая структура незеркального отражения. Показано теоретически, что тонкая структура незеркального отражения обусловлена явлением пространственно-частотного резонанса в пластинке.

Доклад А. Н. Бархатова был посвящён описанию лабораторной установки по изучению распространения звука в слоисто-неоднородной среде. На лабораторной установке проще отделить влияние на распространение звука одних факторов от влияния других и выявить наиболее существенные из них. Поэтому такой метод, не заменяя исследования явления в природных условиях, может помочь его пониманию. С помощью теплового воздействия и применения растворов поваренной соли различной концентрации были созданы и исследованы два случая распространения волн: 1) в среде с постоянным отрицательным вертикальным градиентом скорости звука, 2) в поверхностном изотермическом слое при наличии ниже его среды с постоянным отрицательным вертикальным градиентом скорости звука.

Экспериментальная установка состояла из ванны с поверхностным нагревателем и донным охладителем, подвижных термометров, координатника, излучателя звука с генератором, приёмника с усилителем и звукозаписывающего устройства. Поверхность воды, налитой в ванну, равномерно нагревалась плоской электрической печью, расположенной на некотором расстоянии от поверхности воды. Наряду с этим применялось донное охлаждение воды с помощью батареи узких трубок, проложенных по дну ванны, по которым протекала вода с температурой $2-4^{\circ}\text{C}$. Устойчивый постоянный градиент по всей глубине ванны образовывался спустя 30—40 часов совместного действия нагревателя и охладителя в определённом режиме их работы, найденном на опыте.

Для получения над средой с постоянным отрицательным градиентом скорости звука поверхностного изотермического слоя применялось резкое охлаждение поверхности воды путём быстрого понижения температуры воздуха в лаборатории и создания ветра с помощью вентилятора.

Подробно изучена область звуковой тени, образующейся в звуковом поле при постоянном вертикальном градиенте температуры. Результаты измерений в основном совпадают с теорией Пекериса. Изучено звуковое поле излучателя, расположенного внутри поверхностного изотермического слоя при ниже лежащей среде с постоянным отрицательным градиентом скорости. Найдено, что величина затухания звука в поверхностном слое на определённом расстоянии от излучателя характеризуется параметром s , введённым Л. М. Бреховских, причём при одинаковом значении s ближе к излучателю звуковое поле зависит от толщины поверхностного слоя и величины градиента скорости. Величина затухания при прочих равных условиях тем меньше, чем глубже проходит в изотермическом слое уровень измерения. Изучение вертикальной картины распределения звука показало, что чем толщина изотермического слоя больше, тем вертикальная картина звукового поля получается более изрезанная и тем сильнее, чем ближе находится плоскость наблюдения к излучателю; на значительных расстояниях от излучателя интерференционные максимумы и минимумы выражены слабо при общем росте интенсивности звука с глубиной.

Доклад Ю. М. Сухаревского и А. Г. Соколинского «Излучение кварцевого вибратора в твёрдую среду» был посвящён в основном выяснению роли контактного слоя жидкости между вибратором и твёрдой средой на частотные характеристики излучения звука.

Из практики известно, что влияние этого слоя на излучение очень велико и, в частности, увеличение толщины слоя сужает частотную полосу излучения. Докладчики исследовали теоретически и экспериментально работу кварцевого вибратора, нагруженного на бесконечную твёрдую среду через контактный слой, тонкий сравнительно с длиной волны. Они нашли, что частота максимума излучения совпадает с резонансной частотой только при идеальном акустическом контакте с твёрдой средой и при очень слабом контакте. В промежуточном (реальном) случае резонансная частота системы при наличии переходного слоя сдвигается вверх, а следовательно, частота максимума чувствительности не совпадает с резонансной частотой кварца. Максимум сдвига частоты может достигнуть нескольких десятков %. При жидких контактных слоях даже весьма малой толщины относительная полоса частот не превышает 0,2—0,3, при твёрдых контактных слоях полоса частот расширяется, однако для поперечных волн и при твёрдых слоях получение широкой полосы частот представляет трудность. Результаты расчёта хорошо сходятся с экспериментальными данными.

Л. Д. Розенберг сообщил о методике и результатах расчёта «звуковых фокусирующих цилиндрических систем». Указав на удобство приме-

нения таких систем для облучения непрерывно перемещающихся по конвейеру не очень больших предметов, например при ультразвуковой очистке, докладчик отметил, что до сих пор расчёт их фокусирующего действия не производился.

Докладчиком были получены интегральные формулы для расчёта звукового давления и колебательная скорость бесконечно длинных систем с произвольным распределением потенциала по дуге цилиндра, в предположении малости длины волны по сравнению с размерами излучателя. Анализ этих формул позволил установить, что оптимальные функции распределения потенциала (для которых давление и скорость по оси системы будут наибольшими при заданном потоке энергии сходящегося волнового фронта) получаются такими же, как и для осесимметричных систем. Например, для максимума звукового давления должно быть равномерное распределение потенциала.

Докладчик вычислил факторы фокусировки, т. е. отношения фактического усиления, даваемого данной системой, к той наибольшей величине, которую можно получить, используя имеющийся поток энергии (на единицу осевой длины фронта), для различных частных случаев распределения потенциала по поверхности цилиндра, в том числе для цилиндрических параболических зеркал.

Б. Д. Тартаковский и доложил об «Ультразвуковых фильтрах». Используя ранее развитые общие методы расчёта перехода плоских звуковых волн через произвольную совокупность однородных плоских слоёв, автор нашёл условия подбора таких совокупностей слоёв, которые позволяют выделить или запереть ультразвуковые волны заданной полосы частот, либо заданного направления. Разработаны методы расчёта таких ультразвуковых частотных фильтров и фильтров направления.

Элементарным фильтром является уже полуволновая пластина, выполненная из материала, волновое сопротивление которого отличается от волнового сопротивления окружающей среды. Применение трёх и более слоёв, из которых один или два могут изменяться по толщине, позволяет получить частотный фильтр и фильтр направления с переменной частотой. Показано, что действие ультразвукового фильтра, выделяющего заданную полосу частот, эквивалентно действию двух совокупностей переходных слоёв, согласовывающих волновое сопротивление крайних сред с волновым сопротивлением среднего слоя. В частности, показана возможность резкого расширения частотных характеристик и общего увеличения звукопроницаемости, например, стальных пластин, помещённых в воду.

Рассчитанные и экспериментально осуществлённые фильтры направления с переменной частотой позволяют отфильтровывать косые пучки ультразвуковых волн, возникающих из-за неоднородности ультразвукового поля излучателя, и этим самым резко улучшить точность работы ультразвуковых интерферометров, качество получаемых ультразвуковых изображений. Применение этих фильтров позволяет получить достаточно хорошее звуковое поле даже при обычных технических пьезоэлектрических пластинках. Наряду с этим были экспериментально осуществлены широкополосные частотные фильтры, позволившие получить коэффициент звукопроницаемости через стальную пластину в воде порядка 90—95% в полосе частот 0,3—0,4 от номинальной.

Л. Л. Мясников и Г. К. Ульянов доложили об «Исследовании магнитно-акустического эффекта в диа- и парамагнитных металлах».

Впервые проведено экспериментальное исследование магнитно-акустического эффекта в диа- и парамагнитных металлических пластинках, который выражается в дисперсии звука и в образовании вторичного переменного электромагнитного поля вихревых токов.

Магнитная дисперсия для продольных звуковых волн в пластинах и стержнях из диа- и парамагнитных металлов обязана возникновению вихревых токов в проводнике, колеблющемся перпендикулярно магнитному полю. Активное сопротивление, эквивалентное сопротивлению потерь в металле за счёт вихревых токов, создаёт добавочное затухание звука, а дополнительная эквивалентная упругость, обусловленная электромеханическими силами, препятствующими движению проводника, увеличивает фазовую скорость; дисперсия в основном определяется скин-эффектом. Экспериментально определялось изменение частот собственных колебаний и логарифмического декремента затухания в зависимости от магнитной индукции поперечного поля и исследовалось вторичное переменное поле посредством миниатюрной индикаторной катушки. Исследования проведены в диапазоне частот 2—20 кГц и в диапазоне магнитных индукций 0— $1,4 \cdot 10^4$ гаусс, причём для возбуждения собственных колебаний пластины использовались сегнетовые пьезоэлементы 45% х-среза. Были отмечены изменение фазовой скорости в алюминиевой пластине на 0,02% и увеличение логарифмического декремента затухания на 30%.

Теоретическое исследование Роби магнитной дисперсии продольных звуковых волн в ферромагнитном металлическом тонком безграничном слое, опубликованное уже после проведения части работы, даёт выражение для фазовой скорости звука, которое приводит к величине дисперсии, на 1—2 порядка большей, чем величина, установленная экспериментально. С другой стороны, теория даёт согласие с экспериментальными данными зависимости изменения фазовой скорости от магнитной индукции, частоты и толщины пластины.

Была также обнаружена магнитная дисперсия для поперечных и крутильных волн в магниевых, алюминиевых и медных с примесями пластинах. При соответствующей замене фазовой скорости продольных волн в отсутствии магнитного поля на фазовую скорость крутильных волн полученные зависимости относительного изменения фазовой скорости и изменения затухания от частоты, магнитной индукции, толщины пластин и от постоянных металла оказываются в удовлетворительном качественном согласии с теорией Роби. Для пластины магния при магнитной индукции в 3500 гаусс и частоте 7 кГц прирост фазовой скорости достигает 1,3%, а логарифмический декремент затухания возрастает в 20 раз. Дисперсия возрастает с увеличением магнитной индукции и проводимости металла и убывает с увеличением частоты и толщины пластины, что определяется скин-эффектом.

В докладе «Некоторые новые методы исследования звукового поля», прочитанном В. А. Зверевым, говорилось о методе абсолютной калибровки приёмников и излучателей звука, основанном на радиационном давлении звука, а также о методах обнаружения и измерения звукового поля на основании изменения свойств среды (плотности, диэлектрической проницаемости), вызванных звуковым полем.

Для абсолютной калибровки приёмников звука делаются два опыта. В первом калибруемый приёмник принимает волну высокой частоты ω , модулированную более низкой частотой Ω . При этом радиационное давление меняется вследствие модуляции падающей волны и приёмник принимает сумму колебаний частот ω и Ω .

Величина звукового давления на приёмнике определяется по отношению напряжений на выходе приёмника на частотах ω и Ω и отношению его чувствительностей. В случае, если отношение чувствительностей неизвестно, то оно определяется из второго опыта. На приёмник посылается волна частоты ω^* , более высокой, чем ω и Ω , модулированная частотами ω и Ω с известным отношением глубин модуляции. По отношению напряжений частот ω и Ω на выходе приёмника (возникающих вследствие радиационного давления) определяется искомое отношение чувстви-

тельностью. Аналогичным методом может быть проградуирован и излучатель звука.

Во второй части доклада приводились примеры применения автором совместно с сотрудниками методов микрофазометрии, изложенных в докладе Г. С. Горелика в области акустики. Было измерено изменение диэлектрической проницаемости воды для частоты 5 мГц под действием звукового поля, частоты 78 кГц. В этом опыте звуковое поле возбуждалось внутри конденсатора, являвшегося частью колебательного контура, настроенного на 5 мГц. Изменение диэлектрической проницаемости воды под действием звука приводило к расстройке колебательного контура и к малым изменениям фазы колебания на его выходе. Это изменение фазы измерялось методом микрофазометрии, разработанным И. Л. Берштейном. Методы микрофазометрии были также применены для измерения взаимодействия звуковых волн в воде. Звуковая волна частоты Ω проходила через настроенный в резонанс на частоту ω водяной столб. При этом наблюдалась расстройка столба, приводящая к малой модуляции фазы колебания в столбе. Все наблюдаемые при этом явления легко объясняются, если предположить, что волна с частотой Ω меняет скорость распространения волны с частотой ω . Это явление может быть использовано для обнаружения и измерения звуковых полей и для исследования свойств различных сред.

В докладе Л. Д. Розенберга были даны «Обзор и сравнительная оценка методов преобразования звукового изображения в видимое».

Было отмечено, что визуализация звуковых полей и, в частности, получение звуковых изображений приобрели за последнее время большое значение в разнородных областях технической и физической акустики, например в дефектоскопии для определения формы и размеров дефекта, для видения в оптически непрозрачных средах, в медицинской диагностике для определения местоположения и формы внутренних органов, опухолей и инородных тел. Докладчик разделил различные методы визуализации ультразвуковых полей по характеру эффекта, воздействующего на преобразователь звукового поля в видимое изображение на три группы: методы, основанные на воздействии основных (линейных) величин, характеризующих звуковое поле; методы, основанные на использовании пондеромоторных (квадратичных) эффектов, и методы, основанные на использовании различных вторичных эффектов, вызываемых ультразвуковыми колебаниями.

Методы визуализации могут быть разделены также на обратимые, при которых изображение пропадает при прекращении внешнего воздействия, и необратимые, сохраняющиеся после этого. Важной характеристикой методов визуализации является также степень искажения приёмником звукового поля (образование «ореолов»).

К первой группе относятся методы, в которых применяется пьезоприёмник в совокупности с механическим либо электронным сканированием (Соколов, Шрайбер, Барбье и др.). В схемах с электронным сканированием используется изменение вторично-электронного излучения, вызванного падением сканирующего электронного пучка на поверхность кварцевой пластинки в зависимости от дополнительного заряда, создаваемого рельефом звукового давления. К этой же группе причисляются известные оптические методы (теневой метод и метод дифракции света на ультразвуке), использующие изменение показателя преломления оптических волн, связанное с изменением плотности среды, а также их различные усовершенствования для повышения чувствительности.

К квадратичным эффектам относится метод поверхностного рельефа, предложенный и использованный Соколовым, а затем Сетте, Шустером, Рустом и Друбба. В этом методе наблюдается с помощью различных оптических методов деформация поверхности раздела жидкости и газа при

падении на неё звука. Сюда же принадлежит метод взвеси (Польман), использующий явление ориентации взвешенных в жидкости твёрдых частиц под влиянием ультразвука.

К числу вторичных эффектов относятся: различные модификации химического действия ультразвука, тепловое воздействие на термочувствительные краски и на явления люминесценции, а также непосредственное воздействие ультразвука на фотослой.

Докладчик отметил, что скудность опубликованных количественных данных не позволяет судить о чувствительности большинства методов. Можно, однако, предположить, что методы, основанные на использовании пьезоэлектрических преобразователей, должны обладать наибольшей чувствительностью, поскольку здесь возможно электронное усиление сигнала. Но, по сравнению с другими методами, они относительно сложны и обладают меньшей разрешающей способностью. Визуализация звуковых полей является перспективным направлением как для исследования физических процессов, так и для различных технических применений ультразвука.

В. В. Тюткин рассказал об «измерении модуля сдвига и коэффициента потерь резиноподобных материалов при помощи твёрдой акустической длинной линии на звуковых и ультразвуковых частотах». Разработанный метод позволяет измерять эти величины в непрерывном диапазоне частот от 4 до 50 кГц в достаточно широком диапазоне температур. В основе метода лежит измерение коэффициента отражения измеряемого образца, наклеенного на один из концов дюралюминиевой трубки, возбуждаемой на другом конце дугом продольных волн, преобразуемых в сдвиговые колебания образца. Для этого производится сопоставление амплитуд и фаз отражённых импульсов в одном случае при наклеенном образце, в другом случае при свободной линии. Это позволяет определить импеданс нагрузки, а по ней искомым импеданс образца, для чего служат специальные номограммы. Экспериментально исследованы частотные характеристики нескольких образцов резины. Сравнение этих характеристик с результатами, полученными другими авторами, дало хорошее согласие. Измерения температурной зависимости производились также методом сравнения нагруженной и ненагруженной линий, но, чтобы исключить зависимость скорости распространения звука по линии от изменения температуры, в обе линии, находящиеся в одинаковых температурных условиях, импульсы посылались одновременно.

Е. Н. Плотникова сделала сообщение о результатах исследований «модуляционного метода малых напряжений в звуковом диапазоне частот», выполненных Д. К. Балабухой, Л. Л. Мясниковым и автором.

Усиление очень слабых сигналов в широкой полосе звуковых частот ограничивается шумом усилительного устройства, который невозможно снизить ниже предела, определяемого дробовым эффектом лампы и шумами входных сопротивлений. Путём применения модуляционного метода удалось осуществить приём сигналов, интенсивность которых на порядок ниже интенсивности собственного шума аппаратуры при полосе частот (0,2—20 кГц) и большом входном сопротивлении (более 100 ом).

В разработанном модуляционном микровольтметре исследуемый сигнал поступает сначала на ёмкостный модулятор, работающий на частоте 24 Гц , а затем на вход усилителя, на выходе которого промодулированный сигнал детектируется и частота огибающей (24 Гц) выделяется анализатором. Выходной сигнал подаётся на термопару с гальванометром, показания которого соответствуют уровню сигнала, поступающего на вход. Имеющийся в схеме усилителя фильтр-пробка не пропускает непосредственно частоту 24 Гц , которая возникает в результате преобразования контактной разности потенциалов ёмкостного модулятора в переменное напряжение частоты модуляции.

Стабильность и чувствительность устройства улучшается при использовании вместо термопары синхронного детектора, на который одновременно подаётся «опорное» напряжение с другого синхронного ёмкостного модулятора, питаемого постоянным напряжением и преобразующего его в частоту 24 гц.

Разработанный метод позволил повысить чувствительность измерений уровней на целый порядок. Так, например, при ширине полосы частот 0,2—20 кгц и уровне собственного шума усилителя порядка 5—7 мкв имелась возможность измерять синусоидальные и шумовые сигналы порядка 0,7 мкв (при входном сопротивлении больше 100 мом). С помощью нового метода были измерены шумы конденсаторов и сегнетовых пьезо-электриков.

Измерение шумов конденсаторов в звуковом диапазоне дало удовлетворительное согласие с теоретическими значениями, полученными исходя из температурного характера этого шума.

Б. Д. Тартаковский