

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

4-Я ВСЕСОЮЗНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

С 26 мая по 4 июня 1958 г. в Москве проходила IV Всесоюзная акустическая конференция, созданная Комиссией по акустике Академии наук СССР, Акустическим институтом АН СССР и Московским ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Государственным университетом имени М. В. Ломоносова.

В работе конференций приняли участие свыше семисот научных сотрудников и инженеров, представителей научных институтов, высших учебных заведений и предприятий, прибывших из 55 городов Советского Союза и 40 иностранных ученых-акустиков, приехавших из ГДР, Китая, Польши, США, ФРГ и Чехословакии.

На конференции было прочитано 170 докладов по наиболее актуальным вопросам физической акустики. Работа конференции происходила на пленарных собраниях и на заседаниях семи секций:

- I. Распространение звука в неоднородных средах.
- II. Нелинейная акустика.
- III. Излучение и дифракция звука.
- IV. Ультразвук.
- V. Электроакустика.
- VI. Акустические измерения.
- VII. Архитектурная и строительная акустика.

На пленарных заседаниях были сделаны обзорные доклады, характеризующие наиболее существенные направления, паметившиеся за последнее время в физической и технической акустике.

Заседания секций были посвящены, в основном, сообщениям об оригинальных работах, законченных в течение 1957—1958 гг.

Открывая конференцию, председатель Акустической комиссии Академии наук СССР академик Н. Н. Андреев отметил большое значение конференции, подытоживающей работы многочисленных советских акустиков, и указал на большие задачи, поставленные перед советской акустикой общим развитием науки и техники в СССР. В этой конференции, сказал Н. Н. Андреев, примет участие большое количество иностранных ученых акустиков; это должно помочь дальнейшему сближению советских и зарубежных ученых в обойдной пользе.

Интересный обобщающий доклад «О поверхностных волнах в акустике» сделал чл.-корр. АН СССР Л. М. Бореховских на первом пленарном заседании. Поверхностные волны могут без затухания распространяться над поверхностью, обладающей упругим импедансом iZ . В воздушной акустике такую поверхность можно осуществить, расположив на твердой стенке гребенку из тонких ребер, расстояние между которыми много меньше длины звуковой волны, в жидкости — используя поверхность пористой резины*). Коэффициент затухания в нормальном к поверхности направлении оказывается равным $\alpha = \frac{\omega\rho}{Z}$. Вдоль ребристого стержня в воздухе или вдоль воздушного шнуря (или шнуря из пористой резины) в жидкости может распространяться цилиндрическая поверхности волна. Докладчик указал на различные примеры возможного применения таких поверхностных волн в акустике. Заставляя поверхность волну падать под определенным углом на полосу звукопоглощающего материала, можно измерить коэффициент отражения как функцию угла падения. Ограничив некоторую часть поверхности невысокими твердыми стен-

*) Вдоль твердой неподатливой поверхности поверхностные волны не могут самостоятельно распространяться без распределенного по всей поверхности излучения, так как в них инерционное сопротивление превалирует над упругими. При распространении поверхностных волн Рэлея инерция и упругость согласованы между собой вследствие наличия сдвиговой упругости.

ками, можно таким образом получить своеобразную «плоскую» реверберационную камеру. Возможно, отметил Л. М. Бреховских, что результаты измерений в таких камерах окажутся адекватными результатам измерений в обычных больших «объемных» реверберационных камерах. Преимуществом же плоских камер является их портативность. Теория показывает, что для создания излучателей или приемников высокой направленности могут быть использованы цилиндрические поверхности волны, распространяющиеся вдоль стержней сравнительно малого диаметра. Полу-

ширина основного лепестка зависит от длины стержня l и равна $\pi \sqrt{\frac{\lambda}{l}}$.

В. А. Красильников рассмотрел «некоторые вопросы аэротермоакустики», указав на большое значение задач распространения радиации в среде со случайными неоднородностями коэффициента преломления, вызванными турбулентностью, и порождения звука (шума) турбулентностью. В изучении вопросов распространения имеется ряд существенных достижений, часть из которых обязана применению основных результатов статистической теории локально-изотропной турбулентности в духе идей А. Н. Колмогорова. Проблема возбуждения звука, имеющая принципиальное значение и большое практическое значение, изучена меньше. Основные задачи в решении этой проблемы состоят в определении зависимости интенсивности, частотного спектра и пространственного распределения звука от свойств турбулентного потока. В докладе был дан краткий критический обзор теоретических (Лайхшил и др.) и экспериментальных работ и в рамках существующих теоретических представлений рассмотрены вопросы взаимодействия звуковых полей (рассеяние звука на звуке), а также некоторые вопросы термоакустики.

В докладе Г. Д. Малюжина «Поперечная диффузия амплитуды при дифракции, распространении и отражении волн», сделанном на втором пленарном собрании конференции, состоявшемся 28 мая, было рассмотрено поведение приблизительно бегущих волн, имеющих одно достаточно определенное выраженное направление распространения в каждой точке и некоторое плавное распределение по фронту волны. По мере того как в лучевом направлении происходит распространение по волновым законам, в поперечном направлении, т. е. вдоль фронта, происходит выравнивание амплитуды по законам диффузии, причем коэффициент этой поперечной диффузии, являющийся комплексным, пропорционален длине волны. Вследствие комплексности процесс волновой диффузии, в отличие от обычной, сопровождается осцилляциями и сдвигом фаз. Как показано автором в 1946 г., явления поперечной диффузии в общем случае математически описываются в лучевых координатах, определяемых принципом Ферма, с помощью дифференциального уравнения параболического типа. Помимо вычислительных преимуществ принцип поперечной диффузии дает наглядную интерпретацию широкому классу волновых явлений, позволяя предсказывать качественные черты волнового поля до проведения расчета или эксперимента. Это относится и к тем случаям, когда принцип Гюйгенса ничего не дает для наглядных представлений. В частности, процесс ослабления амплитуды на фронте волны, скользящей вдоль поглощающей поверхности, аналогичен остыванию нагретой пластины, охлаждаемой у края.

М. А. Исаакович дал обзор некоторых вопросов статистической акустики, рассматривавшихся в последние годы в Акустическом институте АН СССР. Сюда относится задача о рассеянии от статистически шероховатых поверхностей, задача о рассеянии и излучении волн акустически неоднородными и статистически колеблющимися поверхностями, задача об излучении упругой поверхностью, находящейся под действием статистически распределенных сторонних сил, а также ряд задач о распространении волн в нерегулярных волноводах.

В докладе Ундо Ингара (США) «О распространении звука в атмосфере» были приведены и обсуждены лабораторные и полевые измерения распространения звука в неоднородной и турбулентной атмосфере. Полевые измерения производились в широком диапазоне состояний атмосферы и включают исследования областей тени, обусловленных температурным распределением или распределением ветра, ослабления вследствие рассеяния на турбулентных неоднородностях, энергетического спектра атмосферной турбулентности и т. д. Лабораторные исследования включают измерения звукового поля в области тени, обусловленной температурной неоднородностью, зависимости зоны тени от граничных условий, а также исследования распространения коллимированных пучков и сферических волн в турбулентной среде. Лабораторные измерения в области тени хорошо согласуются с дифракционной теорией, однако результаты полевых измерений в области тени не могут быть объяснены только одной дифракцией. Данные полевых измерений по ослаблению, вызываемому рассеянием, при использовании источников звука со сравнительно малой направленностью согласуются с расчетами, основанными на данных о рассеянии в обратном направлении. Обсуждена с точки зрения зависимости энергетического спектра турбулентности от скорости ветра сравнительно слабая зависимость от скорости ветра измеренного затухания.

На следующем пленарном заседании были обсуждены вопросы передачи сигналов и архитектурно-строительной акустики.

И. Е. Г о р о н и А. В. Р и м с к и й-К о р с а к о в доложили об «исследованиях заметности искажений и помех в радиовещательном тракте». Сравнивая передачу через тракт с дозированным искажением (или помехой), с передачей через не-искажающий тракт, они определяли замечаемые пороговые дозы искажений различных видов (или помех). Была произведена статистическая обработка и определена достоверность результатов, полученных на разнообразных музыкальных и речевых программах при большом количестве экспертов. Найдены пороговые замечаемые ограничения полосы пропускаемых частот, сжатия динамического диапазона, нелинейных искажений, шумов и помех, а также некоторых одновременно действующих искажений и помех. Исследование позволило дать классификацию качества вещательных каналов и предложить проект норм на допустимые искажения и помехи.

Старая концепция оценки качества акустики помещений по реверберационному процессу подверглась в последние годы ревизии. Были выдвинуты новые гипотезы, связывающие высокое качество звучания с различными характеристиками звукового поля в помещении, в частности с пространственными и другими перегуляристами поля. Обсуждая в чисто физическом аспекте «частотную и пространственную перегуляриность в установившемся звуковом поле в помещении», Р. Б о л т (США) отметил, что флюктуация звукового давления в некоторой точке помещения (в котором имеется установившееся звуковое поле синусоидального источника звука) вызвана флюктуациями положения источника звука и частоты излучения и может быть представлена как перегулярия суперпозиция давлений, связанных с отдельными нормальными волнами. Получающаяся частотная перегуляриность $F \text{ дБ/гц}$ увеличивается с частотой при низких частотах и стремится к предельному постоянному значению при высоких частотах. В помещениях с высокой степенью симметрии F имеет при некоторой частоте ясно выраженный максимум. Ниже этой частоты F уменьшается при увеличении поглощения в помещении и диффузности поля; выше — зависит только от поглощения. Докладчик показал, что существовавшие ранее теории, дававшие закономерности для F в областях низких и высоких частот, согласуются друг с другом в промежуточной области. Были обсуждены теоретические закономерности для пространственной перегулярии $S \text{ дБ/полволны}$ и даны предварительные данные ее измерений.

«О новых исследованиях по архитектурной акустике в Геттингене» рассказал Д. М а й е р (ФРГ). Проводятся электроакустические опыты, в которых имитируются отдельные отражения звука от поверхностей помещения вместе с реверберацией в собственном смысле слова и без нее, и исследуется порог различения времени реверберации затухающих шумовых процессов. Исследуются количество и сила наиболее мощных отражений (от поверхностей помещений), характеризуемых малым временем задержания. Далее докладчик рассказал о результатах измерения диффузности направлений при стационарном возбуждении и зависимости диффузности от времени при возбуждении звуковыми импульсами, позволяющих наметить некоторые объективные критерии, характеризующие акустические свойства помещений.

В последние годы задача борьбы с шумом приобрела актуальнейшее значение. Помимо дальнейшего совершенствования уже известных методов снижения вибраций и вызываемого ими шума, проводятся поиски новых путей для решения этой задачи. Один из новых способов заключается в том, что на вибрирующие детали машин и конструкций пансируются слои материалов, обладающих повышенным внутренним затуханием. Благодаря этому увеличиваются активные потери механических колебаний этих деталей, уменьшаются амплитуды колебаний в области резонансов и сокращается время затухания вибраций после ударов. В результате уменьшается уровень излучаемого воздушного звука. Б. Д. Т а р т а к о в с к и й рассказал об основных теоретических и экспериментальных работах в области исследования вибропоглощающих материалов и конструкций, сравнил различные методы их измерений и, в частности, методы, применяемые в Акустическом институте, и указал возможные области применения таких материалов и конструкций.

Из общей теории фазовых превращений второго рода следует, что время восстановления состояния термодинамического равновесия (время релаксации) в системе, находящейся вблизи точки превращения, должно существенно возрастать, что должно приводить к усилению поглощения звука. Учет этого обстоятельства позволил Л. Д. Ландау и И. М. Халатникову дать количественное объяснение аномального поглощения первого звука в жидким гелием вблизи его точки превращения, при $2,19^{\circ}\text{K}$. Руководствуясь термодинамической общностью вышеуказанных результатов, И. А. Я к о в л е в, Т. С. В е л и ч к и н а и К. Н. Б а р а н с к и й исследовали релаксационное поглощение в твердом теле, испытывающем фазовый переход второго рода. Был обнаружен эффект существенного усиления поглощения поперечной волны в сегнетовой соли вблизи ее верхней точки Кюри. Результаты опытов находятся в хорошем согласии с теорией явления, развитой Л. Д. Ландау и для этого случая.

«Магнитоакустический эффект», — рассказал Л. Л. М я с и к о в, — возникает при взаимодействии звуковых (ультразвуковых) волн в проводящей или полупроводя-

щей твердой или жидкой среде с магнитным полем, вследствие чего образуется переменное электромагнитное поле. В металлах магнитоакустический эффект проявляется также в зависимости фазовой скорости и затухания звука от частоты и магнитной индукции. Обнаружено, что в сплавах никеля и магния с железом магнитная дисперсия звука зависит от доли содержания железа; это позволяет предложить новый способ магнитного анализа. В мегагерцевом диапазоне магнитоакустический эффект проявляется лишь в тонком поверхностном слое. Потому его легко получать и наблюдать с помощью поверхностных ультразвуковых волн. Докладчик рассказал о некоторых возможных практических применениях магнитоакустического эффекта в измерениях, дефектоскопии и т. д.

Л. Д. Розенберг подытожил исследования физического механизма ультразвуковой очистки поверхности твердого тела от загрязнений (поверхностных пленок). В результате цикла исследований было выяснено, что роль колебательных ускорений в очистке несущественна: при одинаковых ускорениях очистка идет в жидкой среде и не идет в газовой. Путем скоростной киносъемки установлено, что очистка происходит путем катастрофического разрушения и отслаивания поверхностной пленки. Разрушение происходит при частичной или полной аннигиляции кавитационных пузырьков, в результате которой возникают ударные волны. Величина кавитационной энергии зависит от температуры, причем имеется максимум, зависящий от применяемой при очистке жидкости. Эрозия растет с температурой, что объясняется увеличением количества кавитационных пузырьков. Эрозия зависит от количества и природы растворенного газа и увеличивается с уменьшением растворимости газа. Поэтому при использовании для очистки воды, социкасающейся с воздухом, эрозия больше, чем в случае применения органических растворителей.

С обзорным докладом о развитии электроакустических методов измерения и разработке электроакустической измерительной аппаратуры выступил на последнем пленарном заседании Брюэр (Голландия). Докладчик подробно рассказал о разработках, ведущихся и законченных в научно-исследовательских лабораториях фирмы Брюэр и Клер, сделавшейся в послевоенные годы в западной Европе одним из центров по созданию акустической аппаратуры. Доклад сопровождался демонстрацией комплекта измерительной аппаратуры и был заслушан присутствующими с большим интересом.

На секции «Распространение звука в неоднородных средах» были рассмотрены вопросы распространения волн в статистически и регулярно неоднородных средах, особенности интерференции и фокусировки волн, распространяющихся в статистически неоднородных средах. Волноводам различных типов, распространению волн в присутствии отражающих границ и отражению от первичных границ была посвящена вторая основная группа докладов. Большинство сделанных докладов группировалось по общим направлениям, разрабатываемым в отдельных научных школах. Сюда относятся: а) работы, выполненные в Акустическом институте по распространению в волноводах и каналах и в статистически неоднородных средах; б) работы школы ЛГУ по лучевой теории; в) работы по распространению и фокусировке в статистически неоднородных средах, выполненные в Ярославском Пединституте под руководством Л. А. Чернова; г) работы группы В. Н. Татарского в Институте физики атмосферы по исследованию влияния турбулентности на распространение волн.

В докладах В. М. Бабича, а также А. С. Алексеева и Б. Я. Гельчинского говорилось о лучевом методе вычисления интенсивности волновых фронтов, о последующих приближениях в этом методе и о его применении к задаче о распространении при наличии границ, а также об определении лучевым методом интенсивности и формы головных волн в упругой среде.

По аналогии с известными методами Ж. Адамара и С. Л. Соболева решения задачи Коши для параболических уравнений вычисление интенсивности волновых фронтов можно проводить, рассматривая соотношения выполняющихся на характеристических поверхностях уравнений, описывающих волновые процессы. Подразумевая под волновым фронтом либо поверхность разрыва решения или его производной, либо (в случае больших частот) поверхность равных фаз колебаний, и предполагая, что вблизи фронта волны ($t = \tau(x, y, z)$) имеет место разложение

$$U(x, y, z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} U_n(x, y, z) f_n(t - \tau),$$

где

$$\frac{d}{dt} f_n(t) = f_{n-1}(t), \quad f_n(t) \gg f_{n+1}(t),$$

можно из дифференциального уравнения, которому удовлетворяет функция U , получить дифференциальные уравнения, из которых последовательно определяются U_n . U_0 представляет собой интенсивность волнового фронта (имеющего при больших ча-

стотах смысла амплитуды). В случае точечного источника колебаний импульсного типа можно показать сходимость проведенного разложения в обычном смысле, основываясь на некоторых результатах Ж. Адамара. В случае каустик тип разрыва (описываемый функцией $f_0(t)$) может изменяться. Однако в первом приближении удается найти характер разрыва и интенсивность волны, прошедшей каустику.

Для решения задач, связанных с изменением типа разрыва (например, отражения волны за предельным углом), возможно применить комплексную форму лучевого метода.

Для этого в окрестности поверхности фронта поле упругой волны, возбужденной точечным резко включенным источником, представляется в виде

$$U(x, y, z, t) = \operatorname{Im} \sum_{n=0}^{\infty} U_n(x, y, z) f_n(t-\tau),$$

где $U_n(x, y, z)$ — комплексный вектор; $\tau(x, y, z)$ — эйконапл рассматриваемой волны, $f_n(t-\tau)$ — комплексная функция, имеющая на поверхности фронта $t=\tau$ разрыв в n -й производной. Рекуррентные дифференциальные соотношения для U_n (откуда определяются их значения в случае сред с произвольной неоднородностью) выводятся из уравнений движений Ляме.

Рассматривая постановку краевых задач в лучевом методе, А. С. Алькессев и Б. Я. Гельчинский нашли, что в освещенной области граничные условия должны удовлетворяться в точках пересечения волновых фронтов с поверхностью раздела. Из условия компенсации разрывов одинакового порядка получается система алгебраических уравнений для комплексных амплитуд n -го порядка. Применяя лучевой метод, можно вычислить интенсивность головной волны на плоской границе раздела, когда падающая волна имеет произвольно искривленный фронт. В зависимости от соотношений скоростей распространения продольных и поперечных волн в граничящих средах и от типа головной волны, граничные условия не удовлетворяются без привлечения так называемых «неоднородных граничных» волн, имеющих разрывы лишь на границе раздела. Докладчики выяснили число и характер указанных неоднородных волн и обобщили полученные результаты на случай, когда одна из сред одномерно неоднородна.

В ряде докладов рассматривалось распространение в средах и волноводах с регулярными неоднородностями. Как известно, при вычислении импульса, создаваемого в неоднородной среде точечным излучателем, задача может быть решена пакождением спектра всего поля для частного случая исходного δ -импульса, умножением результата на спектр данного исходного импульса и интегрированием по частотам. В случае сплошного-неоднородных сред выражение для спектра получается очень сложным и вычисление интеграла затруднительно. Ю. Л. Газарян показал, что точные формулы для высокочастотного спектра исходного импульса можно заменить на приближенные, дающие его асимптотическое по частоте значение. Применение этого метода к вычислению импульса, распространяющегося вдоль пучка лучей, образующих каустику (в предположении, что точки касания лучей с каустикой не являются особыми), приводит для исходного импульса с зависимостью от времени вида $p(t)$ к выражению

вида $\int_{-\infty}^{+\infty} p'(\tau) F(t, \tau) d\tau$, позволяющим вычислить приближенное значение импульса

как на далеких, так и на близких расстояниях от каустики в освещенной области и вблизи каустики в зоне тени.

Н. В. Цепелев нашел точное решение задачи о «распространении волн в среде, содержащей неоднородный переходный слой» толщины H , характеризуемый скоростью распространения $v(z) = v_0 e^{\pm z}$ (скорости распространения в однородных полупространствах равны v_0 и $v_0 e^{\pm H}$). Исследовав решение методом контурного интегрирования, докладчик выделил главные части решений, описывавшие поле смешения в окрестности фронтов распространяющихся волн, и обсудил отражающие свойства границ, на которых происходит разрыв производной скорости и плотности. Показана возможность частичного обобщения метода для уравнений теории упругости.

А. Н. Бархатов и И. И. Шмелев экспериментально исследовали «фокусировку звука в волноводе», образованном слоисто-неоднородной средой, в которой функция, описывающая вертикальное распределение показателя преломления, имеет на некоторой высоте максимум. Путем диффузии между несколькими смешивающимися жидкостями в ванне были получены и исследованы два вида волноводов (имеющих ширину много большую длины волны): поверхностный и расположенный ниже поверхности жидкости. Измерения делались на импульсах в диапазоне частот от 500 кгц до 2,7 Мгц. На близких расстояниях (в зоне применимости лучевой теории) давление на оси волновода убывает по сферическому закону, на более далеких — приблизительно по цилиндрическому. Исследованная структура фокусов по горизонтали

ному и вертикальному разрезам при разных положениях источника сопоставлена с лучевой и волновой теорией.

Е. П. М а с т е р о в рассмотрел волновое распространение звука в среде, квадрат показателя преломления в которой изменяется по биэкспоненциальному закону. Он получил уравнение звуковых лучей, нашел интегральное представление поля точечного источника при гармоническом излучении и исследовал решение для случая безграничной среды.

Н. С. А г е е в а проанализировала «Распространение звуковых импульсов в звуковом канале», сопоставив формы сигнала на записи с лучевой картиной, рассчитанной по условиям опыта. Сигнал, имевший вначале вид сдвоенных и строенных импульсов, приводил на больших расстояниях (до 20 км) более сложную форму. Контирующие опыты с укороченным импульсом показали, что сложный сигнал состоит из отдельных импульсов, соответствующих различным импульсам, пришедшим в точку приема в моменты времени, совпадающие с расчетными. Амплитуды этих импульсов согласуются с расчетом, учитывая фактор фокусировки и диаграмму направленности излучателя. С увеличением расстояния между источником и приемником, расположенным и на одном горизонте вблизи оси канала, суммарная длительность сигнала растет. При этом, в соответствии с лучевым расчетом, амплитуды первых импульсов, соответствующих ранее пришедшему лучам, меньше амплитуд последующих. Форма сигнала стабильна, что указывает на малое влияние микронеоднородности среды (тепловых флуктуаций) на прямое поле.

Известно, что распространение нормальных волн в слое с переменной глубиной подобно распространению волн в неоднородной среде. Поэтому, создавая слой со специальным подобранным профилем сечения, можно получать различные эффекты фокусировки.

В. К у з и н е п о в экспериментально исследовал эффекты фокусировки нормальных волн различными неоднородностями, вмонтированными в плоский слой, представив результаты измерения в виде непрерывной записи амплитуд и фазы звукового поля на пленке шлейфового осциллографа. Получено удовлетворительное согласие с расчетами.

Для выяснения применимости лучевого подхода к исследованию волноводов в слоисто-неоднородной среде В. А. П о л я и с к ая приближение и точно рассчитала групповые скорости для некоторых плоских волноводов с непрерывным изменением скорости звука. Оказалось, что при определенном виде распределения скорости звука монотонный рост групповых скоростей нарушается появлением экстремумов, связанных с наличием фокусировки в среде и приводящих к иной зависимости поля от расстояния.

С. К а л и с к и й и Е. К у р л я н д с к и й (Польша) рассмотрели «Некоторые вопросы распространения волн в анизотропных упругих и неупругих средах».

И. А. У р у с о в с к и й решил задачу о «рассеянии звука на поверхности синусоидальной формы, характеризуемой периодически изменяющейся нормальным импедансом». Предполагая, что давление p_i в падающей монохроматической волне зависит только от координат x и z (плоская задача), а первая поверхность имеет форму $z = \xi(x)$, докторадчик нашел, что существует зависимость

$$\frac{\partial p}{\partial n} [x, \xi(x)] = ik\eta(x) p [x, \xi(x)],$$

где $p(x, \xi)$ — полное давление на поверхности, n — единичная нормаль к поверхности, k — волновое число, $\eta(x)$ — заданная функция. Для достаточно пологой поверхности можно получить значение полного давления на поверхности с помощью обратного фурье-преобразования от функции

$$E(m) = \int_{-\infty}^{+\infty} p [x, \xi(x)] e^{imx} dx.$$

Значение $p(x, z)$ в любой точке над поверхностью выражается через $p[x, \xi(x)]$ при помощи формулы Грина. Подробно рассмотрено отражение плоской волны.

До настоящего времени при сейсмической разведке для построения геологического разреза используется лучевое представление. Между тем длины волны отнюдь не являются малыми в сравнении с толщинами разведуемых пластов и приближение, даваемое таким построением, далеко не достаточно. Записывая вызванные взрывом колебания на магнитофонной ленте и анализируя их затем при различной частотной коррекции, оказалось возможным, сказал М. А. А и т о к о л ъ с к и й, усилить регулярные волновые фронты в сравнении с некогерентными колебаниями и получить дополнительную информацию о пластах. Воспроизведение магнитных записей позволило произвести исследование спадения интенсивности вызванных взрывом колебаний.

Группа докладов была посвящена распространению и фокусировке волн в статистически неоднородных средах.

В. И. Татарский рассмотрел задачу «О флуктуациях амплитуды и фазы плоской волны, распространяющейся в турбулентной среде с плавно меняющимися средними характеристиками». Корреляционные функции флуктуаций показателя преломления в такой среде зависят не только от разности координат точек наблюдения $r_1 - r_2$, но и от положения этой пары точек в пространстве, которое характеризуется вектором $\mathbf{r} = \frac{1}{r} (\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2)$. Вид функций, описывающих локальные свойства турбулентной среды, не зависит от положения пары точек наблюдения в пространстве. Распространение волн в такой среде описывается при помощи линеаризованного уравнения Эйконала, в котором сохраняются вторые производные по координатам (метод плавных возмущений Рытова). Докладчик выразил пространственные двухмерные спектральные плотности флуктуаций логарифмы амплитуды и фазы волны в плоскости $x = l$ (падающая плоская волна распространяется вдоль оси x) через трехмерную спектральную плотность флуктуаций показателя преломления. Подробно рассмотрен частный случай, когда флуктуации показателя преломления среды описываются «законом двух третей».

А. С. Гурвич, В. И. Татарский и Л. Р. Цвапп измерили при помощи специального разработанного комплекса аппаратуры величину $\sigma^2 \frac{(1-I)^2}{I^2}$ (где I — плотность светового потока), пространственную корреляционную функцию, функцию распределения вероятностей и частотный спектр флуктуаций и светового потока от источников света, помещенных в приземном слое атмосферы на расстояниях от 250 до 2500 м в диапазоне 0,05—1000 гц при различных (контролировавшихся) метеорологических условиях. Радиус корреляции флуктуаций интенсивности определяется величиной $\sqrt{\lambda L}$, функция распределения вероятностей флуктуаций хорошо описывается логарифмическим нормальным законом. Вид частотного спектра качественно согласуется с расчетной спектральной плотностью флуктуаций. Частотный спектр флуктуаций приблизительно равномерен в области от 0,05 до 10 гц; выше, до 200 гц, спектральная плотность флуктуаций падает.

Изучая «распространение модулированной волны в статистически неоднородной среде», В. А. Зверев рассмотрел влияние статистических неоднородностей, радиус корреляции которых много больше длины волны, на фазовые (ФС) и амплитудные (АС) соотношения плоской тригармонической волны. В геометрическом приближении ($L \ll \frac{l^2}{\lambda}$), эффекты, состоящие в изменении ФС и АС, пропорциональны величинам флуктуаций фазы и амплитуды волны. В случае больших расстояний ($L \gg \frac{l^2}{\lambda}$) появляется добавочный множитель p , равный отношению $\frac{\lambda}{l}$ и $\frac{l}{\lambda}$. Так как выражения для изменения ФС и АС содержат звуковое давление p в разных степенях, они могут быть использованы для экспериментального определения p , а следовательно, и радиуса корреляции. В. А. Зверев привел принципиальную блок-схему для одновременной регистрации ФС и АС, позволяющую измерить величину p .

Чтобы согласовать уравнение волны, распространяющейся в среде с крупномасштабными случайными неоднородностями, с законом сохранения энергии, приходится вводить нормирующий множитель $\exp(-L^2)$, зависящий от среднего квадрата флуктуаций уровня. Этим требованием нормирующий множитель определяется неоднозначно, с точностью до произвольного фазового множителя $e^{i\varphi}$. С целью устранения неоднозначности Л. А. Чернов и Т. А. Широкова применили для определения «формированного поля волны в статистически неоднородной среде» способ, основанный на рассмотрении второго приближения в методе Рытова. Они показали, что фаза φ в общем случае не равна нулю. (Однако для энергетического рассмотрения это не имеет значения, поскольку энергия определяется квадратом амплитуды.)

М. П. Кром и Л. А. Чернов сообщили, что «зависимости дифракционного изображения в линзе от величины флуктуаций в падающей волне» сказываются в появлении пульсаций в дифракционном изображении и в деформации средней дифракционной картины. Ими было выяснено влияние размеров объектива на относительную флуктуацию в фокусе без ограничения малости возмущений в падающей волне.

Э. А. Бляхман применил спектральный метод для исследования влияния фокусирующей системы на пульсации поля волны, прошедшей через среду, содержащую случайные неоднородности. Для хаотического движения неоднородностей получены значения спектральной плотности в предельных случаях больших и малых флуктуаций поля падающей волны и размеров линзы, больших и малых по сравнению с масштабом неоднородностей. Показано, что для упорядоченного движения неоднородностей и частного вида корреляционной функции пульсаций поля в падающей волне линза действует как фильтр, выделяя характерные частоты.

В. Н. Каравайников вычислил коэффициент взаимной корреляции между флуктуациями амплитуды и фазы, а также коэффициент продольной и поперечной автокорреляции флуктуаций амплитуд и фаз в сферической волне.

«Функция распределения для флуктуаций поля в области тени» рассчитана Б. Е. Кильбериом и Л. Г. Соловьевым. Флуктуации поля, распространяющиеся сквозь статистически неоднородную среду в области тени, обусловлены двумя причинами. Из-за изменений градиентов показателя преломления, масштаб которых соизмерим с расстоянием между излучателем и приемником, угол рассеяния меняется, что вызывает медленные флуктуации поля. Поля отдельных неоднородностей, масштабы которых превышают длину волны, но много меньше расстояния между приемником и излучателем, складываются со случайными фазами, что вызывает быстрые флуктуации поля. Рассчитано дифференциальное и интегральное результирующее распределение сигнала в предположении статистической независимости медленных и быстрых флуктуаций при приеме на один и на два приемника. Эти распределения хорошо аппроксимируются гауссовым распределением от квадратичного полинома для логарифма сигнала.

А. Д. Лапин решил задачу «о рассеянии звуковых волн в перегуляризных волноводах» при учете многократного рассеяния, т. е. в случае, когда первое приближение метода малых возмущений оказывается недостаточным. Для каждой из плоских волн, на которые разбивается падающая нормальная волна, он применил известный метод Рытова и нашел рассеянное поле от этих плоских волн при условии удовлетворения полным полем граничных условий на стенах волновода. В качестве перегуляризностей были рассмотрены малые флуктуации параметров среды, заполняющей волновод, а также широковатости и неоднородности стержня волновода.

Обычно задача о длиной линии со случайными неоднородностями решается методом последовательных приближений. Фактически найдено только первое приближение, в котором коэффициенты отражения складываются векторно, а ослабление первичной падающей волны из-за отражений от неоднородностей и многочленные отражения не учитываются. М. Е. Герценштейн и В. Б. Васильев получили точное уравнение для плотности вероятности коэффициента отражения для линии без потерь со случайными неоднородностями, расположенным на большом расстоянии друг от друга. Уравнение учитывает многочленные отражения и ослабление первичной волны, причем каждой цовой неоднородности соответствует дробно-линейное преобразование круговой диаграммы. Поскольку неоднородности статистически независимы, задача свелась к нахождению результирующей случайных дробно-линейных преобразований. Оказалось, что при суммировании большого числа случайных малых векторов плотность вероятности $\omega(x, y)$ как функция координат x, y , вектора полного коэффициента отражения удовлетворяет уравнению диффузии.

В связи с задачами изучения шума за последнее время возник интерес к изучению упругих стенок, колеблющихся под действием статистически распределенных сил. М. А. Исаакович рассчитал поле, создаваемое во фраунгоферовой области избранной упругой поверхностью, граничащей с жидкостью и совершающей колебания под действием статистически распределенных сторонних сил. Принимая радиус корреляции этих сил малым по сравнению с размерами излучающей поверхности, он решил задачу при помощи разложения сторонних сил в двойной интеграл Фурье по поверхности путем применения метода Рэлея. Это позволило учесть реакцию среды на колеблющуюся поверхность и решить динамическую часть задачи, представляя нормальные смещения поверхности также в виде двойного интеграла Фурье. Затем искомое поле было представлено в виде одночленной формулы Грина, откуда для фраунгоферовой области получена характеристика направленности излучения, выраженная через функцию корреляции сторонних сил. Показано, в частности, что излучение в направлении нормали к поверхности не зависит от ее упругих свойств; даны расчетные формулы для частных случаев упругой поверхности, осуществленной в виде пятивугольной мембранны и в виде упругой пластиинки, совершающей изгибные колебания. Полученные результаты могут быть перенесены и на случай слабо искривленных упругих поверхностей.

Г. М. Бrehovskikh рассмотрел поверхностную волну Рэлея, распространяющуюся вдоль первоначальной свободной границы твердого тела. Предполагая, что глубина неоднородностей (регуляризных или статистических) мала по сравнению с длиной рэлеевской волны, он решил задачу методом последовательных приближений. Нулевое приближение соответствует распространению волны вдоль плоской свободной границы. В первом приближении влияние неровностей эквивалентно действию дополнительных напряжений, распределенных по плоской границе. Эти напряжения вызывают рассеянные, уходящие от границы поперечные и продольные волны, а также новые поверхности волны, распространяющиеся вдоль границы со скоростями, отличными от скорости рэлеевских волн. Уходящие от границы волны вызывают затухание первичной волны. Налагаясь на первичную волну, они создают, в случае распространения монохроматической волны, картину пространственных биений, при распространении импульса — искажают его форму.

Большая часть докладов секций «и е л и н е й на я а к у с т и к а» была посвящена вопросам распространения и поглощения волн конечной амплитуды в газах и жидкостях.

Рассматривая распространение плоских волн конечной амплитуды в вязкой среде, В. А. Б у р о в свел уравнение Навье — Стокса и уравнение непрерывности (в предположении малости числа Маха и изменения формы и амплитуды волны на длине волны, а также аддитивности уравнения состояния) к квазилинейному уравнению. Решив это уравнение при гармоническом граничном условии, он нашел, что на некотором расстоянии волна приобретает пилообразную форму и обладает большим, по сравнению с малоамплитудным, коэффициентом поглощения.

Рассмотрев «распространение сферических волн конечной амплитуды в вязкой теплопроводящей среде» в переменных Магранжа, К. А. Н а у г о л ь н ы х освободился от нелинейности уравнения движения и облегчил себе задание граничного условия. Уравнение, записанное с точностью до членов второго порядка по числу Маха, он решил способом Крылова — Боголюбова. К. А. Наугольных нашел, что при достаточно больших интенсивностях происходит изменение формы первоначально синусоидальной волны вплоть до пилообразной на конечном расстоянии от излучателя, несмотря на то, что помимо вязкого поглощения происходит сильное уменьшение амплитуды вследствие расхождения.

Это было экспериментально проверено Е. В. Р о м а н е н к о, выяснившим, что несмотря на быстрое уменьшение амплитуды волны вследствие расхождения волна приобретает заметно пилообразную форму, причем вторая гармоника по величине достигает 30% первой гармоники. Измерения проводились в диапазоне $0,8 \div 1,2 \text{ Mec}$ и интенсивностях до 300 vtm/cm^2 в импульсном режиме миниатюрными пьезоэлектрическими приемниками и кварцевыми пластинками. Исследовалась также роль кавитации в искажении формы волны (плоской). Оказалось, что повышение давления до 18 atm не влияло на изменение формы.

Однако, наблюдая форму плоской пилообразной волны на частоте 1 Mec при интенсивности 35 vtm/cm^2 в водопроводной воде, В. А. Б у р о в, Л. К. З а р е м б о, В. А. К р а с и л ь н и к о в, В. В. Ш к л о в с к а я-К о р д и установили, что со временем ($\sim 10 \div 30 \text{ сec}$) происходит уменьшение амплитуды отрицательного сигнала и пришли к выводу, что это «ограничение», по-видимому, является следствием кавитации. Они также измеряли на частотах $1,5$ и $4,5 \text{ Mec}$ среднюю фазовую скорость распространения волны конечной амплитуды в растворе метилового спирта — вода, характеризуемом малым температурным коэффициентом скорости (на два порядка меньше, чем у чистых жидкостей). Скорость плавно возрастает с интенсивностью вначале медленно, а затем скачком, синхронно с «ограничением». Общее увеличение скорости порядка десятков см/sec .

Измеряя интенсивность ультразвуковых волн конечной амплитуды в воде на частотах $1,5 \div 6 \text{ Mec}$ Д. В. Х а м и н о в нашел, что коэффициент поглощения в зависимости от начальной интенсивности (доходившей у излучателя до 1 vtm/cm^2) увеличивается в воде при отсутствии кавитации в $5 \div 40$ раз. Частотная зависимость коэффициента поглощения удовлетворяет закону $a_{\max} \sim f$. Для данной частоты приближенно наблюдается соотношение $a_{\max} l = \text{const}$, где l — расстояние стабилизации волновой формы.

Исследуя дифракцию света на ультразвуковых волнах большой амплитуды, И. Г. М и х а й л о в и В. А. Ш у т и л о в обнаружили резкую асимметрию в распределении света по дифракционным максимумам. Рассчитав дифракцию света с учетом фазовой модуляции от звуковых волн пилообразной формы, они построили по фотографиям спектров модели этих волн для различных расстояний от излучателей и вычислили их интенсивности. Полученные данные в пределах ошибок опыта совпадали с результатами измерения абсолютной интенсивности ультразвуковых волн. Пропущенная ультразвуковую волну через стеклянные пластины толщиной в четверть, треть и т. д., волны докладчики выделяли из спектра искаженных звуковых волн различные гармонические составляющие, наблюдая при этом соответствующее удвоение, утройство и т. д. расстояния между дифракционными максимумами.

Еще Эйхенвальд рассмотрел акустическое поле конечной амплитуды, возникающее в невязком теплопроводящем газе между неподвижными стенками при первоначальном синусоидальном распространении скорости частиц. З. А. Г о л ь д б е р г обобщил получение решение на случай любой среды с вязкостью и теплопроводностью, что приводит к экспоненциальному затуханию со временем. Рассматривая установившееся звуковое поле в случае, когда одна из стенок неподвижна, а другая колеблется, докладчик установил зависимость амплитуды величины второго порядка от пространственной координаты и наличие во втором приближении двух членов, один из которых приводит к симметричному, а другой к несимметричному относительно узлов искажению формы поля.

А. Л. П о л я к о в рассмотрела распространение звука конечной амплитуды в релаксирующей среде как неравновесный процесс и на основе представлений термодинамики необратимых процессов получила выражение для энергии, диссирируемой

в этом процессе (нелинейность уравнений гидродинамики при этом сохранялась). Считая приближенно форму волны в конкретном релаксационном процессе римановой и разлагая ее в ряд, она нашла поправки второго порядка к коэффициенту поглощения волны (по отношению диссирированной энергии, усредненной по времени, ко всей энергии, запасенной в волне).

Близкими вопросами занимались Е. В. Ступченко и И. П. Стаканов, рассмотревшие теорию стационарных потоков жидкости (акустический ветер, явление Дворжина) в релаксирующих средах. В основу расчета ими положены уравнения движения вязкой жидкости, дополненные уравнением «реакции», описывающим изменение во времени параметра ξ , характеризующего отклонение среды от состояния термодинамического равновесия, и уравнением для возникновения энтропии вследствие необратимых процессов, связанных с изменением ξ . Усреднняя члены уравнения по интервалу времени, большому в сравнении с периодом звука и малому относительно характерного времени накапливающихся возмущений, авторы решили уравнения, описывающие квазистационарные потоки во втором приближении в случае цилиндрических звуковых полей (при произвольном радиально симметричном распределении интенсивности звука). При этом учитывается затухание звука, распространяющегося вдоль оси цилиндра, что является особенно существенным при частотах, близких к обратной величине времени релаксации. В предельном случае малых времен релаксации развитая теория описывает акустический ветер в среде с объемной релаксацией с учетом, однако, затухания звука.

Теория вторичных течений рассматривалась также П. И. Кубанским. Последнего заинтересовал механизм вихреобразования у резонатора с фланцем при омыании его горла потоком воздуха. Поперечный поток, протекающий у горла резонатора, образует над ним турбулентную струю, испытывающую боковое давление, вызываемое течением в полости резонатора. С увеличением скорости потока усиление, действующее на струю, возрастает, струя отклоняется за пределы горла и дает выход вихрю из полости резонатора. Возникающий таким образом автоколебательный процесс характеризуется большими амплитудами колебаний струй; поэтому у горла резонатора возникают вторичные внешние течения. Докладчик предполагает, что вихреобразования у горла резонатора представляют собой суперпозицию вихрей, периодически выходящих из полости резонатора и генерируемых колебаниями струи.

Измеряя поглощение ультразвуковых волн бесконечно малой амплитуды в растворах каучуков и полимеров, И. Г. Михайлов и Н. М. Федорова нашли, что оно мало отличается от поглощения в чистом растворителе, хотя макроскопическая вязкость раствора может значительно превышать вязкость растворителя. Небольшое дополнительное поглощение в растворах вызывается потерями на трение, возникающими при движении растворителя относительно полимерной сетки. При переходе к ультразвуковым волнам конечной амплитуды силы трения настолько увеличиваются, что возникает разрушение полимерной сетки. В этот момент величина и характер поглощения в растворе полимера резко изменяются. По-видимому, процесс разрыва сетки носит активационный характер, связанный с пересеком через потенциальный барьер, и поэтому пороговое напряжение на кварце (при котором происходит разрушение структуры раствора) пропорционально U/RT (U — энергия связи узлов сетки, T — температура и R — газовая постоянная). Исследуя температурную зависимость порогового напряжения, авторы нашли величину U для некоторых растворов полимеров, показав тем самым возможность использования ультразвуковой волны конечной амплитуды для изучения взаимодействия полимерных молекул в растворе.

Для ряда практических задач гидроакустики крайне актуальна проблема существенного повышения интенсивности излучателей. Но увеличение интенсивности обычных источников звука резко ограничивается возрастанием нелинейных эффектов. Новые возможности представляет явление звукообразования при искровых и коронных разрядах в воде, изученное Н. А. Рогем, Д. И. Фроловыми и А. Л. Поляковой. Исследуя условия пробоя максимального промежутка, электрические и акустические характеристики искрового разряда, они нашли возможность получить высокий электроакустический к. п. д. Применяя коронные разряды, они смогли рассредоточить звукообразование на большой объем, уменьшив крутизну фронтов акустических импульсов и тем самым снизить диссипацию энергии импульсов в среде. Однако электроакустический к. п. д. коронных разрядов пока невелик и ведется работа по его повышению.

Группа докладов была посвящена вопросам распространения ударных возмущений в различных средах. Для среды, внутренняя энергия которой определяется значением удельного объема и энтропии, удается устанавливать вид и свойства ударных адиабат (используя дифференциальные соотношения, имеющие место вдоль адиабаты Гюгонио), если знак второй производной от давления по удельному объему постоянен во всей области. Г. Я. Галину удалось, привлекая дополнительные сведения об ударных адиабатах, установить вид адиабат Гюгонио и исследовать свойства ударного перехода для сред с произвольным уравнением состояния (когда производная $\frac{\partial^2 P}{\partial^2 V}$

меняет знаки вдоль адиабат Пуассона). Он выяснил особенности распространения возмущений в таких идеальных сжимаемых средах и показал, в частности, возможность существования не единственного решения. Для выбора последнего могут быть использованы соображения об устойчивости поверхностей сильного разрыва.

Н. Н. Кочина исследовала задачу о сильном точечном взрыве в идеальной сжимаемой среде. Если внутренняя энергия среды имеет вид

$$\epsilon(p, \rho) = \frac{p}{\rho} \varphi \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)$$

(где ρ_0 — некоторая плотность), задача автомодельна и сводится к решению обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка, вид которого зависит от функции $\varphi \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)$ и ее производной. Получив частное точное решение [имеющее место для любой функции $\varphi \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)$], Н. Н. Кочина решала в качестве примеров несколько задач о сильном взрыве, в частности о взрыве в среде, подобной воде, и нашла оценки для моментов времени, до которых можно считать взрыв сильным.

Решив уравнения газовой динамики, описывающие распространение волн малой амплитуды (в предположении, что ширина возмущенной области мала по сравнению с характерными размерами задачи), К. Е. Губкин нашел, что нелинейный характер движения существенно проявляется, когда волна проходит расстояния, значительно превышающие ширину возмущенной области. Учет нелинейных факторов приводит к изменению профиля волны и образованию в ней разрывов, а также к дополнительному затуханию ударного фронта. На больших расстояниях профиль волны давления за фронтом всегда близок к линейному, независимо от начальной формы.

С. И. Сидоркина рассмотрела образование ударной волны, иллюстрирующей массивной пластиной, возбужденной плоской же ударной волной. Докладчик выяснила, что при нестационарной ударной волне максимальная интенсивность вторичной волны обоятельно меньше первичной и привела результаты приближенного расчета движения пластины и газа перед ней.

Работа секции «Излучение и дифракция звука» была посвящена преимущественно разработке и сравнению между собой различных точных и приближенных математических методов решения стационарных и нестационарных волновых задач. В связи с развитием акустики твердого тела большое внимание было уделено, помимо рассмотрения скалярных волновых уравнений, векторным волновым уравнениям.

В группе докладов, представленных Г. И. Петрашень и его сотрудниками, предложен и развит общий метод точного рассмотрения дифракции в угловых областях, обобщающий метод Смирнова — Соболева и метод интегрального преобразования Зоммерфельда, развиваемый в работах Г. Д. Малюжинца и его школы. Г. И. Петрашень и Б. Г. Николаев отметили, что этот метод позволяет «естественно» и единообразно решать все известные классические стационарные и нестационарные задачи дифракции от двугранного угла, а также приводит к законченным результатам, в ряде случаев не рассматриваемых ранее.

Сообщая о результатах вычисления дифракционных полей в стационарной и нестационарной акустических задачах, Б. Г. Николаев и М. В. Васильева привели удобные для расчетов формулы и обсудили качественные и количественные закономерности в изменении поля в области дифракции. Подробно были рассмотрены случаи плоской падающей волны, плоского и пространственного точечных источников.

«Приближенное рассмотрение волнового поля вблизи случайной неровной (идеально мягкой) поверхности», сделанное Г. Д. Малюжинцем в приближении поперечной диффузии (замена эллиптического уравнения параболическим), показало, что результат статистического усреднения поля по ансамблю случайных функций совпадает с решением простейшей задачи об отражении волны, создаваемой тем же источником, от бесконечной граничной плоскости, характеризуемой некоторым нормальным импедансом. Величина этого «среднего» импеданса зависит от спектра случайной функции и может быть вычислена или определена экспериментально. Эффект ослабления с удалением от источника можно оценивать по «среднему полю». Поле вблизи случайной поверхности может быть представлено суммой этого поля и случайного, соответствующего эффекту рассеяния и приводящего к флуктуациям.

Новый простой и точный метод решения задач распространения и дифракции синусоидальных волн в полуцилиндре, на плоской границе которого задано красивое условие третьего рода, предложен М. Д. Хаскином. Используя полученные общие решения, докладчик определил в простой форме функции излучения цилиндрического сферического и других источников и дал метод построения точных решений задач излучения и дифракции звуковых волн вертикальной пластиной, загораживающей частично полупространство, пластиной, содержащей открытую область, горизонтальной полуплоскостью, покрывающей часть границы жидкости и т. д.

Доклад А. С. Г о р я и н о в а также содержал строгое решение одной из дифракционных задач — дифракции плоской звуковой волны на жестком бесконечном конусе (и, соответственно, плоской электромагнитной волны на проводящем конусе). Решение, содержащее дифракционные ряды, преобразуется к контурным интегралам, причем выделяется падающая волна. Значения контурных интегралов, содержащих лишь поле, отраженное от поверхности конуса, находятся численными методами. Докладчик сравнил результаты строгой теории и геометрической оптики, а также некоторых приближенных методов на частном случае осевого падения плоской волны. Для случая обратного отражения им была получена простая формула, дающая хорошее согласие со строгой теорией.

Приближенные решения дифракционных задач были рассмотрены А. А. Ф е д о р о в ы м и И. Н. К а н е в с к и м. Первый из них, используя методы В. А. Фока, и допуская, что дифрагирующие тела вращения достаточно велики ($ka \gg 1$, a — характерный размер тела), асимптотически суммировал дифракционные ряды, представляющие строгое решение задачи. Представив расчетные формулы в виде произведений функций Бесселя на табулированные функции и выполнив численные расчеты для $ka=5$ и 10, автор нашел, что удовлетворительное согласие с расчетами по строгой теории получается для сферы при $ka \gg 5$. Поле в дальней зоне представляет собой результат интерференции волн, отраженной по закону геометрической оптики, и волн, обогнувших сферу по дуге меридиана (дифракционных волн). Полученные соотношения при некоторых физических предположениях относительно фазы и амплитуды дифрагированных волн могут быть обобщены для сфероидов.

До последнего времени результаты экспериментальных исследований поля в фокусе звуковых фокусирующих систем сравнивали с расчетом поля, не учитывая при этом дифракцию на самом приемнике звука. Аналогично этому при расчетах концентраторов звука не учитывали дифракцию на облучаемых объектах, помещаемых в фокусе. Расчитав дифракцию сходящегося цилиндрического бесконечного фронта на бесконечном цилиндре (расположенном coaxially с фронтом), а также на сфере (центр которой расположен на оси фронта), И. Н. К а н е в с к и й, получил выражения для потенциала, давления и скорости результирующего поля, вычислил распределение давления и скорости на поверхности жесткого цилиндра и получил асимптотические выражения для интенсивности и полной мощности рассеянной волны. Проведенное сравнение со случаем дифракции плоской волны на цилиндре и сфере позволило выявить характерные особенности задачи.

В дискуссии, возникшей по докладам, Г. Д. М а л ю ж и н е ц интерпретировал некоторые результаты с помощью представления о поперечной диффузии амплитуды по волновым фронтам.

Следующие три доклада были посвящены колебаниям упругих тел. В докладе С. В. К а л и с к о г о (Польша) впервые была подвергнута точному рассмотрению труднейшая задача о колебаниях конечного упругого цилиндра, причем метод решения основан на сведении задачи к вполне регулярной бесконечной системе алгебраических уравнений.

В. В. Т у т е к и п рассчитал дифракцию плоской продольной волны, распространяющейся в изотропной упругой среде, на цилиндрической полости бесконечной длины при произвольном направлении падения волны. Рассеяное поле задавалось скалярным и векторным потенциалами. Составляющие векторного потенциала определяются при помощи трех векторных функций, каждая из которых удовлетворяет векторному волновому уравнению. Решение представляет собой неограниченную сумму цилиндрических волн различных порядков, причем пульсовой член соответствует пульсирующим колебаниям стенок полости при различных углах падения. Этим же методом автором была решена задача рассеяния плоской звуковой волны, падающей под произвольным углом, на упругий цилиндр произвольного радиуса. Оказалось, что при совпадении одного из собственных значений волнового числа внутри цилиндра с проекцией волнового числа в среде на ось цилиндра происходит интенсивное рассеяние звука.

Л. Я. Г у т и н ы м были рассмотрены изгибные колебания бесконечно длинной полосы с опертыми кромками и показано, что если ширина полосы меньше половины длины изгибной волны, незатухающая бегущая волна изгиба невозможна. Для бесконечно длинной полосы со свободными кромками определена зависимость скорости распространения изгибных волн от отношения ширины полосы к длине изгибной волны.

В связи с задачами борьбы с вибрациями и обусловленным ими шумом большой интерес представили физические исследования взаимодействия колебаний упругих пластин и оболочек с акустическим полем в окружающей среде, изложенные в ряде докладов.

В докладе Л. А. М о л о т к о в а и Г. И. П е т р а ш е л я «О некоторых динамических свойствах тонких упругих слоев» были рассмотрены свободные, погруженные в жидкость и находящиеся в контакте с упругой средой тонкие плоскопараллельные слои. На основе точного решения был выяснен вопрос о характере внешних динамических воздействий, при которых слой может быть заменен эквивалентной мем-

браной, пластиной или другой вырожденной системой. Тип вырожденной системы существенно зависит от среды, в которой слой находится, а также от характера воздействия. Например, тонкий упругий слой можно считать пластиной, если он расположжен в пустоте, и нельзя — если он погружен в жидкость.

Л. М. Ляшев рассчитал рассеяние статистического звукового поля тонкой упругой однородной оболочкой, когда это поле обусловлено некоторым распределением случайных источников в однородной среде, где находится оболочка, и излучение статистического звукового поля колеблющейся упругой оболочкой, находящейся в однородной среде, когда колебания оболочки обусловлены некоторыми поверхностными статистическими силами. Обе задачи решаются путем применения теоремы взаимности к искомому статистическому полю и вспомогательному дифракционному (нестатистическому) полю, обусловленному источником, помещенным в точку пространства, где необходимо определить интенсивность статистического поля. При этом используются ранее полученные результаты расчета дифракции на оболочках. Автор вычислил спектральную интенсивность статистического поля в случае сферической и цилиндрической оболочек и тонкой пластиинки на больших, по сравнению с размерами тела, расстояниях.

«Точное решение задачи о дифракции плоских звуковых волн на полубесконечной упругой пластиинке» получено в виде интеграла Зоммерфельда Г. Д. Малюж и и цем путем обобщения метода, использованного ранее в задаче дифракции на пластиинке с краевыми условиями третьего рода (с заданным импедансом краев). Дифференциальные уравнения изгибных и продольных колебаний тонкой пластиинки (с учетом распределенной вспециальной силы) служат краевыми условиями для звукового давления p , удовлетворяющего вне пластиинки волновому уравнению $\Delta p + k^2 p = 0$. Колебания пластиинки в свою очередь удовлетворяют краевым условиям общего вида (с учетом возможного внешнего воздействия) на ребре $x=0$. Задав амплитуды падающих из бесконечности на ребро воли, распространяющихся, как в окружающей среде, так и по самой пластиинке, автор нашел решение, непрерывное в области и на границе, а также удовлетворяющее условию пограняности. В качестве частных случаев рассмотрены: дифракция на пластиинке плоской волны, падающей под произвольным углом, отражение от края пластиинки и излучение в окружающее пространство изгибной или продольной волны, приходящей по пластиинке из бесконечности, и распространение и излучение волны, возбуждаемой в пластиинке, при заданном воздействии на ребре.

Б. С. Булдырев, применив метод контурных интегралов, развитый в работах Г. И. Петраненя и др., решил нестационарную задачу дифракции звуковых волн на мембранный цилиндрической оболочке. Он нашел, что возмущение отраженной волны в окрестности ее фронта в первом приближении не зависит от параметров оболочки и совпадает с возмущением волны, отраженной от абсолютно жесткого цилиндра. Вследствие дисперсии скорости в оболочке возмущение перед фронтом головной волны отлично от нуля. Была выяснена зависимость интенсивности головной волны на ее фронте от различных параметров задачи и обсуждена возможность замены тонких упругих слоев, ограничивающих среды (в которых происходит распространение воли), моделями типа мембран и оболочек.

Существенный вклад в изучение дифракционных явлений дают пока еще немногочисленные экспериментальные исследования. Продолжая свои давние работы по визуализации ультразвуковых полей, С. Н. Ржевкин совместно с В. И. Макаровым экспериментально и теоретически исследовал процесс возбуждения ультразвуковых волн в пластиинках и цилиндрических оболочках при облучении их из жидкости. Выяснено существование дискретных «зон возбуждения» на оболочках и возможности одновременного возникновения нескольких типов волн в твердом слое. Показано, что звуковое поле в полости замкнутой оболочки, возбужденной ультразвуком, образует область, ограниченную каустической поверхностью, внутри которой звук отсутствует. Звуковое поле вне оболочки образует стабильную интерференционную картину из полос, перпендикулярных к оболочке (при установлении в оболочке стоячих волн).

В последнем докладе этого цикла, сделанном Л. Я. Гутином, была дана приближенная зависимость между средним квадратом амплитуды колебательной скорости и излучаемой мощностью при сложной форме возбуждения прямоугольной пластиинки с опертыми кромками. Предварительно было установлено, что коэффициент излучения такой пластиинки почти одинаков при возбуждении на резонансных частотах в диапазоне частот, нижняя граница которого определяется отношением меньшего размера пластиинки к длине волны, а верхняя граница — частотой, при которой длина свободной волны изгиба в пластиинке равна длине волны в окружающей среде («критическая частота»). Затем было предположено, что в разложении силы F по собственным функциям $F = F_{mn} \psi_{mn}$ все $F_{mn} = \text{const}$ и что интервалы частот между возбуждающими силами и собственными частотами пластиинки равновероятны.

На секции «ультразвук» обсуждались физические исследования распространения и поглощения пелинейных (совместно с секцией «эллипсона»)

акустика) и линейных ультразвуковых колебаний в газах, жидкостях и твердых средах и исследования физико-технического характера, связанные в большей или меньшей мере с применением ультразвуковых колебаний в технике. Доклады чисто технического и прикладного характера не ставились, так как такие работы обсуждались на ряде отраслевых конференций.

Первое заседание было посвящено вопросам акустики твердых тел.

К. Н. Баранский рассказал об измерениях затухания продольных колебаний с частотами от $2 \cdot 10^8$ до $7,5 \cdot 10^8$ Гц в кварцевых пластинах x -среза, возбуждаемых на высших гармониках их основного тона. Для этого был разработан и применен метод, использующий явление дифракции света на ультразвуке и позволяющий определять временной коэффициент затухания из исследования переходных процессов установления и затухания упругих колебаний в кварцевой пластине при возбуждении ее прямоугольными импульсами высокочастотного электрического поля. Форма получающихся импульсов дифрагированного света исследовалась фотоумножителем и электронным осциллографом. Значения коэффициента поглощения, полученные этим методом, при частоте $5 \cdot 10^8$ Гц варьировали для разных пластин от 0,1 до $0,2 \text{ см}^{-1}$. Полученные значения по порядку величины сходятся с теорией, развитой И. Г. Шапошниковым и С. Н. Ткаченко.

Скорость продольных и поперечных колебаний в двойных твердых растворах никель — хром и никель — титан при различной величине пластической деформации и концентрации хрома была измерена импульсным методом Т. Я. Бениевой.

Е. Рапаховским и Б. Лесняком (Польша) была экспериментально исследована зависимость между коэффициентом диэлектрических потерь и поглощением ультразвука в бакелитовой смоле и полистироле. Они сделали попытку объяснить в связи с этим молекулярный механизм этих потерь.

З. Паловский (Польша) обсудил способ измерения модулей упругости поликристаллов путем определения угла полного отражения ультразвуковых волн. Результаты измерения были сопоставлены с данными, полученными статическими методами.

О. И. Силаева и О. Г. Шамина сделали сообщения об особенностях измерений скоростей и поглощения продольных и поперечных волн на различных лабораторных образцах (пластины, стержни, массивные блоки). Установлено, что коэффициент поглощения продольных волн в стержне, пластине и неограниченной среде имеет различные значения, что согласуется с теоретическими данными Г. И. Гуревича.

Особенности распространения поверхностных волн были предметом широкого обсуждения и на секции ультразвука. Это объясняется их возрастающей ролью в контроле поверхностных дефектов. Рассматривая вопрос о возможности образования и распространения рэлеевских волн в плоском упругом слое со свободными границами, И. А. Викторов показал, что среди совокупности нормальных волн, возбуждаемых излучателем рэлеевских волн, помещенным на одной из свободных поверхностей упругого слоя, имеется компонента, которая в области, близкой к излучателю, подобна рэлеевской волне. Докладчик экспериментально исследовал «происхождение» и поведение этой компоненты и получил хорошее согласие с расчетами. Были также вычислены пространственные коэффициенты затухания рэлеевских волн в алюминии и стали через соответствующие коэффициенты продольных и поперечных волн и сопоставлены с экспериментальными значениями. Получено качественное совпадение.

К. Н. Виноградов и Г. К. Ульянов измерили фазовую скорость и затухание ультразвуковых поверхностных волн в некоторых металлах, сплавах и стеклах. Колебания возбуждались клиновым методом. При измерении фазовой скорости прием осуществлялся неконтактным магнитоакустическим приемником, перемещающимся вдоль образца. Затухание измерялось импульсным методом в диапазоне частот до 5 МГц с помощью клиновых преобразователей. Выясниено, что затухание сильно зависит от чистоты обработки и защитных покрытий.

О некоторых особенностях распространения ультразвука вдоль поверхности двухслойной твердой среды (толщина верхнего слоя примерно равна длине волны) рассказал Н. Н. Егоров. Так как затухание ультразвука оказалось сильно зависящим от $\frac{d}{\lambda}$ и при постоянном λ является в некотором интервале толщин линейной

функцией толщины, стало возможным создать ультразвуковой прибор для измерения глубины поверхности закаленных, цементированных и некоторых других поверхностно упрочненных слоев.

Некоторые данные о дифракции поверхностных ультразвуковых волн на твердом клине, полезные для определения профиля образца при интерферометрическом измерении скорости распространения поверхностных волн, были сообщены И. П. Денисовым.

Наибольшее внимание в работе секции было уделено вопросам распространения и поглощения ультразвука в жидких средах и расплавах. В. Ф. Ноздрев, Н. И. Конкин и М. А. Горбунов сделали обзорный доклад об исследова-

ниях физико-химических свойств сложных термодинамических систем ультраакустическими методами. Исследование двухфазной системы жидкость — кристалл в случае органических жидкостей показало взаимозависимость величины поглощения ультразвука и особенностей кристаллической структуры вещества. Поглощение в области перехода связано с поведением других физико-химических параметров (теплоемкость, коэффициент объемного расширения, показатель преломления и т. д.). Характер зависимости поглощения от температуры в области перехода объяснен ими качественно, исходя из теоретических представлений Я. И. Френкеля о наличии предкристаллизационных областей. Исследования распространения и поглощения ультразвуковых волн в системе жидкость — пар по линии насыщения и в критической области позволили выявить связь между скоростями звука в жидкости и насыщенном паре в условиях динамического равновесия. Данные акустических измерений использованы для расчета теплоемкости и других физико-химических параметров жидкостей.

Рассматривая проблему поглощения ультразвука в результате возбуждения двух или более дискретных уровней энергии, Р. Бейер (США) показал, что полный коэффициент поглощения возможно выразить как сумму коэффициентов, обусловленных отдельными релаксационными процессами с нормальными модулями релаксации. Исследовав отношение частот этих нормальных мод к скорости реакции, соответствующей возбуждению единичного уровня, он нашел, что во многих случаях частотой релаксации наименшего возбужденного уровня является нормальная частота.

Анализируя новые сравнительные данные о диэлектрической релаксации и об ультразвуковых сдвиговой и объемной релаксациях в вязких ассоциированных жидкостях, Т. А. Житовиц (США) пришел к заключению, что времена ультразвуковых релаксаций часто близки по величине. Что же касается соотношения времен ультразвуковой и диэлектрической релаксаций, то для некоторых молекулярных структур они близки, для других же структур этого не наблюдается.

И. Г. Михайлов проанализировал имеющиеся экспериментальные данные о поглощении ультразвуковых волн в этилацетате, в том числе измерения, выполненные в лаборатории автора импульсным методом на частотах 5—25 $M\text{c}$. Наиболее надежные экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими релаксационными зависимостями поглощения для одного времени релаксации объемной вязкости.

Эта точка зрения оспаривалась в прениях Б. Б. Кудрявцевым и др. Разгоревшаяся по этому вопросу дискуссия была продолжена на специальном организованном семинаре.

Б. Б. Кудрявцев сделал обзорный доклад о применении ультраакустических измерений при изучении жидкостей. Кратко изложив феноменологическую и молекулярно-кинетическую теорию распространения звука в жидкостях, докладчик продемонстрировал на различных примерах возможность использования акустических измерений при изучении природы и свойств жидкостей.

Вопросу установления связи скорости звука в жидкостях (и сжатых газах) с молекуляриими характеристиками вещества было посвящено выступление И. З. Фишера. Он проанализировал две модели, допускающие точное решение задачи о скорости звука при любых температурах и давлениях: одномерную модель «жидкости» с произвольным законом взаимодействия между частицами и трехмерную модель системы невзаимодействующих шариков. Используя результаты и методы современной статистической механики, ему удалось в обоих случаях точно выразить скорость звука через термодинамические параметры и молекулярные характеристики системы (массу и размеры частиц, потенциал межмолекулярных сил), что позволило дать исчерпывающий анализ решения.

В. Ф. Нодрев и Б. И. Кальянов исследовали скорость и поглощение ультразвука в жидкостях импульсным методом при постоянной плотности в зависимости только от температуры. Это позволило им упростить теоретический анализ экспериментально обнаруженных и исследованных релаксационных процессов. 111

М. С. Песип, И. Л. Фабелински рассказал о продолжении ранее начатого исследования дисперсии скорости гиперзвука (с частотой $f=10^{10} \text{ гц}$) в жидкостях с большим объемным коэффициентом вязкости, проводимого методом изучения тонкой структуры линии разеевского рассеяния. Обнаружена дисперсия скорости звука (10—15 %) в жидком хлористом метилсне, бромистом метилене и хлороформе. Определены и обсуждены с точки зрения релаксационной теории поглощения звука в жидкости время релаксации второго коэффициента вязкости и коэффициент поглощения этих жидкостей.

Расширяющееся применение акустики для изучения физических свойств веществ было иллюстрировано циклом докладов, касающихся распространения звуковых колебаний в расплавах различных типов и связи акустических и других характеристик этих веществ в критических областях и точках перехода.

М. В. Бессонов рассказал о некоторых особенностях распространения ультразвука в расплавленной соли, в расплаве калифории и в расплаве свинца (частота 2,4 $M\text{c}$). При охлаждении в области стеклования, происходит резкое изменение

скорости звука. Измеренные значения скорости были применены для вычисления коэффициентов теплопроводности по формуле Бриджмена, причем было получено удовлетворительное согласие с результатами прямых измерений этих коэффициентов.

Н. Ф. Отпушеников измерил скорость ультразвуковых волн при переходе из жидкого состояния в твердое в пафалине, гипосульфите, феноле и в легко-плавком сплаве и нашел, что в области $3-6^{\circ}\text{C}$ до начала кристаллизации вещества скорость звука аномально (не по закону прямой линии) меняется с температурой. Это показывает, что процесс кристаллизации не является процессом, происходящим только строго при температуре затвердевания, и что в некоторой «предкристаллизационной» области происходит процесс подготовки вещества к кристаллизации. Последний вывод подтверждается и другими неакустическими исследованиями физических свойств ряда веществ вблизи температуры плавления и кристаллизации.

В. И. Иллунас и Э. П. Яроныс исследовали с помощью интерферометров магнитную дисперсию ультразвука в ртути, жидким патрии и калии. Интерферометры помещались в поперечное магнитное поле с индукцией $(6-9) \cdot 10^3$ гаусс при частотах $2,5-4$ Мгц. При погрешности измерений ± 3 мт влияния магнитного поля на скорость ультразвука не наблюдалось, что опровергает выводы теории Н. С. Андерсона. Теоретический расчет магнитоакустического эффекта, проведенный авторами методом гидродинамической теории звука при учете термодинамических и электромагнитных факторов, показал, что изменение скорости звука в исследованных жидкых металлах в пределах ультразвуковых частот составляет величину всего лишь порядка $10^{-5}-10^{-9}$ м/сек.

Об измерениях скорости ультразвука в двойных жидкых сплавах Bi-Cd и Bi-Pb рассказал З. Л. Ходов. Измерения проводились импульсным методом при температурах, превышающих точку плавления на $5-10^{\circ}$. Установлено, что концентра-

Были заслушаны также доклады об излучателях ультразвука, применяемых в технике звуковой коагуляции аэрозолей. Исследуя генератор типа Гартмана, Б. Лесьник (Польша) определял характеристику структуры газового потока, выходящего под давлением из сопла, в зависимости от скорости потока. М. Л. Варламов и др. доложили об усовершенствовании генератора типа Гартмана (изменение расстояния между соплом и резонатором и глубины резонатора при строгой их соосности) и об исследовании его звукового поля с помощью малогабаритного термоэлектрического зонда. Ими были проведены успешные опыты коагуляции тумана, получаемого путем увлажнения SO_3 , образующегося при контактном окислении сернистого газа.

В течение последних лет вопросы излучения и приема ультразвуковых колебаний «перекочевали» в область электроакустики, сделавшись равноправными с вопросами приема и излучения звуковых частот. Этим объясняется некоторая малоочисленность докладов, посвященных пьезоэлектрическим преобразователям, на секции ультразвука.

Расчету ультразвуковых преобразователей в рамках линейной теории посвящено множество опубликованных работ. Но в большинстве случаев рассматриваемые системы — однозлементные или симметричные. В. Н. Тюлининм провел последовательный теоретический анализ многоэлементных несимметричных преобразователей и определены их характеристики (частотные характеристики, излучаемая мощность, чувствительность в режиме приема).

Некоторые соображения о влиянии согласующего слоя на частотные характеристики пьезоэлектрических преобразователей поршневого типа, полученные в результате решения уравнений преобразователей в общем случае, изложил К. В. Гончаров.

Стержневые ультразвуковые концентраторы, получившие широкое применение для ультразвуковой обработки твердых тел, рассматривались до сих пор без учета влияния нагрузки. В связи с этим, например, признавалось, что ступенчатые концентраторы лучше экспоненциальных. Рассчитав экспоненциальные и ступенчатые концентраторы при заданной нагрузке на конце, Л. О. Макаров показал, что первые целесообразнее, так как изменение реактивной нагрузки (например, из-за износа инструментов) вызывает у них меньшую расстройку колебательной системы.

Секция «Акустические измерения» заслушала доклады о новых методах измерения, о разработке и усовершенствовании приборов для акустических измерений и о повышении точности общепринятых методов акустических измерений.

Подавая на акустический излучатель напряжение пилообразно изменяющейся частоты, В. А. Зверев и А. И. Калачев определяли местоположение и скорость отражающих звук объектов по форме частотного спектра, получаемого в результате детектирования принятого сигнала. Докладчики обсудили возможность применения этого метода для измерения звукопоглощения перегородок, измерений в дефектоскопии и т. д.

В. А. Зверев и Е. Ф. Орлов описали установку для анализа спектра оптических фотографий с применением оптических фильтров, которые исключают влияние нестабильности скорости движения фотографии и позволяют проводить изме-

О возможности применения корреляционных методов для изучения дифракционных картин ультразвуковых полей и для измерения сигналов пороговых уровней рассказал В. И. Соловьев. Докладчик описал схемы и принцип действия прибора, позволяющего подавить флуктуационную помеху на 35 дБ и соответственно увеличить диапазон пороговых измерений (синхрофон), и установки для исследования «тонких» структур ультразвуковых полей в незаглушенных помещениях.

В. П. Глотов и Р. А. Вадов рассказали об измерении малых потерь в жидкости на частотах 3—15 кГц путем определения скорости затухания отдельных нормальных колебаний цилиндрического бака с исследуемой жидкостью, возбужденного звуковым импульсом. Скорость затухания зависит от величины потерь в жидкости и от величины собственных потерь бака. Докладчиками были приняты меры для всемерного ослабления потерь бака и их учета.

В. П. Глотов также доложил об измерении сдвиговой и объемной вязкости в твердых телах резонансно-реверберационным акустическим методом (по скорости затухания собственных сфероидальных и радиальных колебаний образцов, выполненных в виде сплошных шаров). Погрешность измерений составляет около 5%.

Помещая в водяную ванну твердые образцы специальной формы и используя трансформацию продольных волн в сдвиговые в этих образцах, К. В. Гончаров измерил в них затухание сдвиговых волн.

В докладах А. Н. Криштальевич и А. Н. Ривина обсуждались вопросы повышения точности градуировок измерительных микрофонов.

И. Мерхат (Чехословакия) рассмотрел причины погрешностей, которые могут влиять на точность абсолютной градуировки измерительных микрофонов методом пистонфона. Новый тип пистонфона позволяет производить абсолютную градуировку микрофонов с точностью 0,1 дБ.

Об установке для градуировки звукоприемников по давлению в области звуковых частот в воде рассказал Л. Б. Ланганис. Погрешность измерений не превышает $\pm 0,4$ дБ.

И. Л. Красильщик доложил о расчете и о характеристиках образцовых измерительных гидрофонов, в которых в качестве чувствительного элемента используется пьезокерамическая полая сфера из титаната бария с присадкой кальция. Минимальное давление, измеряемое этими гидрофонами в диапазоне частот 50 гц — 100 кГц, составляет 10—50 бар при пятикратном превышении сигналом собственных шумов гидрофонного устройства.

На секции «Электроакустика» обсуждались три наиболее существенные проблемы воспроизведения и приема звуковых колебаний:

а) улучшение качества громкоговорителей и микрофонов с целью приближения качества воспроизводимого звука к естественному;

б) разработка эффективных пьезоэлектрических и других типов ультразвуковых преобразователей, удовлетворяющих условиям их применения в научно-исследовательских и промышленных установках и приборах;

в) изучение физиологических свойств человеческого слуха и речи.

Поскольку архитектурная и строительная акустика также тесно соприкасается с последней проблемой, доклады по физиологической акустике обсуждались на совместном заседании секций электро- и архитектурной акустики.

Существенное повышение качества звучания радио- и телеприемников получено в последние годы раздельным усилением и излучением низких и высоких звуковых частот. Высокочастотные говорители, дополнительно размещенные на боковых стенах приемников, создают некоторое впечатление объемного звучания.

Д. Х. Шифман, а также А. И. Днепровский, В. И. Самарский и Е. А. Тимофеева в рассказали о дальнейших мероприятиях по улучшению качества звучания приемников. В частности, создаются выносные распределенные акустические системы, состоящие из низкочастотного (40—4000 гц) и среднечастотного (300—6000 гц) говорителей, расположенных на фронтальной стене помещения, и двух высокочастотных громкоговорителей (3000—15 000 гц), расположенных на боковых стенах жилой комнаты. Такое расположение источников звука создает иллюзию звучания в жилой средней комнате большого оркестра. Разрабатываются высококачественные высокочастотные говорители рупорного и диффузионного типа, а также конденсаторный высокочастотный говоритель.

В последнее время наметилась тенденция углубленного математического анализа электромеханических процессов, происходящих в излучателях. Примером исследований такого рода явился доклад Я. Кацировского (Польша), рассчитавшего коэффициент передачи экспоненциального рупора. Использование теории четырехполюсников позволило автору указать на ряд плодотворных аналогий колебательных процессов в рупоре с процессами в длинных линиях и т. д. Он показал, что рупор может рассматриваться как трансформатор с постоянным и независимым от частоты коэффициентом передачи лишь при некоторых условиях.

С. Т. Тер-Осянц отметил, что недостатки воспроизведения звука современными динамическими громкоговорителями могут быть устранены внесением зату-

хания в колеблющиеся и излучающие звенья системы говорителя. Это было им осуществлено особым расположением пористого звукопоглощающего материала вблизи говорителя. В высококолеблющийся слой воздуха вносилось при этом активное сопротивление таким образом, что активная линейная нагрузка прилагалась почти ко всем колеблющимся элементам говорителя. Вследствие этого многочисленные резонансы как диффузора, так и объема ящика демпфировались в очень широкой области частот, что значительно улучшило тембр звучания громкоговорителей.

В докладе В. Муревского о результатах разработки высококачественной системы контрольных громкоговорителей, воспроизводящей спектр частот от 40 гц до 15 кгц, также отмечалось, что заглушение звукопоглощающим материалом надлежащим образом сконструированных внутренних полостей лабиринта корпуса низкочастотного агрегата позволило ослабить резонансные максимумы.

О «Некоторых исследованиях механико-акустических систем электростатических приемников звука» рассказал Г. В. Бутаков. Метод электрического моделирования позволил выявить влияние любого из параметров сложной колебательной системы (например, комбинированного капсюля типа Браунмюля и Вебера). Полученные таким образом результаты хорошо согласуются с данными измерения реальных систем.

А. Д. Ткаченко рассказал о новом способе возбуждения микрофона при передаче речи путем использования колебаний покровов лица, действующих через замкнутый воздушный объем («акустическую связь») на диафрагму микрофона, прижимаемого к лицу вблизи уха. По сравнению с обычными микрофонами, располагаемыми перед ртом, этот способ (осуществленный практически с использованием электромагнитных микрофонов) обладает рядом преимуществ.

В. С. Григорьев, Л. П. Никитина и Ю. А. Уханов доложили об исследованиях макета электромеханического преобразователя, основанного на пондеромоторном взаимодействии магнитного поля с током смещения в диэлектрике (обусловленном переменным смещением зарядов диэлектрика). Уже при значениях диэлектрической проницаемости порядка десятков единиц, эффективность такого преобразователя близка к эффективности обычного электродинамического преобразователя (основанного на использовании тока проводимости). Применение диэлектриков с большей диэлектрической проницаемостью позволяет повысить к. п. д. исследуемых преобразователей.

Исследуя свойства феррита никеля и ряда никель-цинковых ферритов, И. П. Голямина выяснила целесообразность их применения в магнитострикционных ультразвуковых преобразователях. Ферриты могут быть применены и в мощных излучателях, однако к. п. д. последних зависит при этом от потребляемой мощности. В докладе были обсуждены вопросы технологии производства акустических ферритов, в частности применение литья под давлением взамен сухого прессования.

Метод горячего литья под давлением был применен и для изготовления керамики титаната бария (А. В. Соснов и М. А. Угрюмова). Были получены однородные по объему, точные по размерам керамические изделия (тонкостенные цилиндры, конусы, сферы), которые не могли бы быть изготовлены обычным полусухим прессованием.

О целесообразности использования в ряде случаев нетолщинных колебаний кварцевых и турмаленовых излучателей различной формы говорил Б. А. Финагин. По сравнению с обычно используемыми толщинными колебаниями оказывается возможным увеличить интенсивность звукового поля при том же напряжении на излучателе, получить интенсивные ультразвуковые поля на ряде гармоник и т. д.

Е. П. Колоколов выяснил, что, применяя клиновидные кварцевые пластины (x -резза) для преобразования высокочастотных импульсов в жидкой и твердой средах, можно расширить частотную полосу пропускания и уменьшить потери на преобразование по сравнению с обычными плоскими преобразователями.

Большой интерес к вопросам физиологической акустики проявили зарубежные акустисты, сделавшие почти все доклады на объединенном заседании секций «Электроакустики» и «Строительной и архитектурной акустики».

Несмотря на давность и многочисленность работ по исследованию кривых оценки громкости, результаты отдельных авторов, полученные различными методами, до последнего времени оставались разобщенными. Сравнив кривые оценки громкости, полученные методом скачков Квека и методом Гарпера, с прежними измерениями Лэрда, Тейлора, Гампа и др., Я. Фазанович, Д. Грежесик, А. Лемчиковский и Э. Порвик (Польша) пришли к выводу, что результаты всех работ, проведенных методом скачков и методом деления громкости, согласуются путем некоторых пересчетов между собой. Но эти результаты не могут быть согласованы с данными, полученными путем интегрирования функций минимально заметных приращений громкости.

Сравнительно недавно возник интерес к изучению явлений остаточной маскировки (называемой иногда «кратковременной усталостью слуха»), т. е. маскировки, наблюдающейся после прекращения звучания маскирующего тона. О результатах

точного экспериментального определения порога слышимости через доли секунды после прекращения маскирующего тона на низких частотах в свободном поле рассказал К. М. Гаррис (США). Он также рассчитал частотные характеристики слуховой селективности (по методу Мэнсона и Горднера). Оказалось, что на низкой частоте пики этих характеристик значительно острее пиков частотных характеристик амплитуд колебаний базилярной мембранны. Механизм повышения частотной селективности при слуховом восприятии пока остался неизвестным.

О результатах экспериментального исследования допустимых амплитуд эхо (при которых эхо сливается с первоначальным сигналом) при интервалах времени между основным сигналом и эхом в пределах от 0 до 60 мсек и при частотном спектре эха, отличающемся от спектра первоначального сигнала, доложили М. Квек, Э. Краськевич, А. Сливинский, В. Малецкий (Польша).

Х. Низе (ФРГ) обсудил вопрос восприятия громкости импульсных шумов низкой периодичности. Он показал, что уровень громкости лежит в пределах эффективного и пикового значений звукового давления, будучи зависим от частоты повторений; при более низких частотах возникает два различных суждения о громкости. Докладчик построил электрическую схему для объективного измерения громкости, учитывающую обнаруженные субъективные данные.

Визуализация речи привлекает к себе все большее внимание в связи с теми перспективами, которые открываются перед объективными методами изучения речи и практическими приложениями. С. Штейнба (ФРГ) создал установку, с помощью которой речь непрерывно записывается на магнитную ленту. Сигнал с щупа головки, врачающейся с повышенной скоростью, анализируется системой полосовых фильтров, выходное напряжение которых электронным коммутатором подается на модулятор яркости электронно-лучевой трубки с горизонтальной временной разверткой. Вертикальное отклонение луча соответствует включенной в данный момент полосе частот. Таким образом на экране трубы возникает картина бегущей записи речи. Сообщение было иллюстрировано изображениями отдельных звуков и непрерывной речи.

Секция «Архитектурная и строительная акустика» посвятила свои заседания вопросам исследования пространственной акустики помещений и их звукоизоляции, а также вопросам разработки и измерений акустических материалов и конструкций.

В. В. Фурдуев и Г. А. Гольдберг сделали подробный обзор методов искусственной реверберации, применяемой при звуковоспроизведении для архитектурно-акустических исследований, для улучшения акустики залов и т. п. Были обсуждены модели ревербераторов с различным числом измерений, имитирующие волновой процесс в помещении, и устройство с линиями задержки, имитирующие последовательность отражений в некоторой точке помещений. В докладе были приведены критерии качества ревербераторов и намечены возможные пути их усовершенствования.

Исследуя реверберацию кинозалов, А. Н. Качеров и выяснил, что кривую реверберации целесообразно представлять в виде двух участков: начального, который может быть построен на основе геометрического подхода, и завершающего, рассчитываемого на основе статистической теории. Средний коэффициент поглощения, связанный с реверберацией завершающего участка, зависит не только от количества поглотителей звука, но и от их расположения. Соответствующим расположением поглотителей возможно получать высокую разборчивость при относительно больших временах реверберации.

Об исследованиях акустических свойств помещений на акустических моделях масштабом $1/40$ доложил В. М. Градашин. Реверберационные и импульсные измерения на моделях проводились при средней частоте 20 кгц. При моделировании Московского панорамного кинотеатра были обнаружены акустические дефекты, устраненные впоследствии при завершении строительства.

Применяя импульсные сигналы, О. Д. Бурков исследовал акустику некоторых больших залов. Получив в дополнение к кривым реверберации в различных частотных диапазонах картину отдельных отражений, соответствующих начальному участку реверберации, он нашел акустические дефекты некоторых из залов и причины их возникновения.

И. Г. Лезер сравнил время реверберации, измеренное в 12 залах и аудиториях объемом от 1000 до 28 000 м³, с рассчитанным по формуле Эйринга (с использованием коэффициентов поглощения, известных из литературы) и обнаружил при этом во всех случаях значительное добавочное звукопоглощение. Это поглощение (обусловленное арматурой, различными щелями и отверстиями в стенах помещения, гибкими элементами отделки и т. п.) может учитываться некоторой добавкой к обычному расчетному среднему коэффициенту, входящему в формулу Эйринга.

Об акустических свойствах так называемых пространственных поглотителей, в частности выполненных в форме свободно подвешенных шаров с перфорированными прозрачными стенками, говорилось в докладе И. Малецкого (Польша). Выбором

составляющей формой внутренних переборок в поглотителе возможно создать многорезонансную систему с оптимальной частотной характеристикой поглощения мешающих шумов.

И. В. Лебедева рассказала о результатах измерения в реверберационной камере нескольких типов резонансных звукопоглотителей в виде перфорированных листов фанеры или дюралиюминия, отстоящих на некотором расстоянии от твердой стенки. Измеренные частотные характеристики коэффициента звукопоглощения в диффузном поле хорошо совпали с рассчитанными. По сравнению со случаем нормального падения характеристика поглощения получалась более широкой, без резких максимумов и минимумов.

Л. Кейбс (ГДР) изложил простой метод измерения импеданса на поверхности замкнутого воздушного объема путем регистрации звукового давления в объеме до и после введения используемого образца. Сопоставление получаемых таким образом данных с нормированным сечением кривых позволяет определить компоненты массы, жесткости и трения импеданса. Описываемый метод проще обычного метода «трубы Кундта» и удобен для измерения уже готовых стенных покрытий.

В докладе Н. И. Нумкиной, Б. Д. Тартаковского и М. М. Эфусси были приведены данные обследования звукопоглощающих материалов, состоящих из смеси битумов и резиновой крошки. Измерения модуля упругости и коэффициента затухания различных образцов этих материалов, различающихся по составу и технологии изготовления, проводились на стержнях, совершающих изгибовые колебания. Измерения проводились при комнатной температуре в диапазоне частот 30—1000 гц. Было найдено, что некоторые из этих материалов (в частности, слойстые) могут быть использованы для поглощения вибраций металлических конструкций.

В технике борьбы с шумом продолжаются работы в направлении усовершенствования металло-резиновых вибромодераторов. В связи с этим проводятся систематические исследования вязкоупругих свойств резин в широком температурном и частотном диапазонах. Отличительной особенностью измерительного устройства, примененного для этой цели И. Л. Оремом, явилось крепление подвижной системы электромеханического преобразователя при помощи нескольких образцов материалов, работающих на сдвиг.

Измеряя звукоизоляцию однородных пластин (размером $20 \times 40 \text{ см}^2$), Р. П. Головинский обнаружил, что с увеличением жесткости на изгиб образцов их звукоизоляция в диапазоне частот 100—500 гц возрастает до 10 дБ.

Ввиду громоздкости измерения звукоизоляции натурных элементов зданий, И. Г. Лейзер проводил исследования их звукоизоляции на моделях, выполненных в масштабе $1/5$. Модель и оригинал выполнялись из одинаковых материалов, коэффициент затухания которых не зависел от частоты. Это условие, наряду с точным соотношением геометрических размеров и одинаковыми условиями крепления, обеспечивало соблюдение условий подобия.

Акустическое моделирование было применено также Э. Мейером и Г. Куттром (ФРГ) для выяснения мероприятий, с помощью которых можно получить диффузное реверберационное поле в камере с поглотителем. Выяснино, что покрытие нескольких стен жесткими полуцилиндрами и подвешивание рассеивателей позволяет повысить слабую диффузность, свойственную прямоугольной камере. Отклонение от прямоугольной формы камеры также несколько повышает диффузность реверберационного поля.

Звуковое поле в заглушенной камере обычно рассматривается как свободное поле, а отражения от поверхностей камеры — как помеха. Иди по этому пути, И. А. Бажина рассчитала методом мнимых источников поправку, вносимую первыми отражениями в кривые спадания звукового поля в прямоугольной камере, покрытой материалом с коэффициентом поглощения, не зависящим от угла падения. Влияние частичных отражений сказывается в появлении стоячих волн и в некотором сдвиге экстремумов звукового давления и колебательной скорости друг относительно друга. Расчеты удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Несколько иначе подошел к вопросу А. Ф. Осадченко. Он предположил, что каждая точка поверхности камеры (сфера, эллипсоид и параллелепипед) является источником отраженных сферических волн, и рассчитал образованное таким образом звуковое поле. Он нашел зависимость между объемом камеры и коэффициентом поглощения при заданном условии отклонения звукового давления от значений, соответствующих неограниченной среде. Эти зависимости могут быть использованы при проектировании камер.

О результатах экспериментального исследования звукового поля заглушенной камеры МГУ на различных частотах сообщил К. М. Иванов-Шид.

М. Г. Бурле и А. Ф. Осадченко измерили в трубе поглощающие конструкции переменного сечения из капронового волокна. Испытаны поглотители в форме пирамиды, различных клиньев, а также слоистая конструкция из нескольких плоских слоев различной толщины и плотности. Были найдены оптимальные условия,

при которых коэффициент поглощения в диапазоне 60÷600 гц составлял больше 0,985.

И. Тихи (Чехословакия) проанализировал уровни силы звука и спектральный состав шума типичных источников на электростанциях, измеренные им с помощью объективных приборов. Оценив путем пересчета слышимость этих шумов, докладчик наметил меры борьбы с шумом на электростанциях.

В докладе Б. Климена (Чехословакия) были приведены соображения о рациональном расположении зданий на аэродроме с целью всемерного уменьшения шума самолетов, действующего неблагоприятно на пассажиров и обслуживающий персонал. Для расчетов местоположения областей с минимальными уровнями шумов (где и следует располагать помещения) необходимо предварительно измерять шумы самолета.

В заключительном слове академика Н. Н. Адреева отмечалось большое значение прошедшей конференции, продемонстрировавшей количественный и качественный рост научных исследований в области физической и технической акустики. Ценным итогом конференции явилось установление многочисленных дружеских контактов между советскими и зарубежными акустиками.

Оргкомитетом конференции (председатель оргкомитета Л. М. Бреховских) была предоставлена возможность всем желающим участникам конференции ознакомиться с научными работами, проводимыми в Акустическом институте АН СССР, на кафедре акустики МГУ и в ряде других московских акустических научных лабораторий. Были также организованы экскурсии для ознакомления с акустическими лабораториями и аппаратурой Дома звукозаписи Телецентра, панорамного кинотеатра и др. научно-технических учреждений, а также дружеские встречи советских и зарубежных акустиков.

Б. Д. Тартаковский