

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ****СОВЕЩАНИЕ ПО УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ И ОБЩИМ ВОПРОСАМ УЛЬТРААКУСТИКИ**

В Москве состоялось расширенное совещание по вопросам ультразвуковой дефектоскопии и некоторым другим проблемам ультразвуки, созванное Комиссией по акустике Академии наук СССР. На этом совещании, вызвавшем большой интерес в научных и технических кругах, присутствовали представители различных министерств, заводов, научно-исследовательских и учебных институтов и лабораторий.

Совещание заслушало 15 докладов, из которых 9 было посвящено ультразвуковой дефектоскопии и 6 — другим вопросам.

Особый интерес присутствовавших на совещании вызвала демонстрация различных ультразвуковых приборов, предложенных и разработанных отечественными лабораториями. Действие этих приборов было показано на разнообразных эталонах и заводских дефектных деталях.

Было убедительно доказано высокое качество контроля, обеспечиваемое применением ультразвуковой дефектоскопии и его преимущество перед общепринятым выборочным методом контроля.

В оживлённых прениях по докладам участники совещания высказали ряд ценных соображений по вопросам дальнейшего развития и внедрения ультразвуковой дефектоскопии и других областей ультразвуки в технику и научное исследование.

Открывая совещание, председатель Комиссии по акустике Академии наук СССР член-корреспондент АН СССР Н. Н. Андреев указал, что ультразвуковая дефектоскопия создана в СССР трудами профессора С. Я. Соколова и только значительно позже стала бурно развиваться за рубежом. Широкое внедрение акустической дефектоскопии имеет весьма большое значение для промышленности и транспорта. Далее Н. Н. Андреев отметил, что в настоящее время в акустике почти на первом месте стоят вопросы ультразвуки — одной из наиболее важных областей акустики и у нас в СССР, и за рубежом. Так, ультразвука тесно связана с гидроакустикой. Другие области применения ультразвуков можно подразделить на три группы:

- а) ультразвуковая дефектоскопия, где ультразвук служит для обнаружения дефектов всех видов, определения размеров изделия и т. п.;
- б) физическое измерение тех или иных констант вещества с малой интенсивностью ультразвуковых волн, не изменяющих условий опыта и самого вещества (линейная ультразвука);
- в) применение интенсивного ультразвука для создания необратимых реакций и физического воздействия на вещество.

Н. Н. Андреев привёл некоторые примеры такого использования ультразвуковых волн для кристаллизации в химии (С. Я. Соколов), для коагуляции дымов, осаждения туманов, для свёртывания коллоидов; в медицине — как орудие диагноза и лекарственного воздействия и для обратного биологического действия: уничтожения бактерий, разрушения клеток и т. п.

В заключение Н. Н. Андреев указал, что в ближайшем будущем можно ожидать большого развития промышленных, медицинских и других применений ультразвука и данное совещание должно подвести итоги полученным достижениям в некоторых из таких областей, а также наметить пути дальнейшего их развития.

Профессор С. Я. Соколов сделал обширный обзор «современного состояния ультразвуковой дефектоскопии», убедительно показав, что Советский Союз стоит на первом месте в области научно-исследовательской работы по ультразвуку и ультразвуковой дефектоскопии в частности. С. Я. Соколов указал на большое значение методов ультразвуковой дефектоскопии для промышленности, так как с их помощью можно мгновенно регистрировать малейшие дефекты и пороки на глубине до нескольких метров, тогда как другие физические методы контроля менее эффективны. Докладчик также отметил, что ультразвуковые колебания характеризуются очень большими ускорениями, в несколько тысяч раз превышающими ускорение, развиваемое силой притяжения земли. Эти ускорения являются причиной возникновения новых эффектов, пока почти не используемых в технике. Оценивая свойства кварцевых пьезоэлектрических излучателей, С. Я. Соколов указал на причины, обуславливающие искажение плоского волнового фронта: а) дифракционные явления, возникающие у границ излучающей пластины; б) неоднородное распределение величин пьезоэлектрических и упругих констант по поверхности пластины и, как следствие этого, неравномерное распределение амплитуды колебаний; в) неоднородная ориентация кристаллов. Из-за этого, помимо звуковых волн, распространяющихся в металле перпендикулярно к поверхности облучения, возникают косые волновые пучки; наряду с продольными возбуждаются и поперечные колебания, которые путают картину импульсов, видимую на электронно-лучевой трубке.

Докладчик сообщил, что ему удалось с помощью кварцевой пластины диаметром 6 мм возбудить колебания с частотой порядка 10^9 гц в другой кварцевой же пластине, и отметил, что получение очень высоких частот чрезвычайно важно потому, что от этого зависит успех развития ультразвуковой микроскопии. Докладчик исследовал распространение ультразвуковых волн высокой частоты в кристаллах и нашёл, что, например, кварц характеризуется анизотропией не только относительно модулей упругости, но и коэффициентов затухания. Далее, при косом падении звука автор наблюдал многократно отражённые от границ кварца звуковые импульсы, причём, судя по промежуткам между ними, не все из них могут быть объяснены распространением продольных и поперечных волн в среде кварца.

Оценивая возможности современных ультразвуковых дефектоскопов, докладчик отметил, что они позволяют не только зарегистрировать наличие дефекта, но и с нужной для практики точностью определить глубину его залегания. Однако одним из существенных недостатков является пока ограниченность применения дефектоскопов только на гладких поверхностях изделия. Чтобы избежать обработки поверхности металла, предпринимают различные меры по его покрытию разного рода пастами, замазками, устройством особых шупов и т. д. Одним из наиболее эффективных методов является снижение частоты до величины, при которой размер неоднородности на поверхности металла становится значительно меньше длины волны.

Докладчик рассмотрел возможные методы получения видимых изображений, применимые для ультразвуковой микроскопии:

а) с помощью развёртывающего луча электронно-лучевой трубки по методам, известным в телевидении; б) по схемам, применяемым в электронных микроскопах, в которых фотокатод заменяется на пьезоэлектрическую кварцевую пластину; в) на поверхности раздела жидкости и газа. С. Я. Соколов отметил, что разрешающая сила ультразвукового микроскопа, так же как оптического и электронного, зависит от длины волны излучения и качества фокусирующей системы.

В заключение были продемонстрированы снимки различных изображений, полученных с помощью одного из построенных автором приборов. Были показаны снимки процесса растворения кристаллов винной кислоты в жидкости (неразличимых глазом из-за своей окраски, снимки звукового поля колеблющихся кварцевых пластин, дефектной металлической фольги и другие.

В докладе были также приведены примеры применения ультразвука для изучения протекания физико-химических процессов и использования ультразвука для модулирования световых пучков.

В докладе Д. С. Шрайбера «О развитии ультразвукового метода контроля» было отмечено, что ультразвуковая дефектоскопия позволяет осуществить контроль изделий и полуфабрикатов значительных сечений и выявлять дефекты, не доступные другим неразрушающим методам контроля. Возникла необходимость расширить область дефектоскопии, осуществив контроль тонкостенных изделий, выявление дефектов, залегающих на малой глубине, и т. п. Автор подчеркнул, что успешное применение ультразвукового метода и расшифровка полученных результатов возможны только при условиях тщательной подготовки кадров операторов и комплексного применения различных методов дефектоскопии, взаимно друг друга дополняющих. В докладе было отмечено, что ультразвуковой метод позволяет с успехом обнаруживать нарушение сплошности металла, раковины, расслои, разнородности и, в частности, крупнозернистость (последнюю по пропаданию отражённого импульса вследствие значительного рассеивания колебаний).

В последнее время получает распространение «метод преломлённого луча», в котором ультразвуковые колебания с помощью щупов специальной конструкции вводятся в металл со значительным наклоном. Этим методом удаётся осуществить контроль сварного шва, однако при условии уверенного распознавания сигналов, обусловленных распространением продольных и поперечных волн.

Д. С. Шрайбер указал, что между высотой пика импульса, отражённого от дефекта, и величиной дефекта нет однозначной связи, так как величина пика зависит от формы дефекта и от того, фокусируется или рассеивается отражённый таким дефектом импульс. Поэтому неправильно судить о дефекте только по амплитуде импульса. Накопленный статистический материал позволил установить в этой области некоторые закономерности, которые используются на практике. Докладчик рассказал об усовершенствованиях, внесённых им и сотрудниками в конструкцию импульсного дефектоскопа и искательных головок, позволивших значительно расширить возможность применения импульсного дефектоскопа и сократить «мёртвую зону». Докладчик рассказал также об устройстве прибора для контроля тонкостенных изделий и одностороннего определения их толщины. Этот прибор — ультразвуковой резонансный дефектоскоп, основанный на регистрации стоячих упругих волн, образующихся в металле при определённых условиях, позволяет с высокой точностью измерять толщины труб, листов, выявлять расслои и т. п.

Н. Н. Барышников рассказал об ультразвуковом контроле стальных поковок, применяемом для определения качества отдельных поковок

без нарушения их целостности. Обычно принятый метод определения качества таких поковок посредством выборочного изготовления макрошлифов, помимо потери металла, является далеко не совершенным. Обосновав опытными данными необходимость применения ультразвукового метода контроля, автор указал на существенные преимущества этого метода перед другими физическими методами: простоту, дешевизну, то, что он позволяет обнаруживать дефекты очень малой толщины сравнительно с толщиной самого изделия.

Докладчик отметил, что по его наблюдениям различные дефекты (трещины, пористость, шлаковые включения) по-разному формируют дефектный импульс и поэтому при некотором навыке можно по форме этого импульса судить о характере дефекта. Применяемый в настоящее время контактный способ прозвучивания имеет свои недостатки. Черная, шероховатая поверхность изделия снижает чувствительность метода, поэтому необходима механическая обработка поверхности. Дефекты, расположенные близко от поверхности, не обнаруживаются, так как отраженные от этих дефектов импульсы накладываются на начальные.

В. С. Соколов доложил о «некоторых работах в области ультразвуковой дефектоскопии». Докладчик и его сотрудники разработали малогабаритный импульсный ультразвуковой дефектоскоп.

Исследован и развит метод контроля изделий (облицованных резиной) с применением более низких ультразвуковых частот, чем те, которые используются в ультразвуковых дефектоскопах. Этот метод позволил отчетливо регистрировать расслоения и воздушные пузыри. Для лучшего акустического контакта на пьезоэлектрические пластины надевались специальные жидкостно-резиновые головки. Докладчик также указал, что существенное уменьшение частоты ультразвука по сравнению с диапазоном частот, ныне используемым в ультразвуковой дефектоскопии, позволит контролировать крупнозернистые металлы, а жидкостные резиновые головки позволят контролировать изделия с шероховатой поверхностью. Это может оказаться эффективным в ряде случаев, когда следует отметить лишь крупные дефекты.

В. С. Соколов далее сообщил, что им и сотрудниками построены приборы для одностороннего определения толщины изделия, в которых используется зависимость механической реакции со стороны изделия на пьезоэлектрическую пластину от толщины изделия. Эти приборы также пригодны для измерения степени коррозии внутренних поверхностей труб и котлов и т. д.

Докладчик описал способ получения видимого изображения дефекта, при котором исследуемое изделие прозвучивается насквозь плоским пучком ультразвуковых волн. За изделием располагается звуковая фокусирующая линза, в фокальной плоскости которой находится кассета, заполненная взвесью алюминиевой пудры в ксилоле или керосине. Стенка этой кассеты со стороны изделия звукопроницаема, с внешней стороны прозрачна для света. При наложении ультразвукового поля алюминиевые частицы поворачиваются поперёк направления распространения волны, вследствие чего меняется их освещенность (при облучении кассеты снаружи боковым светом). Если в изделии имеются дефекты, то они являются источниками вторичных звуковых волн, которые, будучи сфокусированы линзой, дают изображение дефектов в виде световых пятен на сером фоне. Чтобы увеличить контрастность полученных таким образом ультразвуковых изображений, алюминиевая взвесь по предложению В. С. Соколова и М. Б. Кардаша предварительно ориентируется в направлении распространения звуковых волн при помощи постороннего электростатического поля. Докладчик продемонстрировал ряд изображений, полученных с переносным макетом такого устройства, позволяющим не опускать в жидкость испытуемое изделие.

Член-корреспондент АН СССР Б. М. Вул доложил о «пьезоэлементах из титаната бария». Исследованиями автора и его сотрудников были впервые установлены особые свойства титаната бария, выделяющие его среди других керамических материалов: наличие в нём спонтанной поляризации и деформации (в отсутствии приложенных извне механических напряжений) при температуре ниже точки Кюри (около $+120^\circ$). Выше точки Кюри титанат бария обладает кубической решёткой типа перовскит, ниже точки Кюри и примерно до 0° элементарные кристаллические ячейки имеют тетрагональную форму. Сопутствующее фазовому переходу при точке Кюри изменение размеров элементарных ячеек можно рассматривать как деформацию, взаимосвязанную со спонтанной поляризацией. В поликристаллических образцах титаната бария кристаллы расположены хаотически и делятся на домены с различными направлениями в них спонтанной поляризации. Поэтому такие образцы, как и любое поликристаллическое образование из пьезоэлектрических кристаллов, не обнаруживают пьезоэффекта. При приложении внешнего электрического поля спонтанная поляризация ориентируется по направлению поля. Этот процесс аналогичен известному явлению намагничивания ферромагнетиков во внешнем магнитном поле. При этом титанат бария обнаруживает пьезоэлектрические свойства, которые сохраняются после выключения внешнего электрического поля. Прямой пьезоэффект объясняется тем, что внешнее механическое воздействие изменяет установившуюся деформацию и вместе с ней соответственно изменяет поляризацию, что обнаруживается в виде свободных электрических зарядов на электродах пьезоэлемента. Внешнее электрическое воздействие изменяет установившуюся величину поляризации и вместе с ней деформации элементарных ячеек кристаллической решётки, что проявляется как обратный пьезоэффект в изменении размеров пьезоэлемента.

Спонтанная деформация в первом приближении прямо пропорциональна квадрату спонтанной поляризации. Однако если поляризация внешнего поля значительно меньше спонтанной поляризации, и следовательно, извне вызываемые деформации малы сравнительно со спонтанной деформацией, пьезоэлектрический эффект линейен, т. е. существует прямая пропорциональность между изменениями величин поляризации и деформации, вызываемыми внешними воздействиями. Б. М. Вул привёл некоторые количественные данные, характеризующие пьезоэлектрические свойства титаната бария, из которых следует, что титанат бария является эффективным пьезоэлектриком. Это позволяет с успехом использовать его для различных целей в ультразвуке и акустике вообще. Технология изготовления титаната бария крайне проста, и могут быть получены образцы любой формы и толщины.

А. С. Матвеев сделал краткий обзор некоторых работ в области ультразвуковой дефектоскопии. Докладчик указал, что работы по ультразвуковой дефектоскопии имели своей целью разработку аппаратуры для прозвучивания изделий ультразвуковыми колебаниями, распространяющимися перпендикулярно к поверхности изделия. Но так как практика показала, что таким образом невозможно обнаружить вертикальные трещины и что в ряде случаев этот метод оказывается несостоятельным, то позднее было приступлено к созданию призматических шупов и использованию для дефектоскопии также поперечных волн, распространяющихся в изделии под косым углом к поверхности.

По мнению докладчика, современный ультразвуковой дефектоскоп должен давать возможность выявлять эти дефекты на глубине, начиная от поверхностного слоя и до сотен миллиметров и более, допускать контрольный листовой прокат, в частности котельных барабанов и деталей к ним без специальной обработки, а также контролировать сварные швы без снятия усиления. Докладчик считает, что, помимо ультразвуковых частот, применяемых в большинстве существующих дефектоскопов, целе-

сообразно для контроля стального литья выбрать дополнительную сравнительно низкую частоту.

В докладе Ю. В. Богословского «Ультразвуковой дефектоскоп» было указано, что целью контроля стальных производственных деталей, плоских и цилиндрических сварных швов, заклёпочных накладок, котельных барабанов и стального литья является выявление внутренних пороков в толщине изделия — шлаковых включений, газовых пузырей, флокенов, расслоений, рыхлости, а также трещин, особенно расположенных нормально к плоскости прозвучивания. Ю. В. Богословский описал различные конструкции разработанных щупов: плоские открытые и закрытые, щупы для работы в однощуповой и двухщуповой схеме, призматические щупы, позволяющие ввести ультразвуковые колебания под углом к поверхности испытываемого изделия и тем самым обеспечить контроль сварных швов вергикальных трещин и др., щупы с резиновыми подушками, позволяющие вести контроль необработанных поверхностей. В новой модели дефектоскопа имеется также глубиномер. Докладчик указал, что внесение этих и некоторых других усовершенствований в новую модель дефектоскопа позволило с успехом применить её в различных случаях.

Доклад М. Р. Губановой касался «ультразвукового метода контроля дисков». Указав, что эти диски работают в условиях больших скоростей и напряжений и что в них недопустимы какие бы то ни было пороки металла, докладчик отметила, что наибольшую опасность представляют собой трещины радиального направления, возникновение которых возможно в процессе литья, термической обработки заготовок, а также в процессе насадки диска на вал. По мнению докладчика, существующие механические методы контроля, макроскопическое травление поверхности для выявления флокенов и трещин и др. не могут обеспечить полноценный контроль, так как они не позволяют выявить дефекты, в частности радиальные трещины, не выходящие на поверхность диска. Применение методов ультразвуковой дефектоскопии позволило решить задачу контроля дисков. После того, как для этой цели начали применять призматические щупы, исчезли ложные импульсы, обаянные распространению в твёрдой среде двух типов волн, продольных и поперечных, и оказалось возможным обнаруживать невидимые радиальные трещины в дисках.

В. В. Рахманов сообщил об «ультразвуковом методе контроля заклёпочных швов». Указав, что около заклёпочных и вальцовочных гнёзд часто встречается «хрупкое» разрушение металла, объясняемое явлением щелочной коррозии высоконапряжённого металла, автор отметил, что эти трещины выявляются в эксплуатации обычно лишь при сильном развитии, когда они выходят на поверхность. Применяемый до последнего времени для выявления трещин способ травления шлифованной поверхности и порошкомагнитный метод дефектоскопии требуют расклёпки швов и поэтому позволяют осуществить лишь выборочный контроль. Для ультразвукового метода контроля этих трещин был применён призматический щуп, устраняющий влияние помехи, образующейся из-за частичного отражения импульса от поверхности призмы и листа. Это позволило обнаружить даже небольшие трещины.

Н. В. Химченко поделился опытом «ультразвуковой дефектоскопии деталей аппаратов». Характерной особенностью разработанной методики является контроль деталей в смонтированных аппаратах. Так как эти детали, отличаясь друг от друга размерами, обладают почти одинаковой формой, то оказалось возможным получить типичные осциллограммы, характеризующие собой исправные детали. Пользуясь этими «стандартными картинками», можно было обнаруживать дефекты по дополнительным импульсам, появляющимся на осциллограммах. В некоторых случаях было обнаружено сильное затухание ультразвуковых колебаний, объяснимое, как показало дальнейшее исследование крупнозернистой структурой стали

дефектных деталей. Были также обнаружены дефекты в одной крупной детали, и систематическим прозвучиванием по отдельным участкам и с нескольких сторон выявлена форма и размеры зоны залегания дефектов. Докладчик указал, что результаты ультразвукового исследования недостаточны для суждения о природе обнаруженных дефектов, и для окончательного суждения необходимо использовать также данные гамма-лучевого или рентгеновского анализа.

Доклад Ю. Н. Штремера касался «применения ультразвука для обнаружения дефектов в рельсах». Разработанный ультразвуковой метод позволяет ввести ультразвуковые импульсы в рельс и обнаружить типичные дефекты. Характеризуя полученную форму отражённых импульсов ультразвуковых волн в зависимости от вида дефекта, автор отметил любопытный факт. Оказывается, что если в рельсе имеется строго вертикальная тонкая трещина (направленная параллельно пучку ультразвуковых волн), то она приводит к полному исчезновению отражённого импульса. Чтобы выяснить сущность этого явления, автор помещал на пути ультразвуковых волн, распространяющихся в жидкости, пластину из слюды или металла. По мере приближения пластины к оси пучка интенсивность отражённого импульса уменьшалась, а когда пластина оказывалась точно на оси пучка, интенсивность становилась равной нулю. Замена натурального осмотра стыковых соединений ультразвуковым контролем повышает безопасность железнодорожного движения и даёт значительный экономический эффект.

Л. М. Бреховских доложил о «рассеянии ультразвука на неровных поверхностях». Указав, что эта задача существенна не только для ультразвуки, но и для акустики вообще, а также для оптики, автор напомнил, что до настоящего времени известно только одно приближённое решение, данное Релеем для весьма частного случая, перпендикулярного падения волн на поверхность, шероховатость которой мала как сравнительно с длиной волны звука, так и с шагом волнистости. Данное сообщение относится к начальной стадии теоретического рассмотрения этой задачи; при этом исследуется косое падение на сильно шероховатую поверхность. Рассматривая поле в любой точке пространства как сумму волн, излучённых всей рассеивающей поверхностью, и сделав кирхгофовское приближение о том, что поле на самой шероховатой поверхности определяется законами лучевой оптики, Л. М. Бреховских вычислил полученное интегральное выражение для сферической волны, представив его как сумму решений для плоских волн.

Автор проиллюстрировал полученное им таким образом общее решение на случае элементарной волнистости и продемонстрировал диаграммы направленности отражённого звука при разных отношениях амплитуды волнистости к шагу и при разных углах падения, показав при этом, что релеевское решение может быть получено как частный случай найденного решения. Докладчик отметил, что пределы применимости развитой теории ограничены только условием выполнимости кирхгофовского предположения, включающего требование малости длины волны сравнительно с радиусом кривизны волнистости.

В случае частично затенённой шероховатой поверхности в расчёт следует вводить функцию затенения, причём можно учитывать и переходную зону между освещённой областью и областью тени.

В докладе Б. Д. Тартаковского был приведён обзор результатов теоретического и экспериментального исследования «звуковых фокусирующих линз и переходных слоёв». Докладчик охарактеризовал особенности звуковых фокусирующих линз и привёл данные расчётов, учитывающих эти особенности. Звуковые фокусирующие линзы, будучи газообразными, жидкими или твёрдыми, могут иметь в отличие от оптических показатели преломления как больше, так и меньше единицы. В твёрдых зву-

ковых линзах наряду с продольными волнами распространяются и поперечные волны, создающие дополнительный фокус. Так как из-за неравенства волновых сопротивлений линз и окружающих их сред могут иметь место сильные потери на границах, то весьма важным является применение звуковых переходных слоёв, аналогично «просветляющим» слоям в оптике.

Было отмечено, что такие слои позволяют в несколько раз увеличить прохождение звуковой энергии через границы линз, что существенно расширяет область материалов, могущих быть использованными для изготовления линз. Из-за ряда причин звуковые линзы отличаются сильно неравномерной амплитудой по волновому фронту. Вследствие не очень больших отношений диаметров линз к длинам звуковых волн размеры дифракционных максимумов, особенно вдоль оси линзы, не очень малы, сравнительно с фокусным расстоянием.

В докладе были приведены некоторые данные экспериментального изучения линз и слоёв, показывающие удовлетворительное согласие с расчетом. В частности, были продемонстрированы фокусирующие свойства пластмассовых фокусирующих линз, предложенных автором.

Б. Б. Кудрявцев, рассмотрев «применение ультразвука для целей исследования различных физико-химических систем и процессов», указал, что основным методом исследования служит измерение скорости ультразвука и его затухания при распространении в газах, жидкостях и твердых телах. Изучение дисперсии скорости ультразвука в многоатомных газах позволило оценить задержку в распределении энергии между различными степенями свободы молекул газа и вычислить вероятность возбуждения колебательного состояния при соударении молекул газа, наличие одного или нескольких колебательных уровней молекул, время релаксации газовых молекул и др. Дисперсия звука объяснялась до последнего времени только релаксационными процессами. Недавно А. С. Предводителев высказал предположение, что в газе при распространении звука возникают флуктуации плотности и температуры, характеризующиеся собственной частотой, которую можно оценить на основании акустических измерений. Другой подход к изучению скорости звука в газе базируется на предположении о том, что в достаточно разреженном газе его молекулы не взаимодействуют между собой за исключением моментов соударения молекул газа, и поэтому скорость звука должна быть такой же, как скорость движения молекул. Это подтверждается опытом и служит для определения на основании измерения скоростей звука продолжительности молекулярных соударений.

Далее автор отметил, что гидродинамическое рассмотрение процесса распространения звука в газе позволяет определить константы уравнения состояния из акустических измерений.

Перейдя к рассмотрению работ, касающихся скорости звука в жидкости, докладчик остановился на любопытных по своей исключительно малой скорости звука ($C = 400\text{--}500$ м/сек) жидкостях. Такая аномально малая скорость звука в жидкостях свидетельствует о резких отличиях потенциального взаимодействия молекул этих жидкостей от обычных ($C = 1000\text{--}2000$ м/сек).

В докладе было указано, что эмпирическое правило Рама-Рао (корень третьей степени из скорости звука на молекулярный объем жидкости представляет собой константу, не зависящую от температуры) применимо к подавляющему большинству жидкостей и подчеркнута важность разработки метода определения молекулярных весов по данным α -скорости звука и плотности жидкости. Б. Б. Кудрявцев также отметил, что рассмотрение молекулярной скорости звука как величины аддитивной относительно атомных инкрементов связей, имеющихся в данном соединении, плодотворно для изучения структуры молекул на основе

акустических измерений. Таким способом, например, можно оценить разветвлённость молекул. Наблюдаемые (В. В. Тарасов, И. Г. Михайлов и др.) при плавном изменении состава смесей изломы и перегибы в кривых зависимости скорости звука от состава смесей связаны с различным взаимодействием молекул компонентов смеси и в некоторых случаях с «рыхлостью» воды.

Изучение распространения ультразвука в растворах использовано в последнее время для определения массы сольватированных ионов. Это связано с тем, что при распространении звуков наблюдается смещение ионов и сольватных оболочек, что приводит к возникновению переменного электрического потенциала. Точный метод измерения изменения скорости звука в жидкости, разработанный С. Я. Соколовым, позволяет применить ультразвук для изучения протекания химических реакций, например полимеризации метакрилового эфира. Ультразвук был также применён для изучения процесса диффузии.

Б. Б. Кудрявцев привёл краткое описание методов измерения скорости распространения звука в твёрдой среде, оставившись на импульсном методе, дифракционном методе, применимом для прозрачных тел, и резонансном методе, основанном на возбуждении продольных или сдвиговых колебаний в составном стержне, состоящем из кварца и исследуемого материала. Методом составного стержня было, например, изучено изменение с температурой модуля сдвига кристалла, и изменение кристаллической структуры некоторых тел. Импульсным методом рассмотрена зависимость от частоты механических свойств каучука и полимеров, изучено влияние температуры, вулканизации и количества наполнителей в резине на величину модуля упругости и т. д. В заключение докладчик коснулся последних работ в области воздействия звука на вещество, указав на способ приготовления эмульсий сульфамидных препаратов при помощи ультразвука и способ искусственного приготовления «сплавов» двух металлов, не дающих обычно твёрдого раствора (под влиянием ультразвука получается мелкодисперсная система, кристаллизация которой даёт сплав, не создающийся обычным путём). Наряду с диспергирующим действием ультразвук обладает коагулирующим действием и по литературным данным применяется для осаждения дыма и пыли. Используемые для этой цели ультразвуковые силены излучают колебательную энергию до 2 квт. Ультразвук ускоряет полимеризацию стирола и некоторых других веществ. При этом за некоторый промежуток времени можно достичь удвоения выхода готового продукта по сравнению с контрольным образцом. Ультразвуковые колебания с успехом применяли для изучения ложных адсорбционных равновесий (К. В. Чмутов), для ускорения экстракции, для изменения кристаллической структуры металлов и т. д.

В своём сообщении «О биологическом действии ультразвуковых волн» И. Е. Эльпинер остановился на применении ультразвуковых волн в медицинской практике. Ультразвуковые колебания оказались эффективными при лечении ряда заболеваний: язвы желудка, острого заболевания суставов и мышц, невралгии, поражении сосудистой системы и т. д. Одним из основных препятствий в отношении дальнейшего развития этого вида физической терапии является то, что до сих пор крайне слабо разработана техника дозирования ультразвуковых волн. Этот вопрос тесно связан с проблемой безопасности данной физической лечебной процедуры. Докладчик привёл ряд фактов (установленных в экспериментах на животных), показывающих, что различия между так называемой индифферентной дозой и дозой, вызывающей глубокие поражения озвучиваемых тканей, крайне незначительны. По мнению зарубежных авторов, критерием передозирования в лечебной практике могут служить появляющиеся сильные боли в местах озвучивания. Возникаю-

щие боли, по мнению этих исследователей, должны являться предостерегающим сигналом потому, что они всегда предшествуют органическим поражениям соответствующих тканей. Очевидно, что такой субъективный метод дозирования ультразвуковой энергии не может считаться удовлетворительным. Неудовлетворительными и крайне сложными являются и другие биологические методы дозиметрии ультразвука: изменение количества водородных ионов в озвучиваемых тканях и т. д. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Вторую часть своего сообщения докладчик посвятил проблеме механизма действия ультразвуковых волн, излагая преимущественно результаты своих исследований. Оказалось, что в поле ультразвуковых волн подвергаются распаду важные биологически-активные вещества: белки, ферменты, аминокислоты, протопорфирины, нуклеиновые кислоты и другие. Анализ этого явления привёл к представлениям о непрямом действии ультразвуковых волн (помимо механического воздействия). В озвучиваемой водной среде имеет место расщепление молекул воды с образованием валентно-ненасыщенных радикалов и атомарного водорода (OH , HO_2 , H и др.), отличающихся большой реакционной способностью. Как известно, таков и механизм действия ионизирующей радиации (α -, β - и γ -лучи). Различие заключается в том, что ионизация водных молекул в случае ультразвуковых волн осуществляется не в жидкой фазе, а в кавитационных газовых пузырьках. Захлопывание (аннигиляция) газового пузырька способствует рассеиванию образовавшихся продуктов расщепления молекул воды в окружающей среде, где они взаимодействуют с растворёнными в жидкости веществами. Исходя из этих представлений, докладчик показал, что протекающие химические процессы в поле ультразвуковых волн могут быть угнетены путём прибавления к озвучиваемому раствору тех или иных посторонних веществ. Последние активны в этом отношении в том случае, когда они, обладая большим химическим средством к продуктам расщепления водных молекул, легко взаимодействуют с ними. Этим они блокируют реакционно-способные радикалы, образующиеся в водной среде под влиянием ультразвука. Так, некоторые аминокислоты (лейцин, метионин и др.), легко разрушающиеся в поле ультразвуковых волн, задерживают процесс обесцвечивания метиленового голубого. В присутствии триптофана (аминокислота) угнетается окисление йода в озвучиваемом растворе. Лейцин и метионин задерживают распад пуриновых и пиримидиновых оснований, входящих в состав нуклеиновых кислот, играющих важную роль в жизнедеятельности клеток, и т. д. Обнаруженное докладчиком явление «защиты, или «конкуренции», открывает новые возможности в применении ультразвуковых волн для решения ряда биологических задач.

Наконец, в этом докладе указывалось и на перспективы в отношении использования ультразвуковых волн для диагностических целей.

Н. Н. Долгополов рассказал о «применении ультразвука в химии и технологии». Приведя слова великого русского учёного А. М. Бутлерова, сказанные им на торжественном собрании Академии наук 29 декабря 1870 г. «...как и всегда бывает, успех в известной ветви науки не остался без влияния на её движение вообще: опыты ведут к открытию фактов, факты вызывают теорию, а она ставит новые вопросы и делает нужными новые опыты, ведущие к дальнейшим открытиям», докладчик указал, что развитие в СССР ультраакустики привело к созданию новой области химии, которую автор по аналогии с общепринятыми терминами — электрохимия, фотохимия, термохимия — предлагает называть звукохимией. Докладчик отметил, что действие ультразвука на течение химических реакций, на вещества и на физико-химическое состояние веществ связывается рядом авторов (Я. И. Френкель, Г. Л. Натансон, В. Л. Лёвшин и С. Н. Ржевкин) с возникновением локальных электри-

ческих полей в пузырьках и полостях, которые образуются при кавитации жидкости. По мнению Н. Н. Долгополова, необходимо принять во внимание не только фотохимический характер разрядов в кавитационных пузырьках, но и то, что при кавитации возникают местные давления порядка тысяч атмосфер и температуры в несколько сот градусов. Влияние кавитации связывается с превращением воды в перекись водорода, азотную и азотистую кислоты. Под влиянием ультразвука происходит разложение галоидпроизводных углеводов (сероводорода и сероуглерода), разложение углеводов ароматического ряда, разложение азидов и т. п. Изучение воздействия ультразвука на водные растворы органических соединений показывает существенное изменение концентрации водородных ионов. Автор отметил, что воздействие ультразвука на реакции не сводится только к расщеплению соединений или к окислительным реакциям. Важное значение имеет также активация молекул, вызываемая кавитацией и перемешивающим действием ультразвука. Примером этому служит резкое ускорение реакций гидролиза и омыления жиров (Н. Н. Долгополов и Е. И. Горлинская).

Применение ультразвука в физико-химических процессах даёт в некоторых случаях исключительные по эффекту результаты, например диспергирование серы, олова, меди, ртути, парафина в воде (С. Н. Ржевкин и др.); получение тонких стабильных эмульсий, например камфары и камфарного масла в спирту, сульфидиновых препаратов и альбихтола в воде; диспергирование углей в топливных маслах с целью получения топливных суспензий — коллоидального топлива и т. д. Докладчик указал, что во взвеси, подвергнутой действию ультразвука, температура суспензированных частиц всегда выше, чем средняя температура всей смеси — явление, общее с неравномерным нагревом суспензий при высокочастотных электромагнитных колебаниях. Докладчик назвал возможные области применения ультразвука в технологии и в качестве примеров остановился на выполненных лабораторных работах по ускорению процесса проявления, отбеливания и фиксирования киноплёнок и процесса мойки шерсти под влиянием ультразвука (Н. Н. Долгополов, В. М. Фридман, Е. И. Горлинская, Е. Л. Рубан).

Совещание приняло ряд постановлений, в которых отметило высокий уровень научных работ и технических разработок в области ультразвуковой дефектоскопии и значительные результаты, достигнутые в области применения ультразвуковых волн в физике, химии и биологии.

Совещание признало необходимым дальнейшее всемерное развитие ультразвуковой акустики и рекомендовало участникам совещания ещё более расширить области её применения в технике, медицине и научном исследовании.

Совещание подчеркнуло важность быстреего освещения в печати достигнутых результатов и постановило просить акустическую комиссию АН СССР выпустить сборник трудов данного совещания.

Б. Д. Тартаковский