

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

К ТРИДЦАТИЛЕТИЮ СОВЕТСКОЙ ФИЗИКИ

УСПЕХИ СОВЕТСКОЙ АКУСТИКИ

С. Н. Ржевкин

Классическая акустика, разработанная в XIX в. трудами Стокса, Гельмгольца, Кирхгофа и Рэлея, к началу XX столетия почти остановилась в дальнейшем развитии. Экспериментальная техника того времени исчерпала свои возможности, почти все теоретические предсказания были основательно проверены на опыте. Надеяться на открытие новых явлений в акустике было трудно, практические приложения ограничивались, пожалуй, только музыкой, телефонией на близкие расстояния и граммофоном. В связи с этим и теоретические работы в области акустики стали сравнительно редкими и касались лишь разработки деталей.

Свежую струю в акустику внесли работы П. Н. Лебедева и его школы в Московском университете, проведённые в первом десятилетии XX в. П. Н. Лебедев глубоко заинтересовался акустикой ещё со времени своих юношеских работ у Кундта. Позже он избрал акустические резонаторы как один из объектов своих классических исследований по пондеромоторному взаимодействию волнового поля и резонаторов. Исследованию декремента затухания акустических резонаторов была посвящена работа ученика Лебедева, П. Б. Лейберга. Давление звуковой радиации было доказано в прекрасной работе В. Я. Альтберга, а В. Д. Зернов разработал чрезвычайно тонкие методы измерения силы звука. Следует отметить важное теоретическое исследование Н. П. Кастерина о распространении звука в слоистой среде и в среде, заполненной акустическими резонаторами. Кастериним было теоретически доказано наличие в таких средах дисперсии и поглощения звука; эти выводы были полностью подтверждены на опыте. Помимо общего значения работ Кастерина для волновой теории, следует, бесспорно, считать, что им заложены основы теории акустических фильтров, которые лишь в иной форме были описаны Стюартом в Америке уже в 20-х годах и с тех пор прочно вошли в звукотехнику.

В поисках влияния молекулярных резонаторов на распространение звука П. Н. Лебедев обратился к исследованию очень коротких акустических волн. Ученик Лебедева, Н. П. Неклепаев, при посредстве дифракционной решётки выделил короткие ультразвуковые волны из акустического спектра электрической искры, возбуждаемой высокочастотным разрядом, и исследовал их затухание в воздухе. П. Н. Лебедев показал, что из данных Неклепаева вытекало значительное увеличение поглощения звука по сравнению с классической теорией. Таким образом школа Лебедева стояла почти на пороге открытия молекулярного поглощения звука. Только недостаточность технических средств того времени не позволила Лебедеву пойти дальше и сделать решающие открытия в этой области.

Бурный прогресс в области акустики начался с 20-х годов нашего века и теснейшим образом связан с успехами радиофизики, следовавшими за изобретением электронной лампы, после чего в течение немногих лет все методы экспериментальной акустики были совершенно обновлены. Генерация, приём и запись звука и почти все акустические измерения стали производиться электрическими методами. На этой почве возникла новая глава технической физики: учение об электроакустических преобразователях, построенное в данное время на солидной теоретической основе, развившейся путём объединения методов теоретической механики и электродинамики. В первой стадии развития электроакустики большое значение имело развитие метода электромеханических аналогий, сыгравшего весьма прогрессивную роль. Однако применение метода аналогий носило вначале чисто формальный характер и сводилось к перенесению в акустику формул и схем, известных в электро-слаботочной технике или радиотехнике.

Большая работа по обоснованию и развитию метода электромеханических аналогий проведена русскими учёными. Укажем прежде всего на ряд работ А. А. Харкевича, давшего обоснование метода и выяснение границ его применимости. Дальнейшие важные работы были сделаны А. И. Беловым, И. С. Рабиновичем, Л. А. Варшавским и В. Н. Федоровичем, Г. А. Гамбурцевым и К. Ф. Теодорчиком. В работах А. А. Харкевича систематически проводится трактовка электромеханического преобразователя как обобщённого четырёхполюсника, характеризующегося двумя переменными на входе и двумя переменными на выходе. Эта концепция обобщена Харкевичем на преобразователи энергии более общего типа: термомеханические, термоэлектрические, трёхсторонние преобразователи и другие системы. Применение в работах Харкевича операторных методов позволило ему достичь большой обобщённости в трактовке как для стационарных колебательных процессов, так и для процессов неустановившихся, и, в результате, дать исчерпывающие методы расчёта сложной электроакустической аппаратуры.

Другое, весьма плодотворное, направление в области электроакустики разработано В. В. Фурдуевым. Исходя из концепции Макс-

велла о возможности электродинамического применения уравнений Лагранжа, Фурдуй исследовал вопрос о границах такого применения, вопрос об инвариантности уравнений Лагранжа-Максвелла в отношении контактных преобразований и доказал ряд общих и специальных теорем электромеханической взаимности, имеющих важное значение для расчёта акустической аппаратуры. В своих работах Фурдуй идёт, в сущности, по пути построения аналитической электроакустики, аналогичному пути построения аналитической механики.

За последние 30 лет в Советском Союзе выполнено большое количество важных работ по теоретической акустике, из которых я останавлиюсь лишь на крупнейших. Необходимо прежде всего упомянуть теорию звука воздушного винта, предложенную Л. Я. Гутиным (1935 г.). Исходя из выражения, данного Лэмбом, для звукового поля, возникающего в результате воздействия на среду переменных сил, Гутин находит связь между силой звука винта и его основными аэродинамическими характеристиками — тягой и моментом вращения. Теория Гутина впервые дала полное решение сложного вопроса о так называемом „звуке вращения“ винта и неизменно цитируется в мировой литературе.

В. А. Фок (1941 г.) разрешил крайне трудную задачу о присоединённой энергии и массе среды при протекании переменного потока через круглое отверстие в перегородке, стоящей поперёк трубы. До этого было известно лишь решение Рэлея для присоединённой массы эллиптического и круглого отверстий в безграничном плоском экране. Решение Фока, представленное им в форме ряда, удобного для вычислений, сыграло большую роль в расчётах звукопроводов сложной формы.

Н. Н. Андреевым и И. Г. Русаковым в 1939 г. было выведено приближённое уравнение для распространения звука в движущейся среде и рассмотрены некоторые частные задачи.

Большое значение имеет цикл теоретических работ Д. И. Блохинцева, произведённых в период Отечественной войны и опубликованных им в монографии под названием «Акустика неоднородной движущейся среды» (1946 г.). Автору удалось точно сформулировать обобщённые уравнения акустики и исправить ошибки предшествовавших работ. Исходя из общих уравнений, Д. И. Блохинцев разрешил некоторые важные задачи акустики, имеющие практическое значение, в частности, задачу о распространении звука в турбулизованном потоке, о звуковом поле источника, движущегося с большой скоростью, о возбуждении звука потоком и о работе приёмника, помещённого в движущийся поток.

В. А. Красильниковым (1940 г.) исследован экспериментально вопрос о флуктуации фазы звукового луча при распространении в турбулентной атмосфере; выводы из теоретических работ А. М. Обухова и А. Н. Колмогорова, сделанные по этому вопросу Красильниковым, были подтверждены им на опыте.

Большое значение в акустике, равно как и в радиотехнике, имеют работы П. Е. Краснушкина (1943—1946 гг.) по общей теории волн в звукопроводах и неоднородных средах. Разработанный им метод нормальных волн позволил найти подход к решению ряда важнейших задач волновой акустики и имеет высокую эвристическую ценность. Краснушкиным впервые дано строгое решение распространения волн в рупорах определённого типа, в изогнутых трубах и в неоднородных средах с постепенно меняющимися параметрами.

Следует отметить обстоятельную работу Л. М. Бреховских (1945—1947 гг.), который весьма полно разрешил задачу о распространении звука от источника в слое между двумя средами, поглощающими или отражающими звук, и нашёл закон убывания средней силы звука с расстоянием.

Упомянем ещё ряд теоретических работ по акустике, связанных с расчётом электроакустической аппаратуры. Прежде всего следует здесь упомянуть работу Л. Я. Гутина, впервые разрешившего трудный вопрос об излучении поршня, пульсирующего только одной стороной и излучающего звук в свободное пространство. А. А. Харкевичем и Л. Я. Гутиным произведены интересные исследования по теории рупора. Ю. М. Сухаревский (1938 г.), исследовав звуковое поле рупоров на открытом воздухе, определил зависимость характеристики направленности рупора от его конструктивных параметров. Эта работа дала основу для расчёта озвучения больших площадей посредством громкоговорителей.

Работы по теории телефона были проведены Н. Н. Андреевым, С. Н. Ржевским и Е. К. Кузнецовым. В работе Ржевского (1935 г.) даны методы расчёта эквивалентных постоянных мембраны телефона как системы с одной степенью свободы; в работе Ржевского и Кузнецова (1944 г.) дана теория телефона, воспроизводящего широкую полосу частот.

Развитие экспериментальной электроакустики весьма далеко продвинулось в сторону практических приложений. Большие и успешные работы были произведены советскими акустиками по созданию отечественной аппаратуры для звукового кино. Группа П. Г. Тагера, А. А. Шишова и Н. С. Джигита (ВЭИ, 1927 г.) успешно разработала систему звукозаписи с применением ячейки Керра. Одновременно группа А. Ф. Шорина и И. И. Мошонкина (Центр. лаборатория проводной связи) разработала осциллографический метод записи, который после ряда усовершенствований применяется в данное время как основной в нашем звуковом кино. Здесь следует упомянуть, что первая запись звука на плёнку в России была сделана С. Я. Лифшицем ещё в 1912 г.

Большую работу по электромеханическим методам записи звука провёл в течение ряда лет Институт звукозаписи в Москве под руководством И. Е. Горона. В институте детально изучена технология изготовления граммофонной пластинки и разработана сложная аппаратура для приёма, усиления и записи звука, которая позволила по-

ставить производство граммофонных пластинок на большую высоту. Я упомяну также об успешных разработках в том же институте отечественной системы магнитной записи на ферромагнитную плёнку; на основе этих разработок теперь выпускается в заводском масштабе высококачественная аппаратура. Много сделано в Советском Союзе по расчёту и конструированию громкоговорителей и микрофонов. В этом отношении следует отметить ряд работ В. В. Фурдуева, В. С. Григорьева, С. А. Макова (НИКФИ), Л. А. Варшавского (завод «Красная заря»), Р. Л. Волкова, В. К. Иофе и П. Е. Шифмана (ИРПА). Эти работы привели к созданию качественных микрофонов и громкоговорителей для кино и радиовещания. Как весьма большой успех следует отметить разработку в НИКФИ (В. В. Фурдуев, А. А. Хрущёв, И. М. Болотников) громкоговорителей в 20 и 40 ватт для кинотеатров. Испытания этой аппаратуры, проведённые в текущем году, показали высокое качество звучания, приближающееся к натуральному. Мощность построенной аппаратуры такова, что позволяет получать в больших залах интенсивность до 95 децибел. Аппаратура не уступает лучшим современным образцам иностранного производства, превосходя их по ряду показателей.

Ряд работ по пьезоэлектрическим и магнитострикционным преобразователям, сделанных в последние годы, позволил довести до полной ясности расчёт важных гидроакустических аппаратов. Отметим, как важнейшие, работы А. А. Харкевича (1942—1945 гг.) и Л. Я. Гутина (1941—1945 гг.). Экспериментальные и конструкторские работы по сегнетоакустической аппаратуре велись до 1941 г. в Ленинграде (ИРПА), где были впервые построены качественные микрофоны и говорители (Пешлат, Лепешинская). Несколько позже аналогичные работы на солидной научной базе были начаты в лаборатории В. А. Шубникова при участии А. С. Шеина. В период Отечественной войны сегнетоэлектрическая аппаратура интенсивно разрабатывалась А. С. Шеиным, которым предложен ряд важных аппаратов для связи и обнаружения звуковых и колебательных процессов. Удачные типы сегнетоэлектрических микрофонов и говорителей разработаны в Центральном Институте связи П. В. Ананьевым (1943—1946 гг.).

Обзор успехов электроакустики был бы не полон, если бы я не коснулся разработанных в Советском Союзе методов акустической измерительной техники.

Первые шаги в области электроакустической измерительной аппаратуры были сделаны ещё в 1919 г. Применяя в акустике звуковые генераторы с электронными лампами, автору этих строк удалось в тот период произвести исследование некоторых важных вопросов теории слуха. Несколько позже (1923 г.) удалось осуществить анализатор звука, работающий по принципу плавно перестраиваемого электрического контура.

Важное значение для советской акустики сыграли разработка в лаборатории завода «Красная Заря» Л. А. Варшавским и после-

дующее производство на заводе измерительного конденсаторного микрофона. Это впервые позволило поставить на солидную почву измерение интенсивности звука и шума. Столь же большое принципиальное значение имели разработка и постройка автоматического анализатора звука, осуществлённые в 1935 г. М. И. Родманом в Ленинградском электрофизическом институте. Анализатор был построен по принципу зондирующего тона и снабжён электромеханическим (магнитострикционным) фильтром с узкой полосой пропускания вблизи частоты 50 килогерц. Анализатор позволил выполнить ряд важных работ по авиационной и музыкальной акустике. Немалым успехом советской акустики можно считать также разработку А. И. Соколиком и М. И. Родманом (1942—1946 гг.) электроакустических приборов для измерения детонации в двигателях внутреннего сгорания. При помощи этих приборов удаётся осуществить подсчёт числа детонационных циклов за определённый период работы мотора. Применение прибора на самолёте позволяет надёжно выбирать режим мотора заведомо ниже порога детонации и, таким образом, достигать большой экономии бензина.

Следует упомянуть ещё о ряде систем электромузыкальных инструментов, разработанных в Советском Союзе. В 1922 г. Л. С. Термен изобрёл совершенно новый музыкальный инструмент, названный впоследствии «Терменвокс», в котором изменение высоты тона в очень широких пределах осуществлялось весьма эффектно под влиянием движения руки в свободном воздухе. Это достигалось изменением частоты биений между двумя высокочастотными генераторами под влиянием изменения ёмкости контура одного из генераторов при движении руки. В 1925 г. я построил и демонстрировал в Институте музыкальных наук многоголосый электронный орган, снабжённый клавиатурой фортепианного типа. В дальнейшем ряд музыкальных инструментов весьма совершенного типа был построен Гуровым, Ананьевым, Володиным, Римским-Корсаковым и Ивановым. Интересная идея получения новых звучаний путём искусственного вычерчивания фонограммы типа фонограммы на киноплёнке, так называемый «рисованный звук», предложена и разработана Шолпа. Этим путём удалось создать интересные новые тембры и ритмы.

Среди большого количества вопросов акустики, связанных с исследованиями в смежных областях, я хотел бы несколько подробнее остановиться на физиологической и архитектурной акустике, поскольку в этих областях мне пришлось больше работать самому. В 1919 г. по предложению акад. П. П. Лазарева я занялся в Институте физики и биофизики исследованием природы диссонанса и консонанса. Применение новых методов радиотехники весьма облегчало решение этой задачи. Удалось показать, что при раздельном слушании двух звуков различными ушами ощущение диссонанса и консонанса полностью исчезает, и точность установления консонирующих созвучий становится крайне малой. При совместном слушании двух звуков одним ухом возникновение комбинационных тонов и биений

между обертонами делает ощущение консонанса чрезвычайно чётким. Результаты этой работы ясно говорили о том, что за явление консонанса и диссонанса ответственны периферические органы, а не центральная нервная система.

В 1918 г. П. П. Лазарев опубликовал свою книгу по биофизике «Ионная теория возбуждения», в которой развивался ряд новых концепций относительно работы органа слуха, в частности, теоретически выводились законы адаптации слуха, законы восприятия прерывистых звуков, и делался ряд важных заключений из теории. Проверка основных выводов ионной теории слуха проведена П. Н. Беликовым, А. С. Ахматовым, Шустовым и др.

Электроакустические методы были применены автором для решения задачи измерения интенсивности звука на пороге слышимости. В результате удалось осуществить определение порога слуха и построить аппаратуру для профессиональных испытаний слуха (1924—1926 гг.). Был использован термофон как источник звука, интенсивность которого поддаётся расчёту, применены приспособление для ослабления в известное число раз напряжения токов звуковой частоты (которое теперь стали называть аттенуатором или магазином затухания), электролитические жидкостные конденсаторы (мало известные в то время) для разделения цепи постоянного и переменного токов. При помощи термофона (1928 г.) удалось также определить зависимость верхнего предела слуха от интенсивности звука. Значительно позже (1941 г.) Е. П. Островский и Б. Е. Шейвехман провели исследование влияния мощных звуков, лежащих выше предела слуха (более 20 000 гц), на чувствительность слуха при более низких тонах и обнаружили новое явление сенсibilизации слуха ультразвуком. Ряд наших работ был посвящён вопросу о применимости логарифмического закона Вебера-Фехнера для оценки ощущения громкости. В согласии с рядом других исследователей (Флетчер, Бекеши и др.) было установлено, что нарастание громкости в функции от интенсивности звука не подчиняется закону Вебера-Фехнера.

В 1927 г. В. С. Казанским и С. Н. Ржевкиным было произведено исследование спектров звука смычковых инструментов и голоса. В спектре певческого голоса было обнаружено наличие характерной «певческой» форманты в области 500 гц, где всегда наблюдалось усиление обертонов независимо от частоты основного тона. Исследование певческого голоса было проведено в 1933 г. более детально и с гораздо более совершенной аппаратурой и на большем материале. Результаты этих работ (ещё не опубликованных мной до сих пор, но докладывавшихся в Московской консерватории и в ФИАН) и привели к обнаружению второй, более важной, певческой форманты в области 2500—3000 гц, ответственной за яркость и металличность голоса. Необходимость создания особой форманты в певческих голосах явно находится в противоречии с чёткостью выявления формант гласных и ухудшает певческую дикцию.

Необходимо указать как на крупный успех советской акустики ещё на работу Л. Л. Мясникова (1941 г.), который выдвинул идею автоматической записи речи фонетическими знаками, сконструированными на базе формантной структуры гласных и согласных. Идея такого автомата-стенографа была детально разработана автором, проверена на опыте и дала многообещающие результаты.

Большая плодотворная работа по вопросу разборчивости речи в условиях сильного шума была проведена И. Г. Мамонкиным и Ю. С. Быковым (1942—1944 гг.). И. Г. Мамонкину удалось выполнить достаточно подробное изучение акустических и фонетических постоянных для русской речи, которые до того времени были плохо известны. В результате этого открылись возможности применения метода артикуляционных расчётов для проектирования систем связи в условиях сильного шума. Эта вторая часть работы выполнена с успехом Ю. С. Быковым.

Подробный критический обзор работ по физике слуха и речи собран в монографии Ржевкина «Слух и речь», вышедшей в свет в 1936 г. Я совершенно не могу упомянуть в рамках этого обзора о многочисленных и важных работах по физиологии слуха, проведённых за этот период школами И. П. Павлова, Л. А. Орбели и других физиологов и медиков. В результате открытия и изучения токов действия слухового нерва, в этой области имеется огромный прогресс научных знаний.

Ряд важных исследований по теории и технологии музыкальных инструментов был сделан в Институте музыкальной промышленности в Ленинграде; из них следует отметить работы А. А. Харкевича, А. И. Белова, А. В. Римского-Корсакова, Б. П. Константинова и др. Б. П. Константинову, в частности, принадлежит весьма ценное исследование автоколебательных процессов в духовых инструментах.

Я перехожу теперь к советским работам в области архитектурной акустики*). Первым из советских учёных, начавших исследования в этой области, был С. Я. Лифшиц, который предложил в 1926 г. теорию оптимума реверберации. На его работах базировался ряд акустических проектов театров, зал и студий. Дальнейшее развитие архитектурной акустики показало недостаточность концепции упрощённой статистико-геометрической теории Сэбина и привело к необходимости построения строгих теорий, основанных на решении волновой задачи. Новая постановка вопроса привела к ревизии всех основных положений архитектурной акустики, связанных с излучением, распространением и приёмом звука в помещениях, а также с поглощением звука и со звукоизоляцией. Эти вопросы были поставлены на солидной научной базе при проектировании Дома звукозаписи в Москве (1933—1938 гг.) и в процессе его постройки, завершённой лишь недавно. Я не останавливаюсь на сложных тех-

*) Список основной литературы по архитектурной акустике на русском языке см. УФН, 32, 476 (1947). (Прим. Ред.)

нических вопросах, которые были разрешены в процессе этой работы, как-то: на звукоизоляции от внешних и внутренних шумов (в частности, от шумов вентиляции), на устройстве для переменной реверберации, на технологии пористых звукопоглотителей, сложных вопросах акустической доводки студий до оптимальных акустических условий, на усилительном и электроакустическом оборудовании аппаратных студий и других вопросах. Участники проектирования и постройки Дома звукозаписи по линии акустики (И. Е. Горон, автор этих строк, Г. А. Гольдберг, С. Т. Тер-Осипянц, Г. Д. Малюжинец и др.) достигли удачных и важных практических результатов, которые были выявлены в дальнейшем, в процессе производственной эксплуатации.

Остановлюсь более подробно лишь на вопросе новой системы звукопоглощения, в создании которой мне и ряду сотрудничавших со мной товарищей пришлось много работать. Я имею в виду резонансные звукопоглотители, разработка которых имеет значительный интерес как чисто физическая проблема, связанная с созданием «акустического чёрного тела», и одновременно весьма актуальна для решения основных задач архитектурной акустики. Применение резонаторов в театрах и храмах было известно ещё со времён древней Греции и Рима, однако сущность вопроса до последнего времени не была уяснена. В работе 1936 г. я выяснил, при каких условиях резонаторы увеличивают и при каких — уменьшают реверберацию помещения. М. С. Анцыферовым были подтверждены на опыте основные теоретические выводы этой работы. Г. Д. Малюжинец (1936 г.) указал на принципиальную возможность полного поглощения звука перфорированной конструкцией (плоской), за которой лежит слой пористого материала, создающего трение. В 1938 г. я указал, какие соотношения должны иметь место между сопротивлением трения в горле резонатора, его размерами и числом резонаторов на единицу площади для того, чтобы имело место полное поглощение звука при падении на такую систему. Такого рода системы были осуществлены и детально исследованы на опыте С. Т. Тер-Осипянцем, в результате чего ориентировочные теоретические соображения, развитые в этот период и вызывавшие ряд сомнений, получили обоснование, и это дало толчок к дальнейшему развитию работ. После исследования простейших систем звукопоглотителей с одним только типом резонаторов (монорезонансных) были развиты более сложные системы, сильно поглощающие звук в более широком диапазоне частот. В результате ряда работ нашей группы (в особенности В. С. Нестерова и др.) были разработаны методы расчёта и конструирования звукопоглотителей резонансного типа и была показана практическая возможность поглощения более 90% всей падающей звуковой энергии на частоте 100 *гц* и более 98% на высоких частотах (300—4000 *гц*). Были также детально проработаны вопросы технического применения и технологии резонансных звукопоглотителей.

Резонансные звукопоглотители оказались весьма полезными для решения ряда акустических задач в студиях, театрах, при поглощении шумов вентиляции и для специальных целей. В построенных студиях Дома звукозаписи резонансные звукопоглотители разнообразных типов широко использованы.

При проектировании Дворца Советов возникла труднейшая задача элиминирования эхо от грандиозного купола большого зала высотой 100 м; применение резонансных звукопоглотителей давало один из возможных путей решения этой задачи, особенно удобный для низких частот, которые совершенно не поглощаются обычными поглотителями.

Больших успехов в разработке теории звукопоглотителей, состоящих из ряда слоёв пористых материалов, достиг Г. Д. Малюжинец (1938—1941 гг.), который показал, что эта система может дать при соответственном подборе слоёв решение задачи сильного поглощения звука в широком диапазоне частот. Значительных успехов достиг в разработке пористых звукопоглотителей В. А. Андреевский. Им предложен ряд новых типов поглотителей (керамические, пеношамотные и др.) и дана технология их изготовления.

При проектировании зала Дворца Советов возникли большие трудности в решении акустических задач. Ряд крупных исследований и изысканий в этом направлении был проведён в процессе научной разработки проекта акустики Дворца Советов под руководством Акустической комиссии Академии наук, работавшей ряд лет под председательством Н. Н. Андреева (1937—1941 гг.). Из цикла этих работ отметим исследования Ю. М. Сухаревского — по теории акустической обратной связи, А. В. Рабиновича — по исследованию эхо, В. С. Григорьева и С. А. Макова — по проектированию системы мощных громкоговорителей и экспериментальному исследованию звуковых полей, для чего был создан специальный звукометрический полигон под Москвой. Среди коллектива акустиков возникла интересная идея передачи звука в большом зале посредством системы малых излучателей, распределённых по всей площади зала. Детальная теоретическая разработка этого направления, предпринятая Л. Д. Розенбергом, показала осуществимость предложенной системы; весьма интересно, что подобного рода система позволяла также автоматически создавать искусственную реверберацию и таким образом устранить существенный недостаток сильно заглушённого зала. Ряд работ по вопросу отражения и дифракции звука в больших залах Дворца Советов был проведён Г. Д. Малюжиным и Г. А. Гольдбергом.

Цикл работ по акустике Дворца Советов, прерванный с началом Отечественной войны 1941 г., безусловно, представляет крупнейшее событие в развитии советской науки, и не будет преувеличением сказать, что достигнутые в этой области успехи позволили заложить научные основы для развития архитектурной акустики и, безусловно, опередили в ряде вопросов зарубежные науку и технику.

Я перехожу к исследованиям по ультразвуку. Эта область акустики развивалась во взаимодействии с другими разделами физических наук — молекулярной физикой, коллоидной и физической химией, оптикой и др., а также с техникой.

В направлении получения коротких ультразвуковых волн удалось установить рекорд С. Я. Соколову; он обнаружил оптическим путём в кварце волны на частотах порядка $2,75 \cdot 10^8$ гц (1932 г.). При исследовании излучения больших кварцевых пластинок им же обнаружен, при помощи измерения амплитуды в отдельных точках, важный факт, что кристаллический кварц является большей частью неоднородным материалом, и амплитуда колебаний нерегулярно меняется вдоль поверхности. С. Я. Соколов обнаружил также, что воздействие ультразвука на расплавленный металл при его затвердевании оказывает сильнейшее влияние на кристаллическую структуру. Н. Н. Андреев (1928 г.) развил теорию колебаний кварцевых пластинок и показал, какого рода деформации они испытывают. Детальные теоретические исследования работы пластинок из кварца и сегнетовой соли с учётом электрической и механической нагрузки произвели И. Г. Русаков (1944 г.), А. А. Харкевич (1943—1945 гг.) и Л. Я. Гутин (1941—1945 гг.). Мощные ультразвуковые колебания при помощи магнитострикционного эффекта получены Е. П. Островским (1936 г.); С. Н. Ржевским и Е. П. Островским (1935 г.) показано, что ультразвук способен производить эрозию и диспергирование твёрдых тел; ими дано объяснение этого эффекта. Развитые методы получения ультразвука и приёмы диспергирования нашли себе дальнейшее применение в химико-фармацевтической промышленности. Интересное явление свечения жидкости под действием мощного ультразвука подробно изучено В. Л. Левшиным и С. Н. Ржевским (1937 г.). Корнфельд (1940 г.) изучил явление кавитации жидкости под действием ультразвука.

Ряд биологических эффектов был изучен в организованной мною лаборатории высокой частоты Гос. рентгеновского института (1930—1937 гг.). Из этого цикла отметим лишь интересное, открытое Е. П. Островским и О. Н. Истоминой явление стимуляции в развитии семян и растений. Обнаружено, что «озвучивание» семян гороха и семенного картофеля за два месяца до посадки даёт весьма сильное ускорение развития, увеличение роста и прирост урожая по сравнению с контролем на 50—60%, а в некоторых случаях на 200%.

В 1937 г. С. Н. Ржевским было оптическим методом выяснено, что благодаря образованию на поверхности пульсирующего пьезокварца изгибных волн он излучает, кроме основной плоской волны, ещё дополнительные волны в боковых направлениях. Теоретические и экспериментальные работы П. Е. Краснушкина (1939—1944 гг.) подробно выяснили значение этой неоднородности излучения кварца при измерениях по методу интерферометра Пирса и позволили сделать этот метод прецизионным. В ряде работ А. С. Предводителева

и его сотрудников методом ультразвукового интерферометра изучены важные молекулярные свойства жидкостей, паров и газов.

Л. И. Мандельштам и М. А. Леонтович дали теорию поглощения ультразвука и связали так называемый второй (объёмный) коэффициент вязкости с кнезеровским коэффициентом молекулярного поглощения звука за счёт передачи энергии внутренним степеням свободы молекул.

Большое количество работ посвящено изучению дифракции света на ультразвуках. Явление это, теоретически предсказанное Л. Бриллюэном в 1922 г. и открытое на опыте Дебаем и Сирсом (1932 г.), было детально изучено теоретически и экспериментально в ряде работ С. М. Рытова (1933—1938 гг.); им, в частности, предсказано теоретически и доказано на опыте, что при наклонном падении света на фронты плоских ультразвуковых волн вместо симметричных спектров плюс — минус первого порядка возникает несимметричный процесс, подобный брегговскому отражению от кристаллической решётки. Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси и Г. С. Ландсберг предложили ультразвуковой модулятор света. П. А. Бажулин (1940 г.) произвёл исследование затухания ультразвука в различных средах.

С. Н. Ржевкин и С. И. Кречмер изучили оптическим методом ряд волновых процессов на ультразвуках; в частности, изучены явления дифракции на одиночном цилиндре и на решётке, явление воли во второй среде при полном внутреннем отражении, прохождение звука через пластинку, и разрешен на моделях ряд вопросов отражения и дифракции, важных для архитектурной акустики.

Следует особо подчеркнуть важное значение метода ультразвуковой дефектоскопии непрозрачных тел, изобретённого С. Я. Соколовым (1928 г.) и доведённого им к 1937 г. до технической совершенной формы. Этим методом оказалось возможно обнаруживать мельчайшие раковины и трещины в металлических деталях, имеющих толщину в десятки сантиметров. Принципиальное значение этого метода «видения» внутри непрозрачных тел посредством ультразвука также следует считать весьма большим.

Из изложенного краткого обзора успехов акустики можно видеть, что учёные нашей страны немало сделали для развития науки и техники в своей области. Советские акустики могут гордиться своими научными открытиями, изобретениями и разработанными техническими конструкциями.
