

Знаменательные даты

90 ЛЕТ КАФЕДРЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИКИ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНИКИ, ЕЕ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В 1928 г., 2 февраля, молодой преподаватель кафедры "Специальная радиотехника" Ленинградского электротехнического института (ЛЭТИ) Сергей Яковлевич Соколов направил заявку на способ и устройство для испытания материалов, на которую впоследствии был получен патент № 11371. В этой заявке впервые было предложено использовать ультразвуковые колебания для исследования изделий с целью получения информации об их внутренних дефектах и структуре. Именно от этой даты мировая общественность ведет отсчет существования ультразвуковой дефектоскопии – науки о методах и приборах контроля качества материалов и изделий, созданной на кафедре, которой в этом году исполняется 90 лет.

В одной из статей, опубликованной в 1929 г. в Германии, С. Я. Соколов обобщил результаты своих исследований распространения ультразвуковых волн в различных металлах и сформулировал обнаруженные им особенности свойств ультразвука:

- способность проникать на большую глубину в металлы и обнаруживать в них неоднородности;
- зависимость затухания от структуры металла и примесей, а в сталях – от степени их закалки;
- способность распространяться по проволоке на расстояние в несколько десятков и даже сотен метров и отражаться от ее конца.

Соколов впервые предложил использовать одну и ту же пьезопластину как в качестве излучателя, так и в качестве приемника ультразвука, т. е. сформулировал принцип совмещенного преобразователя с применением частотно-модулированных колебаний.

В конце 1929 г. на кафедре "Специальная радиотехника" была организована специализация по электроакустике, а уже в 1930 г. состоялся первый выпуск 4 инженеров. В 1931 г. была создана первая в стране кафедра электроакустики и ультразвуковой техники, бессменным заведующим которой до своей смерти в 1957 г. оставался С. Я. Соколов.

За десятилетний период (1931–1941) Соколовым были выполнены основные исследования и сделаны изобретения в области ультразвуковой дефектоскопии:

- разработан точечный пьезоэлектрический приемный преобразователь и исследовано распределение им амплитуд колебаний как по поверхности излучающих сложных вибраторов, так и по поверхности прозвучиваемых изделий с внутренними несплошностями;
- предложен фокусирующий излучатель, в том числе с регулируемым механическим способом фокусным расстоянием;
- предложен сквозной теневой метод с частотной модуляцией путем автоматического изменения емкости колебательного контура генератора;
- предложен и реализован сквозной теневой и зеркально-теневой временные методы с импульсным излучением и модуляцией частоты;
- предложен резонансный метод измерения скорости звука в материале изделия;
- предложен наклонный ввод ультразвука в изделие, в том числе с возбуждением только поперечных волн;
- предложен и реализован эхометод ультразвуковой дефектоскопии с использованием раздельной схемы включения и частотно-модулированного излучения;
- предложен и осуществлен электромагнитно-акустический метод возбуждения колебаний в изделии, основанный на взаимодействии вихревых токов с полем постоянного магнита;
- реализован низкочастотный акустический метод измерения частот собственных колебаний турбинных лопаток с целью обнаружения в них внутренних дефектов (трещин);
- предложено и реализовано несколько типов теневых дефектоскопов с различными методами автоматического сканирования и записью контуров дефектов с помощью различных систем.

Проведенные в этот период исследования, а также изобретения С. Я. Соколова в области

ультразвуковой дефектоскопии намного опередили аналогичные работы других ученых и получили высокую оценку: в 1942 г. ему была присуждена Сталинская премия.

Вторым очень важным направлением работ С. Я. Соколова в области ультразвуковой дефектоскопии как до войны, так и в послевоенное время являются работы по звуковидению. Он считал, что необходимо не только обнаружить несплошности в изделии, но и установить их размеры и форму – визуализировать. К этому были все предпосылки, так как ультразвук оказался необычайно чувствителен к малейшим градиентам свойств вещества и способен визуализировать слабые неоднородности, которые не обнаруживаются другими методами.

Первой системой звуковидения, предложенной С. Я. Соколовым еще в 1928 г. и подробно описанной в литературе, была система, основанная на создании распределения поля на поверхности жидкости, метод поверхностного рельефа. Ультразвуковой пучок, прошедший через контролируемое изделие, формирует на поверхности жидкости статический рельеф, образуемый постоянным давлением $\bar{p}$ акустической радиации: $\bar{p} = 2J / c$, где J – распределение интенсивности звука в "ультразвуковом изображении" на поверхности; c – скорость звука в жидкости. Ультразвуковое изображение далее освещается световым пучком, который, отражаясь от поверхности, на вертикальном или горизонтальном экране образует "ультрасонограмму" – световое изображение. Дальнейшие исследования этого метода выполнил аспирант кафедры Е. Д. Пигулевский, который показал, что этот метод обладает высокой пороговой чувствительностью – 10^{-3} Вт/см² и разрешающей способностью 2 мм на частоте 3 МГц.

Значительно большей чувствительностью обладала система звуковидения, основанная на акустооптическом преобразовании в так называемой трубке Соколова – акустическом аналоге кинескопа, у которого светочувствительный экран заменен пьезоэлектрическим преобразователем. Этот метод звуковидения, подробно исследованный аспирантом В. Г. Прохоровым, показал пороговую чувствительность порядка 10^{-9} Вт/см² и разрешающую способность, как у предыдущего.

Еще более высокая чувствительность этого метода (около $10 \dots 13$ Вт/см²) была достигнута ас-

пирантом П. В. Пономаревым путем механического сканирования пьезоэлектрического рельефа, возникающего на пьезомишени под действием ультразвукового изображения. Однако из-за длительности механического сканирования он не мог применяться для контроля динамических изображений.

В предложенных С. Я. Соколовым методах и устройствах визуализации не использовался огромный потенциал, заложенный в том принципиальном отличии звуковидения от оптики и рентгена, которое обусловлено возможностью регистрации ультразвуковых сигналов с точностью до фазы. Этот потенциал полностью проявился с появлением оптической голографии.

Парадокс заключается в том, что если в оптике развитие голографии стало возможным только после появления когерентных источников света – лазеров, то в акустике источники звука обладали очень высокой когерентностью. Уже в первых опытах с системами звуковидения регистрировалась интерференция падающих и отраженных от свободной поверхности жидкости когерентных ультразвуковых волн, т. е. образовывалась акустическая голограмма. Очевидно, это дало основание считать, что С. Я. Соколов является создателем акустической голографии.

Бюро отделения общей физики и астрономии АН СССР на заседании, состоявшемся 12 января 1972 г., установило, что С. Я. Соколовым сделано открытие, со следующей формулировкой: "Экспериментально обнаружено новое физическое явление, состоящее в том, что ультразвуковые волны при прохождении через твердые, жидкие или газообразные среды, содержащие неоднородности, образуют акустическое изображение этих неоднородностей, которое с помощью звукооптических устройств может быть преобразовано в видимое изображение". Приоритет С. Я. Соколова по данному открытию установлен авторским свидетельством.

Работы в области звуковидения на кафедре были возобновлены в конце 60-х годов первоначально в направлении акустической голографии (Е. Д. Пигулевский, О. В. Клыковский, А. А. Перрен), а впоследствии – реконструктивной акустической томографии (А. В. Осетров, В. В. Долганов). За этот период были решены задачи, связанные с обработкой информации в методах синтезированной апертуры и построением систем неразрушающего контроля объектов сложной формы.

После войны работы в области ультразвуковой дефектоскопии на кафедре возобновились лишь в 1947 г. с создания нового промышленного импульсного дефектоскопа (патент Дж. Файерстона Соколову уже был известен). К этой работе были привлечены три дипломника (А. Л. Давыдов, Б. Н. Машарский, Ю. В. Мирохин), а также группа студентов четвертого курса – А. И. Сауков, В. Г. Прохоров, Д. Б. Дианов, А. Е. Колесников и Е. С. Соколова. Несмотря на сложности с обеспечением электронными компонентами, энтузиазм молодых исполнителей позволил к концу 1948 г. изготовить несколько таких приборов, сконструированных из трофейных материалов. Прибор работал только по отдельной схеме с двумя преобразователями. После сдачи образцов заказчикам С. Я. Соколов перед этим же коллективом поставил новую задачу – перевести блоки прибора на отечественные радиолампы, обеспечить возможность работы прибора на один и два щупа, улучшить его разрешающую способность, уменьшить массу и габариты. К 1950 г., когда было разработано и передано в промышленность несколько еще довольно громоздких приборов, стало известно, что созданием ультразвуковых дефектоскопов усиленно занимаются еще две группы специалистов. Во главе одной из них стоял Д. С. Шрайбер (ВИАМ), второй – С. А. Матвеев (ЦНИИТМАШ). Несмотря на дружеские отношения Соколова с руководителями этих групп, дальнейшая работа по созданию дефектоскопов носила конкурентный характер. В лаборатории ЭУТ в работу одновременно были запущены три модели приборов – УЗД-10, УЗД-11, УЗД-12. Первая конструкция была относительно легкой (10 кг) с малой электронно-лучевой трубкой, УЗД-11 выпускался в блочном исполнении, а УЗД-12 – на едином шасси. Последний прибор оказался наиболее удачным и после усовершенствования и замены кварцевых преобразователей пьезокерамическими (титанат бария) стал производиться серийно под маркой УЗД-12Т. Заводских специалистов обучали работе с прибором на предприятиях, куда командировались сотрудники лаборатории, работающие дипломники и некоторые студенты.

За работы в области ультразвуковой микроскопии, разработку и внедрение в заводскую практику ультразвуковых дефектоскопов С. Я. Соколову, его сотрудникам А. Л. Давыдову, Б. Н. Машарскому, механикам Г. Е. Грачеву и И. В. Кулакову, а также

А. С. Матвееву (ЦНИИТМАШ) и Н. И. Барышникову (завод "Электросталь") уже в 1951 г. была присуждена Государственная премия.

В 1951–1957 гг. в лаборатории ультразвуковой дефектоскопии кафедры под руководством С. Я. Соколова работали А. Л. Давыдов, Б. Н. Машарский, Е. А. Корепин, В. М. Вережкин, А. Е. Колесников, А. С. Голубев, А. В. Гусев, В. А. Щукин, Е. Д. Пигулевский, И. Ф. Лопатко, П. Н. Петров, Ю. М. Быстров, Б. Е. Михалев, Л. А. Яковлев, А. В. Харитонов, К. С. Александров, В. В. Богородский и многие студенты. План выпуска составлял не менее 40 приборов в год, так что за этот период было изготовлено и продано заказчикам более 300 дефектоскопов УЗД-12Т, УЗД-14 и УЗД-16.

Разработка ультразвуковых дефектоскопов для контроля различных материалов требовала проработки вопросов чувствительности, исследования влияния поглощения и рассеяния звука в конструкционных материалах, оптимизации характеристик пьезопреобразователей.

Определение чувствительности контроля изделий эхометодом исследовалось Б. Н. Машарским. Им же выполнен анализ уравнений акустического тракта при отражении от дефектов простой формы (сфера, диск, группа сфер). Было показано, что, измеряя величину отраженного сигнала на различных частотах, можно судить о характере дефекта в изделии.

Теоретические и экспериментальные исследования поглощения и рассеяния звука в поликристаллических средах выполнил аспирант кафедры Л. Г. Меркулов. Он установил количественную связь между коэффициентом затухания, средним размером зерна и их упругой анизотропией. Эти исследования в настоящее время являются классическими и легли в основу современной спектроскопии. В дальнейшем они были использованы при разработке ультразвукового дефектоскопоструктурометра УЗДС-18 (А. С. Голубев, А. Е. Иванов).

Исследование пьезопреобразователей, предназначенных для работы на жидкие и твердые среды, начал Н. А. Евдокимов. Анализ работы преобразователей для контроля твердых сред в непрерывном режиме выполнил Д. Б. Дианов, а для контроля в импульсном режиме без учета их электрической нагрузки – П. В. Понамарев. Наиболее полные расчеты многослойных пьезопреобразователей для непрерывного режима,

ставшие классическими, выполнили Л. Г. Меркулов и Л. М. Яблоник, а отдельные аспекты этой проблемы изучались В. Е. Ивановым, А. С. Голубевым, А. И. Сафоновым и Л. А. Яковлевым. Значительный вклад в теорию анализа пьезопреобразователей в импульсном режиме внесли Н. А. Евдокимов, Б. А. Касаткин и А. Ф. Мельканович. Полученные ими результаты используются и в настоящее время. Исследовалась также возможность построения двухрезонансных преобразователей, позволяющих возбуждать в твердом теле продольные или поперечные волны.

Применительно к работе наклонного призматического преобразователя исследовался вопрос о прохождении упругих волн через границу раздела двух твердых сред, когда тангенциальные составляющие напряжения обращаются в ноль. Полученные результаты до настоящего времени имеют практическое значение для выбора наилучшего материала призмы и оптимальных углов ввода ультразвуковых колебаний в исследуемое изделие. В дальнейшем впервые получены выражения характеристики направленности такого преобразователя. Для контроля аустенитных сварных швов при работе на низких частотах, что необходимо из-за большого рассеяния ультразвука, И. Ф. Лопатко была предложена новая конструкция раздельно-совмещенного преобразователя ДУЭТ.

Одной из задач ультразвукового контроля является измерение толщины стенок объектов при одностороннем доступе. Такой прибор, изготовленный на кафедре, отличался от аналогичных возможностью измерения временного интервала между любыми донными импульсами, что позволило повысить точность измерения и довести нижний предел измеряемых толщин до 2...3 мм. Кроме того, впервые отсчет толщины осуществлялся по соответствующей шкале, отградуированной непосредственно в единицах длины (миллиметрах).

Работы по созданию новых толщиномеров продолжаются и в настоящее время. Был разработан, изготовлен и прошел испытания ультразвуковой толщиномер для измерения стенок (толщиной 2...200 мм) металлических объектов, находящихся в подводном положении на глубине до 100 м. Иммерсионный многоканальный внутритрубный толщиномер для инспекции труб диаметром 250...500 мм с толщиной стенки 5...20 мм разработан, изготовлен, успешно прошел натур-

ные испытания и в настоящее время сертифицируется (разработчики С. К. Паврос, Е. Г. Пряхин, С. В. Ромашкин, А. Ф. Рыжков).

Одним из важных начинаний С. Я. Соколова в области ультразвуковой дефектоскопии является автоматизация процесса контроля и регистрации его результатов. В авторском свидетельстве он предложил несколько вариантов дефектоскопов с автоматическими сканирующими системами и возможностью фиксации контуров дефектов. После войны первой проработкой в этом направлении стала попытка автоматизации контроля листового проката теневым методом на заводе им. Петровского в г. Днепропетровске, выполненная молодыми инженерами Е. А. Корепиным, В. М. Вережкиным и Д. В. Носиковым. Десятиканальный макет аппаратуры с регистрацией дефектов на электротермической бумаге прошел успешную апробацию на заводе. Однако использованный в ней механический коммутатор не позволял реализовать требуемую высокую скорость контроля.

Автоматизация контроля изделий малой толщины с высокой чувствительностью сталкивается с определенными трудностями. Они были преодолены В. М. Вережкиным и К. В. Жарковым в установке для автоматического контроля заготовок поршневых колец толщиной 3 мм. Для контроля использовалось наклонное падение ультразвуковых волн под углом, близким ко второму критическому. Производительность аппаратуры 420 деталей в час, а ее чувствительность составляла 0.1 мм². Для разбраковки изделий на годные и бракованные использовалось устройство в виде мальтийского креста.

Задача высокоскоростного автоматизированного контроля листового проката была решена после предложенной Л. Г. Меркуловым, В. М. Вережкиным, Н. А. Евдокимовым и К. В. Жарковым реализации системы прозвучивания проката группой одновременно бегущих лучей и электронной коммутации акустических каналов. Эта система легла в основу первой промышленной установки УЗУЛ-01, внедренной в 1961 г. на Нижнетагильском металлургическом комбинате. В 1962–1964 гг. на кафедре были разработаны, изготовлены и внедрены еще три такие установки, отличавшиеся от УЗУЛ-01 рядом параметров. Был дан обзор методов и средств контроля толстолистового проката, разработанных на кафедре в 1964–1997 гг.:

- предложенный В. М. Веревкиным и Н. А. Евдокимовым новый эхосквозной метод ультразвуковой дефектоскопии;
- разработка, изготовление и внедрение на ряде предприятий страны четырех установок типа ДУЭТ, в которых реализован этот метод (В. М. Веревкин, Н. А. Евдокимов, А. С. Голубев, Д. Д. Добротин, В. А. Каширин, С. К. Паврос, К. Е. Аббакумов и др.);
- разработка, изготовление и внедрение на предприятиях Санкт-Петербурга трех установок с реализацией многократнотеневого метода (А. С. Голубев, С. К. Паврос, Д. Д. Добротин, К. Е. Аббакумов, В. Е. Артемов, С. В. Мамистов, А. В. Топунов);
- разработка, изготовление и внедрение на Ижорском заводе установки для контроля толстых листов и плит с применением эхо- и зеркально-теневого методов (А. С. Голубев, С. К. Паврос, К. В. Жарков, К. Е. Аббакумов, А. В. Топунов);
- разработка ГОСТ 22727–88 "Сталь толстолистовая. Методы ультразвукового контроля сплошности" (А. С. Голубев, В. М. Веревкин, В. А. Каширин).

За комплекс работ по дефектоскопии листового проката, выполненных в этот период, В. М. Веревкин, А. С. Голубев, Д. Д. Добротин, В. А. Каширин, С. К. Паврос, К. Е. Аббакумов отмечены международной премией и медалью "Рентген – Соколов" за 1997 г.

Последние пять лет были годами освоения в аппаратуре ультразвукового контроля листового проката новой элементной базы на основе цифровых методов и компьютерных систем регистрации и обработки информации. В результате была разработана, изготовлена и внедрена на заводе "Азовсталь" уникальная установка ДУЭТ-5 для контроля проката в технологическом потоке производства со скоростью движения листов до 2 м/с, регистрации всей информации с последующей ее сортировкой по любым стандартам и нормам (В. М. Веревкин, В. А. Каширин, Н. Н. Егоров, С. В. Титов, К. Э. Тоом и др.).

Для Ижорского завода была разработана установка для контроля проката толщиной 20...300 мм эхоимпульсным методом с автоматическим слежением преобразователей за кривизной поверхности листа с регистрацией всей информации и отображением ее в виде разверток

типа "В" вдоль и поперек листа и плановой развертки типа "С" (С. К. Паврос, К. Е. Аббакумов, А. В. Топунов, А. Ф. Рыжков, Е. Г. Пряхин, Р. В. Ромашко).

Одновременно с разработкой установок для контроля толстолистого проката на кафедре начались исследования распространения упругих волн в ограниченных средах и их взаимодействия с неоднородностями объекта контроля. Здесь следует отметить пионерские разработки Д. Б. Дианова по возбуждению нормальных рэлееских волн в пластине, Л. Г. Меркулова, Е. Д. Пигулевского и К. В. Жаркова – по исследованию затухания нормальных волн в свободной или находящейся в жидкости пластине, Б. А. Касаткина – по анализу возбуждения и распространения различных нормальных волн в стержнях, Л. В. Веревкиной и Л. Г. Меркулова – по теории нормальных волн в трубах, К. В. Жаркова – в двухслойных пластинах, Л. Г. Меркулова и С. И. Рохлина – по взаимодействию волн Лэмба с расслоениями в пластине.

В дальнейшем теоретические и экспериментальные исследования нормальных волн продолжали А. В. Харитонов, его ученики: Л. А. Никифоров, А. В. Пашутин, С. М. Балабаев, Н. Н. Егоров, И. В. Ильин и др. В ряду этих работ следует особо отметить разработку электромагнитно-акустических преобразователей с периодической магнитной системой для возбуждения и приема нормальных волн различных типов (А. В. Пашутин). Результаты этих работ обобщены в докторской диссертации А. В. Харитонova и в публикациях сотрудников кафедры, посвященных этому вопросу.

Разработка аппаратуры неразрушающего контроля материалов и изделий невозможна без средств контроля акустических характеристик материалов (скоростей распространения продольных и поперечных волн и их коэффициентов затухания). Резонансный метод измерения скорости продольных волн С. Я. Соколов использовал еще в 1929 г. при исследованиях свойств различных материалов. Для измерения скоростей распространения упругих волн в различных материалах, в том числе в кристаллах, на кафедре на основе импульсного фазового метода был разработан измеритель скорости УЗИС-6 (К. С. Александров, О. В. Носиков), в котором скорость определялась на основании сравнения времен прохождения ульт-

тразвуковых импульсов через исследуемый образец и жидкостную эталонную линию. Этот прибор в течение длительного времени выпускался учебно-экспериментальными мастерскими при ЛЭТИ по заказам различных организаций. Одновременно был разработан прибор для измерения скорости звука в жидкости (О. И. Бабилов), который использовался для измерения скоростей протекания химических реакций, концентрации компонентов растворов. Работы по совершенствованию такой аппаратуры, улучшению ее метрологических характеристик на кафедре осуществляются постоянно (В. Е. Иванов, В. А. Щукин, Л. А. Яковлев, М. М. Шевелько). Были разработаны новые приборы УЗИС-ЛЭТИ, УЗИС-ГЭТУ, измеритель скорости и затухания звука "Фонон".

Исследования распространения и затухания ультразвуковых волн в кристаллах, выполненные на кафедре, открыли перспективы их применения для микродефектоскопии кристаллической решетки, в частности дислокаций. Глубокий интерес, проявляемый к этим вопросам, объясняется тем, что от дислокаций и наличия примесных атомов зависят прочностные характеристики материалов. На основании этих исследований удалось разработать прибор УЗПЧ для контроля чистоты сверхчистого алюминия, полученного зонной плавкой (Е. К. Гусева, Л. А. Яковлев), разработать метод и аппаратуру для контроля ферритовых пластин (Е. К. Гусева, С. В. Титов).

Следует особо отметить, что масштабные политические и экономические преобразования, происшедшие в стране в начале 90-х гг. прошлого столетия, не могли не отразиться на работе как СПбГЭТУ "ЛЭТИ" в целом, так и его отдельных подразделений: кафедр, отделов и т. п.

Коренные изменения условий финансирования учебной и научной деятельности университета заострили кадровую проблему. По разным причинам за непродолжительный период кафедру покинул ряд высококвалифицированных специалистов: В. Е. Артемов, А. Н. Костюк, А. В. Осетров, В. В. Долганов, А. А. Перрен, В. И. Сенчук, Л. А. Никифоров, Н. Н. Егоров, К. Э. Тоом, С. В. Титов, Е. К. Гусева (Кирсанова) и др. Ушли из жизни опытные сотрудники: А. В. Харитонов, А. С. Голубев, Д. Б. Дианов, В. М. Веревкин. С 1991 г. кафедру возглавил доцент, к. т. н. С. К. Паврос, на плечи которого пришлось самые трудные и тяжелые годы деятельности кафедры в рамках осуществляемых преобразований.

Происходящие изменения потребовали новых подходов к организации и построению научных исследований, поиску новых заказчиков. Выяснилось, что разработка и изготовление в ЛЭТИ таких высокотехнологичных и сложных устройств, как многоканальные промышленные дефектоскопы, даже с привлечением сторонних подрядчиков, является экономически неэффективным, что вынудило свернуть подобные работы как самостоятельные и переключиться на участие в них в качестве соисполнителей и консультантов. Такие изменения существенно ограничили финансовые возможности кафедры в целом и затруднили ее обновление за счет приобретения новой аппаратуры.

Однако оставшиеся в составе кафедры научно-педагогические работники продолжили исследования и проектные работы в направлении ультразвуковой дефектоскопии. Одним из таких пионерских, масштабных проектов в середине 90-х гг. явилось участие сотрудников кафедры в создании нового средства контроля магистральных нефтепроводов – дефектоскопа-снаряда. Участие в подобном проекте позволило не только сохранить коллектив кафедры в трудный период, но и приобрести новый опыт в создании образцов передовой техники, разработку которой за рубежом вели самые высокотехнологичные предприятия таких стран, как Япония, Канада и др. Как правило, в состав подобного устройства входили секции: ультразвукового контроля, магнитного контроля, навигационная и электропитания. Шарнирно соединенные между собой последовательно друг за другом эти секции при диаметре трубы 1400 мм образовывали внушительную конструкцию длиной в 10...12 м, которая вместе с потоком перекачиваемой жидкости перемещалась от одной перекачивающей станции до другой на расстояние 200...300 км. На этих станциях с помощью запасовочного устройства из запоминающего устройства вся служебная информация извлекалась и передавалась на служебный компьютер для расшифровки и обработки с помощью специального программного обеспечения.

Полученные в процессе исследований наработки были использованы в дальнейшем при создании систем внутритрубной дефектоскопии систем водоснабжения городского водохозяйства.

В 2007 г., после ухода из жизни С. К. Павроса, кафедру возглавил профессор, д. т. н. К. Е. Аббакумов.

Многие недостатки многоканальных дефектоскопических систем с иммерсионным способом создания акустического контакта связаны с необходимостью применения крупногабаритной «иммерсионной ванны», в которую должен погружаться контролируемый лист. Это связано с тем, что габариты ванны не всегда позволяют вписать это оборудование в пространство действующего металлургического цеха. Одновременно с этим возникают потери времени, связанные с погрузкой и выгрузкой листа из ванны. Проблема решается переходом от пьезоэлектрических датчиков к бесконтактным, электромагнитно-акустическим, с помощью которых излучение и прием ультразвука не нуждаются в наличии переходных сред. Принципиальным отличием установок с бесконтактными датчиками является возможность контроля листов с температурой поверхности до 650 °С. При технической поддержке сотрудников кафедры специалисты организации «Нордінкрафт» (впоследствии «Ультракraft», г. Череповец, Вологодская обл.) разработали целую серию установок для контроля листового проката типа «Север», одна из которых была внедрена в листопрокатном цехе на Ижорских заводах (г. Колпино, Ленинградская обл.). Кроме отечественных металлургических заводов многоканальные дефектоскопы такого типа поставлялись за рубеж – в страны Азии и Японию. Помимо чисто дефектоскопических задач с помощью подобных установок решалась и задача определения физико-механических характеристик металлов, что оказалось возможным также благодаря особенностям работы бесконтактных датчиков. Для обеспечения условий повышения параметров контроля были решены также несколько теоретических задач, связанных с особенностями расчетов электроакустических трактов установок с бесконтактными датчиками, что позволило перейти к более рациональному конструированию акустических систем многоканальных установок. А. В. Кириковым была защищена кандидатская диссертация по указанным вопросам. Творческое сотрудничество со специалистами АО «Ультракraft» (генеральный директор В. А. Бритвин) продолжается и по настоящее время в направлении исследования сверхдальнего распространения крутильных волн в однородных и композиционных металлических волноводах и разработки новых типов преобразователей для дефектоскопии цилиндрических изде-

лий. Другая актуальная область теоретических исследований связана с изучением влияния граничных условий в приближении «линейного скольжения» на характеристики волновых процессов в сложноструктурированных средах. Кандидатские диссертации при выполнении исследований в данном и смежных направлениях защитили: С. В. Ромашкин, С. В. Реука, А. В. Теплякова, Р. С. Коновалов, А. В. Курков, К. С. Паврос.

Работы в направлении акустоэлектроники связаны с деятельностью научной группы, возглавляемой доцентом, к. т. н. М. М. Шевелько. Усилиями сотрудников группы разработаны макеты малогабаритных измерителей параметров вращения, использующих чувствительные элементы на поверхностных и объемных волнах. Такое оригинальное исполнение акустоэлектронных компонентов делает их чрезвычайно перспективными при построении малогабаритных, виброустойчивых гироскопических систем. Кандидатские диссертации по данному направлению защитили Е. С. Попкова, А. И. Лутовинов. В 2021 г. планируется защита кандидатской диссертации аспиранткой Я. Дурукан.

В рабочей группе гидроакустического профиля под руководством доцента, к. т. н. Б. Г. Степанова продолжают исследования по созданию высокоэнергетических, сверхширокополосных электроакустических преобразователей. При выполнении одной из работ, заказчиками которой выступали организации РАН и СПбГУ, направленной на моделирование устройств, способных воспроизводить сигналы информационного обмена между морскими млекопитающими (дельфинами, китообразными и др.), были не только разработаны новые конструкции пьезоэлектрических датчиков волноводного типа, но и существенно улучшена лабораторная база кафедры. Был построен и оформлен «акустически» новый измерительный гидроакустический бассейн. Процедуры измерений в нем актуальных характеристик исследуемых подводных антенн полностью автоматизированы и управляются программным способом с помощью персонального компьютера. На основе материалов данного исследования аспирант И. С. Пестерев защитил в 2021 г. кандидатскую диссертацию. На 2021 г. запланирована защита докторской диссертации Б. Г. Степановым.

Профессором, д. т. н. В. М. Цаплевым на кафедре продолжены исследования в области нелинейных методов акустического контроля и измерений. На основании результатов этих исследований были разработаны учебные курсы для подготовки магистров и аспирантов. Значительные результаты получены его сотрудниками при проектировании малогабаритных пьезоэлектрических возобновляемых источников электрической энергии. В области нелинейной акустики для решения гидроакустических задач также ведутся исследования под руководством профессора, д. т. н. Д. Б. Островского.

Профессором, д. т. н. С. В. Попковым в содружестве со специалистами Крыловского научного центра ведутся работы по созданию новых поколений средств виброизмерений и виброзащиты.

В 2018 г. в ознаменование 90-летия ультразвуковой дефектоскопии коллектив кафедры был награжден почетной грамотой РОНКТД.

За рассматриваемый период докторские диссертации защитили: Е. К. Кирсанова (Гусева), С. К. Паврос, А. В. Осетров, К. Е. Аббакумов, С. В. Попков, Е. Л. Шейнман. Всего сотрудни-

ками кафедры получено несколько десятков авторских свидетельств, написано несколько десятков монографий, подготовлено несколько сотен научных статей и докладов. Всего подготовлено более 5000 высококвалифицированных специалистов, бакалавров, магистров.

В настоящее время коллектив кафедры продолжает успешно работать над исследованиями и разработкой методов и средств ультразвукового контроля материалов и изделий и акустических измерений, а также гидроакустических преобразователей специального назначения. В учебном процессе заняты: профессора К. Е. Аббакумов, В. С. Давыдов, Д. Б. Островский, С. В. Попков, Е. Л. Шейнман, доценты Д. Д. Добротин, Р. С. Коновалов, С. И. Коновалов, А. А. Вьюгинова, Б. Г. Степанов, А. Н. Перегудов, А. В. Теплякова, Е. С. Попкова, М. М. Шевелько, старший преподаватель К. С. Паврос, ассистенты Н. А. Зайцева, Я. Дурукан, И. Г. Сидоренко и учебно-вспомогательный персонал (зав. лаб. С. В. Баташова, А. Н. Максимов, А. Ф. Рыжков, Р. Г. Львов, И. И. Каземирова, А. В. Топунов).

К. Е. Аббакумов, А. А. Вьюгинова, редакция