

УЧЕНЫЕ – ИЗОБРЕТАТЕЛИ

УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

К 90-летию изобретения С.Я. Соколова. Обзор

Часть 1. Становление ультразвуковой дефектоскопии

Не все изобретатели – ученые.
Все ученые – изобретатели...

Ф. Мещанский



БОБРОВ Владимир Тимофеевич*

Д-р техн. наук, проф.,
главный научный сотрудник
ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр», Москва

Есть высшая смелость: смелость изобретения, создания,
где план обширный объемлется творческой мыслью...

А.С. Пушкин

Эта мысль по праву может быть применима к ученым-изобретателям в области естественных наук и техники. И, конечно же, к нашей области науки – физической акустике, ультразвуку** и ультразвуковым (УЗ) методам неразрушающего контроля.

Психология изобретательства

«Изобретательство – это вид творчества, отличающийся от других тем, что конечные его результаты вполне материальны: приборы, инструменты, системы, материалы, методы, технологии и т. д. При нас, людях 20-го столетия, началась величайшая в истории цивилизации научно-техническая революция. Атомная энергия, освоение космического пространства, спутниковая связь, компьютеры, кибернетика, генная инженерия и многое другое... В 21 веке этот процесс принял поистине лавинообразный характер. Все это радикально изменило и продолжает изменять весь наш образ жизни. Этим мы

обязаны первооткрывателям: ученым, инженерам, изобретателям», – пишет Феликс Мещанский [1].

Автора интересует «самый процесс рождения изобретений», элементами которого является многообразие путей, стимулов и методов творчества изобретателей, к которым относятся реальные потребности, эмоциональные факторы (мысленный эксперимент, озарения, упорядочение накопленной информации во сне) и др.

Выявление объекта приложения изобретательской мысли – первый этап в работе изобретателя, за ним следует целенаправленный труд ученого и изобретателя. Абсолютно неожиданных изобретений не существует – изобретение является целенаправленным результатом деятельности ученого [2]. Большую значимость и даже остроту в процессе изобретательской деятельности приобретает вопрос о соотношении закономерного и случайного, ибо, как свидетельствует история, роль таких открытий в жизни человечества исключительно велика [3]. Ни одно из случайных научных достижений не принадлежит человеку, случайному в науке. «Случайная ситуация сама становится необходимым моментом решения данной научной или технической задачи в смысле преодоления того барьера, который заслонял собою искомое решение», – пишет известный философ и историк науки Б.М. Кедров [2].

Уровень развития промышленности, от которого в огромной степени зависят как задачи, возникающие перед учеными, так и средства, с помощью которых они решают научные задачи, также являются важными факторами в появлении новых идей и решений.

Ни одно открытие не возникает, что называется, «на пустом месте», любое достижение физики связано с результатами предшествующих исследований и наблюдений. Возникновение новых наук, научных направлений, новых основополагающих идей, как правило, тесно связано с этими глобальными изменениями. Как писал В. Гете [2]: «...самые замечательные открытия делаются не столько людьми, сколько временем; вот почему весьма важные дела часто совершались одновременно большим числом опытных мыслителей». Изобретательство отно-

* Автор настоящей статьи является изобретателем с более чем 50-летним стажем. В «портфеле» его изобретений – более 70 авторских свидетельств СССР, 16 зарубежных патентов (США, ФРГ, Япония и др.) и 8 патентов РФ.

** Открытие ультразвука восходит к наблюдениям за полетом летучих мышей, сделанным еще в XVII веке, тогда же был предложен термин «ультразвук».

сится к творческим процессам, а сами изобретатели, как сейчас принято говорить, — к креативным личностям (креативность — лат. creatio — созидание, англ. creativity — созидательный, творческий), способным к выработыванию принципиально новых идей. Креативность входит в структуру одаренности в качестве независимого фактора [4, 5].

Изобретение ультразвуковых методов

90 лет назад молодому ученому Ленинградского электротехнического института (ЛЭТИ) Сергею Яковлевичу Соколову был выдан патент № 11371 на изобретение «Способ и устройство для испытания металлов» с приоритетом от 2 февраля 1928 г. [6]. О предмете изобретения говорилось: «Способ испытания материалов, характеризующийся тем, что в жидкости при помощи пьезокварца или иным способом возбуждают упругие колебания высокой частоты и по степени поглощения этих колебаний находящимся в жидкости или в соприкосновении с нею испытываемым металлическим образцом судят об его свойствах, например, о степени его закалки, о химическом его составе, о механической его однородности, о наличии в нем раковин или трещин и т.п.».

Выходец из крестьянской среды, С.Я. Соколов (1897–1957) в 8 лет поступил в церковно-приходскую школу в родном селе, потом в двухклассное сельское училище, затем уехал в Саратов поступать в среднетехническое училище [7]. После окончания училища в 1919 г. Сергей Яковлевич был мобилизован в Красную Армию и, наконец, после демобилизации осуществляет свою давнюю мечту и поступает в единственный в стране электротехнический институт — ЛЭТИ. Уровень подготовки специалистов был высоким, несмотря на то что до 1924 г. лекции читались в неотапливаемых помещениях, конспекты писались карандашами на газетах и оберточной бумаге, а питались студенты и преподаватели довольно скудно. Завершив в 1925 г. образование в Ленинградском электротехническом институте им. В.И. Ульянова (Ленина), С.Я. Соколов на протяжении всей жизни трудился в стенах этого прославленного вуза.

Свои научные исследования С.Я. Соколов посвятил акустике, в частности изучению ультразвуковых колебаний. Проведя многочисленные опыты, он в 1927 г. сделал фундаментальное открытие: установил способность ультразвуковых волн распространяться в металлах на большие расстояния без заметного поглощения. На этой основе ученый первым в мире предложил новый метод контроля качества изделий без их разрушения — метод ультразвукоскопии (ультразвуковой дефектоскопии).

Конечно, исследования С.Я. Соколова, способствовавшие появлению ультразвуковой дефектоскопии, базировались на работах предшественников. Прежде всего речь идет об исследованиях и открытиях таких ученых, как Жак и Пьер Кюри, обнаруживших в 1880 г. пьезоэффект, и Дж. В. Стретт (лорд Рэлей), разработавшем в 1880–1910 гг. теорию колебаний, приложения которой он находил в теории упругости, акустике и др. [8]. Более 30 лет открытие братьев Кюри оставалось без практического применения, пока в 1914 г. на него не обратили внимание французский ученый П. Ланжевэн, разработавший кварцевый излу-

читель, и эмигрировавший во Францию русский изобретатель К.В. Шиловский, которому принадлежит идея гидролокатора. Ими был создан опытный образец прибора с электроакустическим преобразователем, и в мае 1916 г. они получили патент под наименованием: «Описание аппаратов и способов их применения для подачи направленных подводных сигналов и для локализации подводных препятствий». Созданные К. Шиловским и П. Ланжевэном гидролокаторы успешно применяли для обнаружения подводных лодок противника в годы 1-й и 2-й мировых войн [9].

В 1928 г. Сергей Яковлевич стал доцентом кафедры радиотехники и организовал работы по акустике. Первые УЗ-дефектоскопы были разработаны на кафедре электроакустики, созданной С.Я. Соколовым в ЛЭТИ (ныне Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)).

Сергей Яковлевич Соколов является пионером звуковидения, именно он заложил основы акустической голографии. В 1935 г. он предложил три метода, преобразующие звуковые изображения в видимые глазом: метод поверхностного рельефа, механическое сканирование, видение с помощью электронно-лучевой трубки («трубка Соколова», рис. 1), наиболее перспективным и совершенным средством визуализации акустических изображений, и создал аппаратуру звуковидения, названную им ультразвуковым микроскопом. Он выдвинул идею исследования структуры твердых тел и фазовых переходов ультразвуковым методом.

В 1935 г. Сергей Яковлевич Соколов сконструировал ультразвуковой дефектоскоп прямого видения, основанный на принципе сквозного «просвечивания» металлов. Под его руководством были разработаны и изготовлены

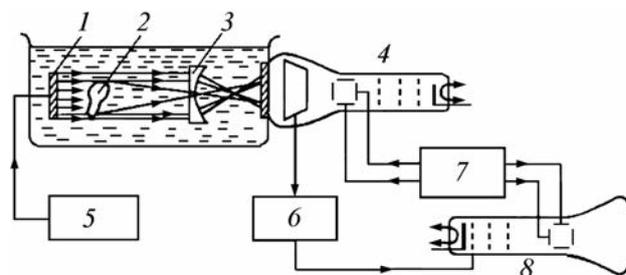


Рис. 1. Метод звуковидения с электронно-акустическим преобразователем «трубка Соколова»: 1 — излучатель; 2 — исследуемый объект; 3 — акустическая «линза»; 4 — электронно-акустическая трубка формирования изображения; 5 — генератор высокой частоты; 6 — усилитель; 7 — устройство развертки; 8 — приемная трубка демонстрации изображения



С.Я. Соколов

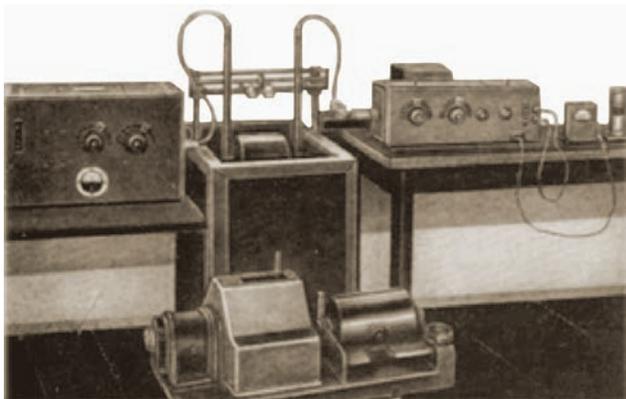


Рис. 2. Первая установка для контроля металлов ультразвуковым методом

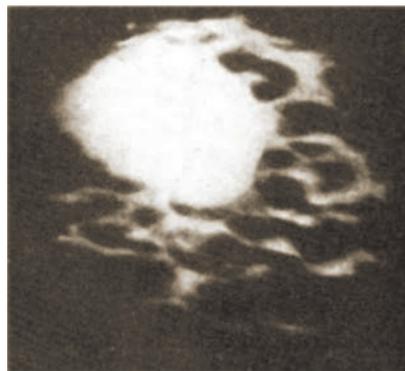
несколько конструкций дефектоскопов, которые успешно применялись Ижорским, Балтийским, Кировским и другими заводами и научными учреждениями (рис. 2).

3 ноября 1935 г. Сергей Яковлевич успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Ультраакустические колебания и их применение в различных областях техники» в Энергетическом институте АН СССР в Москве. В 1942 г. доктору технических наук С.Я. Соколову присуждается Сталинская премия II степени за «Изобретение метода ультразвуковой дефектоскопии», а в 1951 г. – Сталинская премия I степени за «Изобретение ультразвукового микроскопа, усовершенствование и промышленное освоение методов ультразвуковой дефектоскопии». За достижения в области науки и техники в 1953 г. С.Я. Соколов был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. За свои неполные 60 лет жизни С.Я. Соколов опубликовал 32 научные работы и получил 23 патента и авторских свидетельства на изобретения в области ультразвукового обнаружения дефектов и исследования твердых тел [10–18]. Он проявил себя как выдающийся изобретатель и ученый, приоритет его исследований и разработок признан мировым научным сообществом.

«Трудно в немногих словах охарактеризовать С.Я. Соколова как личность, благодаря его многогранности и глубине. Но две характерные черты можно указать сразу. Это, во-первых, огромное личное обаяние, теплота к людям и мудрость советчика и друга. И, во-вторых, огромная воля» (из некролога [19]).

О том, каким был С.Я. Соколов, о его «очень важных научных открытиях» с восхищением рассказывал в рамках проекта «ACADEMIA» лауреат Нобелевской премии Жорес Алферов, которому довелось слушать лекцию-беседу Сергея Яковлевича будучи студентом ЛЭТИ в начале 50-х годов прошлого столетия (Жорес Алферов. «Полупроводниковая революция. Наука и общество»/tvkultura). Как не вспомнить приведенные в эпитафии слова А.С. Пушкина. Только поистине смелый изобретатель мог увидеть в неясной картине поля дефекта прошедшей через объект контроля (ОК) УЗ-волны (рис. 3) перспективы широчайшего применения нового метода. С.Я. Соколов обратился к студентам с такими словами: «Хочу поговорить сегодня с вами о перспективах применения ультразвука. Сейчас в них мало кто верит, а они будут гигант-

Рис. 3. Вид УЗ-поля при прозвучивании ОК с дефектом



Медаль Рентген–Соколов



скими, и вы еще сами убедитесь в этом» [20].

Эта убежденность в важности его дела придавала ему смелость и настойчивость. 90-я годовщина получения первого патента № 11371 на метод УЗ-дефектоскопии стала ярким свидетельством успехов научной школы СССР и России, преемственности нескольких поколений ученых и специалистов, работающих в академической, вузовской и прикладной науке. В отличие от многих случаев, когда приоритет российских и советских ученых и изобретателей по тем или иным причинам утрачивался, это изобретение, а по сути своей открытие [21], в том числе благодаря плодотворной работе учеников и последователей С.Я. Соколова, прочно закрепилось за нашей страной. Подтверждением этого является учреждение международной премии и медали «Рентген–Соколов» и премии ICNDT «Sokolov» за большой вклад в научные исследования в области неразрушающего контроля и технической диагностики (НК и ТД). Имя С.Я. Соколова присвоено лаборатории электроакустики ЛЭТИ.

Развитие идей С.Я. Соколова

Значительный вклад в разработку физических основ и создание методов УЗ-контроля наряду с учениками С.Я. Соколова: д-ром физ.-мат. наук, проф. Л.Г. Меркуловым, д-ром физ.-мат. наук, проф. А.В. Харитоновым, д-ром техн. наук, проф. С.К. Павросом, д-ром техн. наук, проф. К.Е. Аббакумовым и другими внесли ученые и специалисты вузов – МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГГУ, МЭИ, ИжГТУ, ХПИ и других и отраслевых институтов – ВИАМ, ЦНИИТМАШ, НИИ мостов и дефектоскопии ПГУ ПС, НИИ интроскопии МНПО «Спектр», ВНИИНК (ныне НИИНК), ИЭС им. Е.О. Патона, ИПФ НАН Беларуси: д-р техн. наук Шрайбер Д.С., д-р техн. наук, проф. А.К. Гурвич, д-р техн. наук, проф. И.Н. Ермолов, канд. техн. наук А.С. Матвеев, канд. техн. наук, проф. Н.В. Химченко, д-р техн. наук, проф. Г.А. Буденков, д-р физ.-мат. наук И.А. Викторов, д-р техн. наук,

проф. В.Г. Щербинский, канд. техн. наук А.В. Малинка, акад. РАН, д-р техн. наук, проф. Н.П. Алешин, д-р техн. наук Ю.В. Ланге, д-р техн. наук, проф. А.Х. Вopilкин, д-р техн. наук, проф. В.Л. Шкуратник, д-р техн. наук, проф. М.В. Королев, д-р техн. наук, проф. А.И. Потапов, д-р техн. наук, проф. А.А. Марков, д-р техн. наук, проф. В.К. Качанов, Р.-Й.Ю. Кажис, д-р техн. наук В.Н. Данилов, д-р техн. наук А.А. Самокрутов, д-р техн. наук В.Г. Шевалдыкин, д-р техн. наук В.М. Ушаков, д-р техн. наук В.М. Бобренко, д-р техн. наук, проф. И.В. Соколов, д-р техн. наук, проф. Г.М. Сучков, канд. техн. наук В.А. Бобров, д-р техн. наук В.Г. Бадалян, д-р техн. наук, проф. В.В. Муравьев, д-р техн. наук, проф. В.В. Коннов, д-р техн. наук, проф. В.В. Мишакин, д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Комаров, канд. техн. наук Л.В. Воронкова, канд. техн. наук В.Ф. Тарабрин и многие другие.

Серьезный вклад в исследования методов, разработку и промышленное производство средств УЗ-неразрушающего контроля внесли созданные в г. Кишиневе завод «Электроточприбор» (1959 г.), СКБ ультразвуковой дефектоскопии (1961 г.), Всесоюзный научно-исследовательский институт по разработке неразрушающих методов и средств контроля качества материалов (ВНИИНК, 1963 г.) и созданный в 1964 г. в г. Москве Научно-исследовательский институт интроскопии (НИИИН).

Необходимо отметить большую роль зарубежных специалистов, способствовавших развитию и совершенствованию акустических и ультразвуковых методов и аппаратуры неразрушающего контроля, таких как: Г. Лэмб, Р. Гук, Л. Бергман, Е. Скучик, Э. Шейл, И. Кайзер, Б.Х. Скофилд., Ф. Мурнаган, Е. Депутат и др. Развитию методов и разработке высокоэффективной аппаратуры УЗ-контроля способствовали исследования и разработки И. и Г. Крауткремеров, Я. Образа, Е.П. Пападакиса, Дж. Алерса, Р.Б. Томпсона и др. Ультразвуковые методы являются наиболее широко применяемыми в НК материалов, деталей, узлов, соединений, конструкций и сооружений. На их основе разработаны приборы и системы для дефектоскопии, толщинометрии, тензометрии, томографии, голографии, структуроскопии, контроля напряженно-деформированного состояния, шероховатости поверхности, измерения вибрации и др. [22–129].

Ученые-изобретатели из научных школ России

...Страна без бюро патентов и без твердых законов, защищающих права изобретателей, подобна раку, который может двигаться только вбок или назад.

Марк Твен

«Янки при дворе короля Артура»

Расширенное использование УЗ-методов контроля инициировало формирование целого ряда направлений и создание научных школ, к которым относятся школы ЛЭТИ, ЦНИИТМАШ, ВИАМ, НИИ мостов, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИИХИММАШ, ВНИИНК, НИИИН, МЭИ и др.

Научная школа — оформленная система научных взглядов, а также научное сообщество, придерживающееся этих взглядов. Научная школа образует ту динамическую

единицу науки, которая обеспечивает преемственность научного знания и создает оптимальные условия для его развития. Она может формироваться неформально или в рамках институциональных единиц — академических кафедр учебных заведений, отделов научно-исследовательских организаций, профессиональных объединений ученых [<http://library.sibsui.ru/DATA/LibrScienceSchools/4.pdf>].

Представителями этих научных школ были выполнены исследования и созданы принципиально новые приборы, преобразователи и установки ультразвукового контроля на базе изобретений [130–145].

Научная школа ЛЭТИ

Научная школа ЛЭТИ, созданная С.Я. Соколовым, внесла значительный вклад в развитие ультразвуковой дефектоскопии, нашедшей широкое применение в промышленности. После смерти С.Я. Соколова в 1957 г. кафедрой электроакустики возглавил его ученик, известный в России и за рубежом ученый Лев Григорьевич Меркулов, доктор физико-математических наук, профессор.

Под его руководством начались разработки автоматизированных систем НК толстолистового горячекатаного проката, основанных на теневом методе дефектоскопии, предложенном С.Я. Соколовым еще в 1928 г. Пуск первой такой установки УЗУЛ-01 состоялся в 1961 г. на Нижнетагильском металлургическом комбинате. Л.Г. Меркулов стал инициатором ряда направлений научно-исследовательских работ по физике распространения упругих волн в анизотропных материалах, рассеянию и поглощению ультразвука в поликристаллических материалах, распространению волн в ограниченных средах, анализу работы многослойных электроакустических преобразователей, поиску новых высокочувствительных методов контроля. Эти работы привели к решению крупных научных задач и к созданию новых аппаратных средств.

Под его руководством происходило становление нового научного направления — физической акустики твердого тела и кристаллоакустики. Одним из результатов его исследований явилось создание прибора, позволяющего осуществлять контроль за содержанием примесей в высокочистых металлах. Он разработал теоретические основы ультразвуковых слоистых преобразователей с активным слоем, используемых в гидроакустике и дефектоскопии; многослойных пьезопреобразователей, опубликовал более 100 научных работ, в том числе получил 16 авторских свидетельств и 6 зарубежных патентов на изобретения [130, 131 и др.], печатался в журналах и периодических изданиях («Теоретическая физика», «Акустический журнал», «Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры», «Физика твердого тела», «Известия ЛЭТИ», «Физика металлов и металловедение», «Журнал технической физики» и др.). Л.Г. Меркулов был членом редколлегии журналов «Дефектоскопия», «Ульт-



Л.Г. Меркулов



Д.С. Шрайбер

развукковая техника», Совета по физике ультразвука при АН СССР. Он подготовил более 20 кандидатов наук, читал лекции в Англии, Болгарии, Польше, участвовал в международных акустических конгрессах в Копенгагене, Токио, Париже.

Яркими продолжателями дела С.Я. Соколова также были ученые-изобретатели д-р физ.-мат. наук, проф. Александр Владимирович Харитонов, д-р техн. наук, проф. Сергей Константинович Паврос и возглавляющий кафедру электроакустики и ультразвуковой техники в настоящее время д-р техн. наук, проф. Константин Евгеньевич Аббакумов.

Научная школа ВИАМ

В начале 40-х гг. XX в. начались работы по неразрушающему контролю в ВИАМе. Основателем этого направления и научной школы ВИАМ в области неразрушающего контроля был д-р техн. наук Д.С. Шрайбер, разработавший в те годы установку для контроля пропеллеров. В лаборатории Д.С. Шрай-



Ю.В. Ланге

бера была разработана аппаратура для ультразвукового контроля, под его руководством было организовано внедрение УЗ-контроля в авиационную промышленность. В ВИАМе были разработаны и внедрены на заводах отрасли методики УЗ-контроля наиболее ответственных полупроизводителей и деталей самолетов, вертолетов и двигателей. По результатам исследований и изобретений [132 и др.] Д.С. Шрайбера во ВНИИНКе были разработаны ультразвуковые дефектоскопы, выпускавшиеся заводом «Электроточприбор», г. Кишинев. Значительный вклад в разработку аппаратуры и методик УЗ-контроля внесли изобретатели – сотрудники ВИАМ: Г.В. Пророков, Ю.В. Ланге, Н.В. Бабкин, Б.Г. Голодаев, С.Е. Барышев, М.П. Уральный и др.

Одним из организаторов и руководителей научного направления «Физические методы неразрушающего контроля» в авиакосмической промышленности был д-р техн. наук, проф. Александр Кириллович Денель, который прошел путь от начальника сектора до заместителя начальника ВИАМ. Под его руководством в лаборатории неразрушающего контроля выполнялись работы по совершенствованию теории ультразвукового и других методов неразрушающего контроля. А.К. Денель – автор более 150 печатных работ и 39 авторских свидетельств. Почетный авиастроитель.

Научное направление по НК многослойных конструкций в 1957 г. возглавил ученый из ВИАМ Юлий Викторович Ланге. Тогда в авиации начали применять сотовые

конструкции, и вывод о необходимости поиска решения в применении низкочастотных изгибных колебаний для их контроля явился ответом на запросы промышленности. Ознакомившись с работами сотрудника Акустического института АН СССР д-ра физ.-мат. наук, проф. А.В. Римского-Корсакова в области исследования свойств музыкальных инструментов и измерения механических импедансов корпусов кораблей, Ю.В. Ланге предложил принципиально новый метод контроля по оценке реакции ОК на преобразователь, возбуждающий в наружном слое изгибные волны звуковых частот, названный им импедансным.

Реализацией метода стало устройство для контроля качества и однородности склейки изделий [133] на основе определения механического импеданса контролируемого изделия (рис. 4). Устройство содержит пьезопреобразователь (шуп), включающий в себя возбуждающий 1 и приемный 2 пьезоэлементы, размещенные на звукопроводящем стержне 3 и подключенные к генератору 4 и усилителю 5 соответственно. К пьезоэлементу 2 прикреплена фигурная насадка 6, контактирующая с объектом контроля 7. Результаты контроля регистрируются индикатором 8 и сигнальным устройством 9.

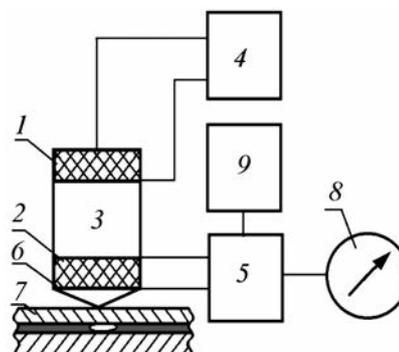


Рис. 4. Схема импедансного дефектоскопа

В исследованиях импедансного метода и разработке опытного образца дефектоскопа принимали участие З.И. Манаева, В.Д. Давыдов и др. С принципиально новым – импедансным методом контроля многослойных конструкций автору настоящего обзора довелось познакомиться в далеком 1960-м году, когда Ю.В. Ланге привез свой прибор под названием «ИКС» (испытатель клеевых соединений) на завод «Электроточприбор», г. Кишинев. Специалистами завода была выпущена опытная партия импедансного акустического дефектоскопа ИАД-1 (В.Т. Бобров и др.) и разработана новая конструкция электронного блока дефектоскопа ИАД-2 (А.Д. Гольден, С.Л. Яковис). С участием специалистов завода (С.М. Шварцман и др.) был разработан более совершенный вариант – дефектоскоп ИАД-3. Всего примерно за 10 лет было выпущено около 1 тыс. импедансных дефектоскопов.

Как вспоминает Юлий Викторович, до 1973 г. импедансный метод применялся только в СССР, однако после показа в 1972 г. дефектоскопа ИАД-3 на выставке в Лондоне, в 1973 г. британская фирма Inspection Instruments объявила о разработке дефектоскопа AFD-2, представ-

лявшего практически точную копию ИАД-3, но выполненную на полупроводниках. С тех пор импедансный метод используется за рубежом под названием Mechanical Impedance Analysis (MIA) Method.

Наряду с импедансным в 1962 г. Ю.В. Ланге предложил велосиметрический метод НК, в основе которого лежит использование дисперсии скорости распространения антисимметричной волны Лэмба. Дефекты определяются по изменению фазы или времени распространения упругих волн. В исследовании велосиметрического метода принимали участие В.В. Мурашов, Н.В. Шишкина и др. Велосиметрический дефектоскоп УВФД-1, разработанный в 1965 г. совместно с ВНИИНК (канд. техн. наук С.А. Филимонов, В.В. Пахомов), в конце 1960-х гг. серийно выпускался заводом «Электроточприбор», г. Кисинев. Первые сведения о применении велосиметрического метода за рубежом появились лишь в 1970 г. (приборы Sondicator, Harmonic Bondtester и др.). Ю.В. Ланге теоретически и экспериментально исследовал динамическую гибкость сухого точечного контакта, которая определяет эксплуатационные возможности низкочастотных методов контроля, усовершенствовал локальный метод свободных колебаний, разработал и исследовал несколько типов преобразователей низкочастотных акустических дефектоскопов.

Более 45 лет посвятил ВИАМу преемник Ю.В. Ланге д-р техн. наук В.В. Мурашов, работая по направлениям «Неразрушающий контроль многослойных клееных конструкций и изделий из полимерных композиционных материалов» и «Диагностика состава, структуры и свойств полимерных композиционных материалов». Разработки ученого использованы при создании материалов и изготовлении деталей и конструкций почти всех известных советских и российских самолетов. В.В. Мурашов участвовал в создании более десятка акустических приборов, подготовил свыше четырех десятков отраслевых методических документов, разрабатывал методики контроля самолетов Су-37, Су-47, Ил-86, Ил-96-300, Ту-154, Ту-204, Ан-124, МиГ-25, Як-42 и др. Он являлся ответственным исполнителем по неразрушающему контролю жесткой теплозащиты многоэтажного космического корабля «Буран». В.В. Мурашов – автор более 120 опубликованных научных работ и 30 изобретений.

Научная школа ЦНИИТМАШ

Основателем и первым руководителем научной школы ЦНИИТМАШ по ультразвуковому контролю является канд. техн. наук Алексей Сергеевич Матвеев, организовавший одну из первых в России лабораторию ультразвуковой дефектоскопии. Под его руководством и при непосредственном участии разработаны УЗ-импульсный дефектоскоп с входным аттенуатором, наклонный пьезопреобразователь, впервые обеспечивший возможность контроля сварных швов [134]. В 1951 г. А.С. Матвеевым, Ю.В. Богословским, В.Д. Королевым, М.Ф. Краковяком и В.В. Рахмановым был создан один из первых в СССР массовых дефектоскопов УЗД-7.

Вместе с С.Я. Соколовым за изобретение ультразвукового микроскопа, усовершенствование и промышленное

освоение методов ультразвуковой дефектоскопии А.С. Матвеев был удостоен Сталинской премии за 1951 г. Учеными отдела неразрушающих методов исследования металлов (ОНМИМ) ЦНИИТМАШ проведены теоретические разработки, и на их основе созданы уникальные приборы и установки для контроля обечаек атомных реакторов в процессе их механообработки, основного металла и сварных соединений сосудов для атомных станций, трубных соединений и т.д. Институт одним из первых начал разработку метода акустической голографии. По-настоящему творческая и дружеская атмосфера, созданная А.С. Матвеевым в ОНМИМ, способствовала результативной работе коллектива и научному росту его сотрудников.

Выдающийся вклад в развитие теории методов УЗ-дефектоскопии внес д-р техн. наук, проф. И.Н. Ермолов. Окончивший с первых лет работы в проблематику научных и практических задач, стоявших перед ОНМИМ, Игорь Николаевич Ермолов с энтузиазмом включился в их решение.

Одним из наиболее известных результатов его деятельности явилось исследование акустического тракта. Им предложен и исследован метод расчета акустического тракта для основных типов дефектов на основе представлений лучевой акустики и энергетических оценок, разработан упрощенный способ расчета акустического поля наклонного преобразователя на основе представления о мнимом пьезоэлементе, широко используемом для инженерных оценок. В ряде его работ рассчитаны АРД-диаграммы и описано их применение для прямых преобразователей, исследованы особенности использования АРД-диаграмм для наклонных преобразователей.

Эти исследования явились, как отмечалось выше, результатом целенаправленного труда ученого и изобретателя. Наиболее ярко о побудительных причинах их проведения И.Н. Ермолов рассказал в своих «дефектоскопических историях», обобщенных в книге о нем [129]. И.Н. Ермолов – автор большого научного наследия: свыше 280 работ – монографий, учебных пособий, статей, изобретений [135 и др.], фактически создавший современную теорию УЗ-контроля. Его труд отмечен государственными наградами, он – Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Среди его учеников доктора и кандидаты наук, широко известные своими исследованиями и изобретениями.

Одним из учеников и соратников И.Н. Ермолова является В.Г. Щербинский. Совместно с И.Н. Ермоловым он выполнил цикл исследований, результатом которых



А.С. Матвеев



И.Н. Ермолов



А.К. Гурвич

явилось впервые в мировой практике создание объективных критериев оценки качества сварных соединений на основе анализа информации, получаемой при УЗ-контроле без привлечения дополнительных методов, прежде всего радиографирования. На основе этих норм в 1966 г. была создана общесоюзная инструкция МВУ-5-66, которая впервые в мире разрешила и узаконила проведение слаточной оценки качества тепломеханического оборудования тепловых электростанций по

результатам УЗ-контроля. За рубежом подобные нормы оценки качества и инструкции появились на много лет позже.

В числе выполненных им исследований – изучение полей рассеяния реальных дефектов с учетом случайного характера отражателя, отражательных характеристик реальных трещин. Он обнаружил ряд не изученных ранее физических явлений, в частности влияние вектора поляризации УЗ-пучка на характер индикатрисы поля рассеяния, которое имеет важное значение для практики контроля, выявил значимые, измеряемые в числовой форме, информативные признаки дефектов различного морфологического типа, на основе чего предложил объективные методы распознавания их типа, в частности коэффициент формы. Впервые им была разработана методика дифференцированной оценки качества швов в зависимости от потенциальной опасности дефекта, вошедшая в нормативные документы, ГОСТ 14782–78 и ГОСТ 14782–86.

В.Г. Щербинским выполнен комплекс исследований по влиянию шероховатости и волнистости поверхности контролируемого объекта на достоверность УЗ-контроля, разработаны специальный датчик для измерения интегральной неровности поверхности объекта при УЗ-контроле и соответствующая методика корректировки чувствительности дефектоскопа. Датчик и методика внедрены более чем на 300 предприятиях страны. Им предложен новый эхо-зеркальный метод УЗ-контроля, совместно с учениками разработаны теоретические основы и получены уравнения акустического тракта. Разработанная им обобщенная математическая модель оценки достоверности УЗ-контроля сварных швов с учетом реальных отражательных характеристик дефектов различного морфологического типа, параметров контроля, типа акустической системы, качества поверхности и т.д. положена в основу создания нового класса УЗ-преобразователей, приборов, установок и технологических процессов.

Под его руководством разработаны и внедрены в промышленность: процессорные УЗ-дефектоскопы, УЗ-толщинометры, установки для автоматизированного и механизированного контроля. На оригинальные технические решения В.Г. Щербинским и его сотрудниками получено около 60 авторских свидетельств и патентов на изобретения [135, 136 и др.]. Им опубликованы лично и в соавторстве 15 монографий и учебных пособий, более

150 статей и докладов в российских и иностранных журналах (Англия, Германия, Югославия, Болгария и др.). Указом Президента РФ В.Г. Щербинскому присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Исследования ранее не известных в УЗ-дефектоскопии головных волн, выполненные канд. техн. наук Николаем Павловичем Разыграевым совместно с И.Н. Ермоловым, обеспечили решение ряда актуальных задач УЗ-контроля сварных швов оборудования атомной отрасли. В 1986–1987 гг. Николай Павлович принял участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В течение многих лет он оказывает техническое содействие АО «Атомстройэкспорт» в аттестации систем и методик контроля, в обучении индийских специалистов работе на поставленном оборудовании по российским методикам, организации и проведении контроля оборудования блоков АЭС «Куданкулам». Интересные работы были выполнены под его руководством в сотрудничестве с акад. РАН Н.П. Алешиним и А.Н. Разыграевым по контролю исторических колоколов Даниловского монастыря со сложной бронзовой конструкцией, доставленных из Гарварда (США).

Н.П. Разыграев является автором 144 научных трудов и публикаций, в том числе 14 авторских свидетельств СССР и четырех патентов на полезные модели России [138 и др.]. Труд ученого высоко оценен, он является лауреатом премии Правительства РФ в области науки и техники, награжден Орденом Мужества, медалью «Участник ликвидации последствий аварии на ЧАЭС», медалями ВДНХ и нагрудными знаками атомной отрасли. Среди учеников и соратников И.Н. Ермолова ученые-изобретатели: д-р техн. наук, проф. Алексей Харитонович Вopilкин, д-р техн. наук Вадим Николаевич Данилов, д-р техн. наук Валентин Михайлович Ушаков, канд. техн. наук Любовь Владимировна Воронкова, канд. техн. наук Борис Петрович Пилин и др. К их когорте относится и автор настоящей статьи.

Научная школа НИИ мостов

Признанную в мире научную школу НИИ мостов создал профессор Анатолий Константинович Гурвич, под руководством и при участии которого созданы общая теория НК, новые принципы, методы и средства УЗ-дефектоскопии, широко используемые на железнодорожном транспорте и в строительной индустрии; создана система и учебно-методическая база модульной подготовки, переподготовки и сертификации специалистов в области НК. Проф. А.К. Гурвич – автор более 240 опубликованных работ: 15 монографий, учебников и справочников, более 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения [137 и др.].

А.К. Гурвичем впервые в СССР поставлены и развернуты теоретико-экспериментальные исследования и разработки по стандартизации в области УЗ-дефектоскопии, введено понятие, определены и исследованы основные параметры методов УЗ-контроля, разработаны способы и стандартные образцы для их настройки и проверки. Результаты положены в основу разработанных под руководством проф. А.К. Гурвича первых в СССР ГОСТ

14782–69 на УЗ-контроль сварных соединений и единственного в мировой практике ГОСТ 18576–73 на УЗ-контроль рельсов, РД 3220–92 и РД 3239–94 на стандартные образцы.

Признанием значимости работ проф. А.К. Гурвича в области стандартизации НК является награждением его знаком «За заслуги в стандартизации» и утверждение его в 1988 г. руководителем подкомитета ПК-2 «Акустический контроль» ТК 371 Госстандарта РФ.

Под руководством проф. А.К. Гурвича защищены две докторские и девять кандидатских диссертаций, выпущено более 500 специалистов в области НК, деятельность проф. А.К. Гурвича отмечена знаком «За отличные успехи в работе» Минвуза СССР.

С 1990 г. проф. А.К. Гурвич – президент созданного АН СССР и Минвуза СССР Национального аттестационного комитета СССР (России) по НК, в результате деятельности которого создана российская система сертификации, включающая 24 аттестационных центра, и сертифицировано более 5000 специалистов. Вклад проф. А.К. Гурвича в становление систем НК на железнодорожном транспорте и в строительной индустрии отмечен награждением его знаком «Почетный железнодорожник», медалью «Рентген–Соколов», он лауреат Премии Совета Министров СССР, член-корреспондент Академии транспорта России. В течение многих лет он был вице-президентом РОНКТД, главным редактором журнального обозрения «В мире неразрушающего контроля», членом редколлегии журнала «Дефектоскопия» РАН (Пасси Г. Перечитывая Гурвича... // В мире НК. 2017. Т. 20. № 1. С. 4–7).

Среди его учеников – ученые-изобретатели д-р техн. наук, проф. Г.Я. Дымкин – зав. кафедрой, д-р техн. наук А.А. Марков, канд. техн. наук Л.И. Кузьмина, канд. техн. наук С.Р. Цомук, канд. техн. наук Н.А. Кусакин, ст. преподав. А.В. Давыдкин, канд. техн. наук, доц. Р.С. Коновалов, канд. техн. наук, доц. В.Н. Коншина, доц. К.С. Паврос, канд. техн. наук, доц. А.В. Шевелев и др.

Научная школа НИИхиммаш

Исследования и разработка новых методик и технических средств НК сварных швов с середины 1950-х гг. выполнялись в НИИ химического машиностроения (НИИхиммаш) под руководством канд. техн. наук, проф. Н.В. Химченко и канд. техн. наук В.А. Боброва. Впервые осуществил контроль сварных швов с помощью наклонного преобразователя Николай Васильевич Химченко на Ангарском нефтехимическом комбинате.

В 1955–1957 гг. НИИхиммаш совместно с институтом электросварки (ИЭС) им. Е.О. Патона были разработаны методы и средства для контроля электрошлаковых швов большого сечения, определены оптимальные параметры контроля этих швов, разработана методика контроля. При создании методов и аппаратуры УЗ-контроля сварных соединений сосудов давления НИИхиммаш совместно с ВНИИНК были решены сложные методические вопросы выбора оптимальных условий обнаружения дефектов. Для контроля прочности биметаллических соединений, выполненных сваркой «взрывом», разработан прибор «Биметалл-3» (канд. техн. наук Н.В. Виногорадов, канд. техн. наук, проф. Н.В. Химченко, канд.

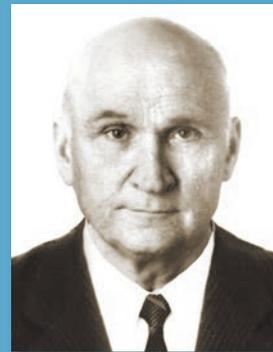
техн. наук В.А. Бобров и др.). Для автоматизированного контроля качества сварных соединений химической и нефтяной аппаратуры совместными усилиями машиностроителей и приборостроителей были созданы и эксплуатировались установки УКСА-04М и УКСА-05С для контроля сосудов и аппаратов, в состав которых вошла типовая установка УД-81УА и УЗ-преобразователи (канд. техн. наук В.Д. Коряченко, канд. техн. наук И.И. Фак и др.). Механизированный контроль обеспечила также разработанная во ВНИИНК малогабаритная установка типа УД-91ЭМ (канд. техн. наук В.А. Чегоринский и др.).

Одно из главных направлений работ НИИхиммаш – УЗ-контроль структуры металлов. Метод структурного анализа основан на влиянии структуры на затухание УЗ-волн. Структурные анализаторы, разработанные ВНИИНК по заданию НИИхиммаш, – ДСК-1, АСК-1, УС-10И, УС-11И, УС-12ИМ, УС-13И (канд. техн. наук В.А. Токарев, канд. техн. наук Н.А. Кеслер, И.А. Коврик и др.) – серийно выпускались Кишиневским заводом «Электроточприбор» и были запатентованы в Великобритании, Японии, Бельгии и других странах. Н.В. Химченко – автор 170 научных работ и 30 изобретений [138 и др.], В.А. Бобров – автор монографии, 140 научных работ, 12 авторских свидетельств и двух патентов на изобретения.

Научная школа ВНИИНК

Научная школа ВНИИНК как школа научного приборостроения в области УЗ-неразрушающего контроля базировалась на достижениях отечественных исследователей С.Я. Соколова, Л.Г. Меркулова, Д.С. Шрайбера, И.Н. Ермолова, В.В. Клюева, А.К. Гурвича, И.А. Викторова, Ю.М. Шкарлета и др.

С 1971 по 1993 гг. институт возглавлял Виталий Николаевич Соседов. Являясь главным конструктором Минприбора СССР по разработке средств ультразвукового неразрушающего контроля (УЗНК), он внес существенный вклад в организацию разработки и масштабного промышленного производства массовых приборов УЗНК, таких как: дефектоскопы УД2-12, толщиномеры УТ-93П, приборы для контроля физико-механических свойств УК-10ПМС, рельсовые дефектоскопы типа «ПОИСК» и др., многие из которых до настоящего времени эксплуатируются и заслуженно пользуются популярностью у специалистов многих отраслей народного хозяйства.



Н.В. Химченко



В.А. Бобров



В.Н. Соседов

При его активном участии разрабатывались первые государственные стандарты на ультразвуковые дефектоскопы, толщиномеры и преобразователи к ним, методики и технология ультразвуковой дефектоскопии ответственных конструкций и сооружений, создавалась нормативная база УЗНК. В течение многих лет В.Н. Соседов руководил рядом крупных работ по программам международного сотрудничества в области неразрушающего контроля и технической диагностики, активно содействовал профессиональному росту ученых института, его научный вклад в развитие ультразвуковых методов контроля высоко ценит научно-техническая общественность, он удостоен Премии Совета Министров СССР.

Сотрудники ВНИИНК выполнили серьезные исследования в области теории пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) и методов измерения их параметров. Была разработана общая теория линейного обратимого электроакустического преобразователя, включающая в себя теорию многоэлементных преобразователей. Были предложены новые, теоретически обоснованные методы измерения параметров преобразователей, разработана новая технология изготовления ПЭП (д-р физ.-мат. наук М.Б. Гитис, канд. техн. наук Ф.И. Исаенко, канд. техн. наук А.Ф. Мельканович, канд. техн. наук В.В. Сажин и др.).

По результатам выполненных исследований были разработаны и серийно выпускались дефектоскопы общего назначения, толщиномеры, измерители времени распространения УЗ-колебаний, специализированные приборы УЗ-контроля структуры, измерения напряжений и др. (канд. техн. наук Г.Т. Бордюгов, канд. техн. наук В.А. Токарев, канд. техн. наук Н.А. Кеслер, канд. техн. наук С.А. Филимонов, канд. техн. наук А.Д. Гольден и др.). Исследования акустических методов контроля толщины изделий и конструкций с различной степенью коррозионного поражения, изменяющейся кривизной и шероховатостью поверхности проведены канд. техн. наук А.А. Приницким, канд. техн. наук В.А. Калининим, Л.Б. Цеслером, В.Л. Тарасенко и др.).

На базе исследований проф. А.К. Гурвича во ВНИИНК был выполнен комплекс НИОКР по совершенствованию методов и средств УЗ-дефектоскопии рельсов в пути (канд. техн. наук В.А. Лончак, канд. техн. наук П.Ф. Шаповалов, А.И. Бондаренко, М.П. Брандис, Д.С. Банку и др.). В результате многолетней совместной работы НИИ мостов, ВНИИНК и ПО «Волна» на железных дорогах страны успешно использовались исключительно средства отечественного производства для УЗ-дефектоскопии рельсов.

Во ВНИИНК в содружестве с ЦНИИС (М.В. Гершберг, С.В. Илюшин и др.), ЦНИИСМ (Д.А. Рапопорт, Ю.Г. Кутюрин и др.) разрабатывались приборы и установки автоматизированного и механизированного конт-

роля лопастей гребных винтов из стеклопластика (В.Т. Бобров, В.И. Минаков, Ж.Г. Никифоренко и др.), обечаек большого диаметра из ПКМ (В.М. Бобренко, В.В. Рябов, В.В. Игнатъевский и др.). Разработка методик и аппаратуры для оценки прочности бетона в нашей стране в течение нескольких десятилетий проводилась силами нескольких организаций: ВНИИЖБ, МИСИ (Москва), НИИСК (Киев), ВНИИНК (Кишинев), НИИИИИ и др.

Во ВНИИНК были созданы и первые микропроцессорные измерители скорости распространения УЗ-колебаний УФ-10П и УК-10ПМС (д-р техн. наук В.М. Бобренко, В.В. Рябов, В.В. Игнатъевский и др.), выпускавшиеся ПО «Волна» большими партиями.

Акустический метод определения прочности бетона введен в государственные стандарты и широко внедрен в строительстве.

Новизна технических решений, положенных в основу разрабатываемых приборов, подтверждалась авторскими свидетельствами и патентами на изобретения [139 и др.]. По результатам исследований ученых ВНИИНК был сформирован ряд научных направлений УЗ-неразрушающего контроля.

Научное направление по проблемам автоматизированного ультразвукового контроля качества сварных соединений во ВНИИНК в течение длительного времени возглавлял автор настоящего обзора. Разработанные специалистами ВНИИНК (В.Т. Бобров, Ю.А. Дружаев, О.Р. Заборовский, В.Д. Коряченко, А.А. Ткаченко, В.Г. Перлатов, М.И. Майзенберг, В.У. Мошкович и др.) установки автоматизированного контроля качества сварных швов в поточных линиях трубоэлектросварочных станций УТК-СТ1, УД-82УА, УД-78БМ были поставлены металлургическим предприятиям. Установки УД-82УА, ДУК-70М и другие длительное время выпускались заводом «Электроточприбор» ПО «ВОЛНА», г. Кишинев, (всего выпущено более 140 установок), внедрены на российских заводах – Челябинском трубопрокатном, Выксунском металлургическом, Волжском трубном, на украинских – Новомосковском и Харцызском трубных и др. Более 15 лет использовалась на Новомосковском трубном заводе (Украина) разработанная совместно с ЦЛАМ Укрглавтрубостали (канд. техн. наук А.В. Малинка, Б.В. Костюков и др.) установка ДУК-15 ЦЛАМ для технологического контроля сварки труб в поточной линии трубоэлектросварочного стана 159-529.

В рамках экспортного заказа совместно с Электростальским заводом тяжелого машиностроения ВНИИНК в 1974–1975 гг. были разработаны и поставлены металлургическим заводам Румынии (г. Яссы) и Болгарии (г. Септември) установки «АИСТ-2» и ДУК-70 для автоматизированного ультразвукового контроля сварных швов.

Для автоматизированного контроля качества сварных соединений химической и нефтяной аппаратуры разработана типовая установка УД-81УА (В.Д. Коряченко, А.А. Ткаченко, И.И. Фак и др.). Несколько лет установки «БУР-1М» и «Атлант-3» (М.Я. Любчик, Д.А. Кривенков, Г.И. Шалашов и др.) эксплуатировались Кольской геологической экспедицией сверхглубокого буре-

ния, что повысило надежность буровых работ и увеличило сроки службы бурильных труб. Достигнутая глубина скважины превысила 11 км и явилась рекордной. Всего потребителям – предприятиям нефтяной промышленности и металлургии поставлено около 200 этих установок. Внедрение ультразвуковых методов контроля в производстве нефтегазопроводных, бурильных и обсадных труб способствовало совершенствованию технологического процесса и повысило качество труб, их надежность в эксплуатации. Большое значение имел опыт специалистов отраслевых институтов в ускорении освоения и совершенствовании методов и средств контроля в металлургической промышленности (ВНИТИ – канд. техн. наук А.Т. Николаенко, канд. физ.-мат. наук А.П. Стипура, ведущий специалист В.С. Загоруйко и др.; ЦНИИ-Чермет – Н.Н. Тимошенко, В.С. Урусов и др., ВНИИА-Чермет – А.А. Акимов). Новизна технических решений, использованных при создании установок, подтверждается более чем 30 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

Научное направление по исследованию метода акустической тензометрии предложил и возглавил ученый-изобретатель д-р техн. наук Вячеслав Михайлович Бобренко (ВНИИ НК). Совместно со специалистами НПО «Энергомаш им. акад. В.П. Глушко» (канд. техн. наук А.С. Рудаков, А.В. Гульшин и др.) и Одесского политехнического института (заслуженный деятель науки и техники Украины, акад. АН высшей школы Украины, д-р техн. наук, проф. А.Н. Куценко и др.) специалистами института ВНИИ НК проведены исследования метода акустической тензометрии разъемных соединений, позволившие разработать на уровне изобретений [140 и др.] новый класс УЗ-приборов НК конструкций ответственного назначения.

На базе выполненных исследований ВНИИ НК была разработана гамма акустических тензометров, а внесенный в Государственный реестр средств измерений тензометр УП-31Э («АКОН-4») с комплектом УЗ-преобразователей с 1985 г. серийно выпускался заводом «Электроточприбор» ПО «Волна», г. Кишинев, (выпущено более 120 приборов) и нашел практическое применение в сборочных цехах предприятий аэрокосмического энергомашиностроения. Благодаря применению метода акустической тензометрии затяжки разъемных соединений полностью ликвидированы отказы жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) по протечкам и нарушению герметичности.

Двигатели производства ОАО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко» устанавливались на ракетах «Зенит» и на боевых межконтинентальных баллистических ракетах. ЖРД РД-170 использовался для самой мощной в мире ракеты «Энергия», выводившей на орбиту советский космический самолет «Буран». Проект двигателя РД-180, разработанного под руководством академика РАН Б.И. Каторгина с использованием технологии акустической тензометрии, в январе 1996 г. был признан победителем конкурса по разработке и поставке двигателей для американских ракет-носителей «Атлас III» и «Атлас V». 19 января 2006 г. с американского космодрома на мысе Канаверал успешно стартовала ракета «Атлас V» с автоматической межпланетной станцией НАСА (зондом New Horizons – «Новые горизонты» к планете Плутон.

Разработанный под руководством автора настоящей статьи и введенный в действие с 2010 г. государственный стандарт ГОСТ Р 52889–2007 «Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля усилия затяжки резьбовых соединений. Общие требования» является первым нормативным документом, регламентирующим применение метода акустической тензометрии (В.Т. Бобров, В.М. Бобренко, А.В. Гульшин, В.Н. Козлов, А.Л. Углов и др.).

В настоящее время с участием проф. В.Т. Боброва, д-ра техн. наук В.М. Бобренко, А.В. Гульшина и других специалистов успешно выполняются исследования по созданию безэталонного метода акустической тензометрии затяжки разъемных соединений на базе применения ЭМАП.

Научное направление в области создания бесконтактных (электромагнитно-акустических) способов УЗ-контроля электропроводящих материалов развивалось на базе серьезных достижений советских и российских ученых-изобретателей. С 1966 г. Ю.М. Шкарлет, С.Н. Шубаев (НИИИИ), А.В. Малинка (НИИАЧермет, г. Днепропетровск), Г.М. Сучков (ХПИ, г. Харьков), С.Ю. Гуревич (ЮЖГТУ), В.А. Комаров (Физико-технический институт УРО РАН), Ю.И. Сазонов (МГУПИ) и Г.А. Буденков, Б.А. Буденков, В.Т. Бобров, Н.А. Глухов, Ж.Г. Никифорова, П.Ф. Шаповалов, М.Д. Каплан, М.И. Майзенберг и др. (ВНИИ НК) проводят исследования электромагнитно-акустических (ЭМА) способов возбуждения и приема объемных и нормальных волн. Их усилиями разработана теория и созданы ЭМА-преобразователи с постоянным и импульсным подмагничивающими полями, работающие в широком диапазоне частот и температур и обеспечивающие возбуждение и прием всего спектра УЗ-волн, используемых в НК.

Интересно отметить, что предшественницей бесконтактного (ЭМА) метода явилась одна из работ А. Эйнштейна, посвященная исследованию пондеромоторных сил, действующих на ферромагнитные проводники с током, помещенные в магнитное поле (Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. III. М., 1966. С. 240). Первое изобретение Ю. М. Шкарлета, Н. Н. Локшиной и Ю. И. Сазонова получило название «Бесконтактный пондеромоторно-акустический преобразователь» [141].

В 1971–1975 гг. В.Т. Бобров, Ю.А. Дружаев, Н.А. Лебедева, Ю.Б. Свиридов, М.И. Майзенберг, В.У. Мошкочевич, М.Д. Каплан и др. (ВНИИ НК) исследовали способы ЭМА-возбуждения нового для УЗ-дефектоскопии типа сдвиговых горизонтально-поляризованных нормальных волн и впервые использовали их в дефектоскопии. Новизна указанных решений подтверждается авторскими свидетельствами СССР и патентами, полученными в США [142 и др.], Великобритании, Германии, Франции и Японии, и проданной в Германию лицензией. Исследования импульсного подмагничивания, также выпол-



В.М. Бобренко

ненные во ВНИИНК (д-р техн. наук В.Т. Бобров, Ж.Г. Никифоренко, канд. техн. наук П.Ф. Шаповалов, М.И. Майзенберг, В.У. Мошкович, В.Г. Успенский и др.), обеспечили эффективное возбуждение различных типов УЗ-волн при существенном снижении массы и габаритов ЭМА-преобразователей.

Результаты исследований советских ученых оценили за рубежом. Так, в статье Russian progress spurs US (Ultrasonics. 1975. Vol. 13. No. 3. P. 99) отмечалось: «Успехи русских в развитии электромагнитно-акустического ультразвука (ЭМА) вынуждают американское министерство обороны, по сообщению НИАС, расширять усилия в этой области. Этот доклад подтверждает тот факт, что в США работы по ЭМА ведутся спорадически, тогда как в СССР они ведутся широко и ЭМА-разработки применяются в промышленном производстве». На основе исследований ЭМА-возбуждения и приема УЗ-колебаний усовершенствованы способы НК металлоконструкций и проката, измерения толщины при различных температурах, созданы принципиально новые способы контроля акустической анизотропии листового проката, штампуемости металлов, измерения напряженного состояния материала деталей машин.

Вот что писал в 1994 г. в письме авторам патента ВНИИНК, полученного в США [142], Paul Davidson, President WIS, Inc. (США): «I have recently come across a copy of your US Patent # 4,100,809. Let me first begin by saying that this is an exceptional patent both in its scope and the clarity of detail it provides. I am also quite impressed by the level of EMAT (electromagnetic acoustic transducer) knowledge displayed in the patent, especially considering the date of the original work. Much of your work precedes the work of the Rockwell group done in the early 1980s that set the precedent for much of the JEMAT work in the US since 1980». (Я недавно обнаружил ваш патент США № 4100809. Прежде всего, позвольте мне начать с того, что это исключительный патент по своему содержанию и ясности детального изложения. Я также нахожусь под впечатлением уровня знаний об электромагнитно-акустических преобразователях (ЭМАП), представленных в патенте, особенно с учетом даты начала исследований. Большая часть Вашей работы предшествует работе группы Rockwell, проведенной в начале 1980-х годов.) Полученный в США патент № 4100809 явился самой цитируемой публикацией автора обзора – более 60 ссылок в патентах США заявителей, представляющих Rockwell International Corporation, The Boeing Company, Siemens Power Corporation, The Babcock & Wilcox Company, Mcdermott Technology, Inc., Shell Oil Company, Spirit Aerosystems, Inc. и др., и ФРГ (Betriebsforschungsinstitut VDEh Institut für Angewandte Forschung GmbH).

История изобретения ЭМА-способа возбуждения сдвиговых нормальных волн, составившего основу авторских свидетельств СССР и зарубежных патентов, полученных в США, Великобритании, ФРГ, Франции и Японии, вполне соответствует, по классификации психологов, варианту случайных научных достижений.

Однажды в первой половине 70-х гг. прошлого столетия специалисты ВНИИНК проводили эксперименты по возбуждению волн Лэмба в тонком стальном листе 1 с использованием постоянного электромагнита 2 и высо-

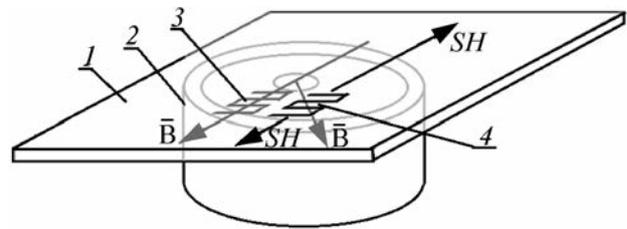


Рис. 5. К истории изобретения ЭМА-способа возбуждения сдвиговых нормальных волн

кочастотного индуктора типа меандра 3 (рис. 5). В какой-то момент индуктор самопроизвольно переместился из положения 3, что обеспечивало возбуждение волны Лэмба, в положение 4. При этом импульс на экране электронно-лучевой трубки резко сместился относительно положения импульса волны Лэмба, т.е. изменилась скорость распространения УЗ-волны. Конечно, нам были известны сдвиговые горизонтально-поляризованные нормальные (SH) волны, обладавшие целым рядом преимуществ по сравнению с волнами Лэмба. Известны были и способы их возбуждения путем приклейки кварца узреза или пьезоэлемента соответствующей поляризации к поверхности ОК или использования вязкой среды (мед и пр.), не позволявшие их применение при УЗ-контроле. При дальнейшем проведении исследований мы убедились в том, что найден принципиально новый способ возбуждения SH-волн. Элемент случайного заключался в том, что совпали выбранные толщина ОК, частота возбуждающего импульса, параметры высокочастотного индуктора и ориентация магнитного поля. Когда Госкомизобретений предложил нам патентовать некое устройство, мы настояли на патентовании этого способа.

Совместно с НИИАЧермет, г. Днепропетровск, в 1985 г. ВНИИНК продана лицензия фирме KTV – Systemtechnik, ФРГ, на «Способ и технологию электромагнитно-акустического контроля металлических изделий», в которой использованы авторские свидетельства и зарубежные патенты, полученные учеными и изобретателями института.

Об уровне исследований и качестве разработок ВНИИНК свидетельствует тот факт, что 40 специалистов защитили кандидатские диссертации и пять – докторские. Всего учеными и специалистами ВНИИНК было создано около 1000 изобретений, получены десятки зарубежных патентов.

Важный вклад в разработку теории бесконтактного возбуждения ультразвука внес д-р физ.-мат. наук Юрий Иванович Сазонов – автор монографии, более 200 научных и учебно-методических работ, 27 авторских свидетельств и патентов. Им сформулированы физические принципы оптимальной генерации и приема звуковых и ультразвуковых волн в различных средах с учетом электронной проводимости, магнитной проницаемости и акустических характеристик среды, предложен новый физически обоснованный подход к построению математических моделей ультразвуковых преобразователей электромагнитного типа в режиме приема упругих колебаний в ферромагнитных и неферромагнитных металлах.

Научная школа НИИИН МНПО «Спектр»

Основателем и первым директором Научно-исследовательского института интроскопии был изобретатель радиолокации д-р техн. наук Павел Кондратьевич Ощепков, с 1970 г. институт возглавил Владимир Владимирович Клюев. Под его руководством была создана научная школа НИИ интроскопии как школа приборостроения с использованием всего спектра методов НК. И хотя годом ранее был создан ВНИИНК, специализировавшийся на исследовании и разработке ультразвуковых методов и средств НК, в НИИИН начали свою деятельность известные ученые-ультразвуковики Ю.В. Ланге, Ю.М. Шкарлет и перспективные молодые ученые М.В. Королев, Н.Н. Яковлев, В.Г. Шевалдыкин, А.А. Самокрутов, В.Н. Козлов и др. Решение таких особенно остро вставших в 60-х гг. XX в. проблем, как оснащение трубокатных заводов высокопроизводительными средствами НК, потребовало объединения усилий ученых института для разработки технологической линии комплексного контроля цельнометаллических труб. Эту работу возглавил будущий акад. РАН В.В. Клюев, под руководством которого был впервые разработан и внедрен на Первоуральском новотрубном заводе ЭМА-толщиномер УТ-80Б для бесконтактного автоматизированного контроля толщины труб. По результатам исследований также были созданы важные изобретения [143 и др.].

Научное направление в исследовании и конструировании сверхширокополосных ультразвуковых пьезопреобразователей для приборов толщинометрии создал д-р техн. наук, проф. М.В. Королев, разработавший более 15 типов ультразвуковых толщиномеров и приборов контроля для измерения физико-механических свойств материалов. За годы работы в НИИ интроскопии он стал ведущим специалистом в области ультразвуковых методов НК, лауреатом Премии Совета Министров СССР. Он автор восьми монографий и справочников, 129 статей и докладов, 36 авторских свидетельств на изобретения.

Научное направление по исследованию и созданию устройств на базе информационных технологий и корреляционных методов обработки акустических сигналов с антенными системами и малоапертурными преобразователями возглавил д-р техн. наук А.А. Самокрутов. Коллективом научного отдела «Акустические контрольные системы» (в настоящее время ООО «Акустические контрольные системы») были выполнены исследования и разработка принципиально новых УЗ-преобразователей с сухим точечным контактом (СТК), с помощью которых можно без использования контактной жидкости возбуждать и принимать не только продольные, но и поперечные волны (д-р техн. наук А.А. Самокрутов, д-р техн. наук В.Г. Шевалдыкин, канд. техн. наук В.Н. Козлов и др.).

А.А. Самокрутовым разработана концепция информационного подхода к анализу процедур НК и ТД и на этой основе сформулированы принципы построения средств НК с использованием технологии полного цифрового тракта, разработаны типовые аппаратные платформы и новые средства НК на базе малоапертурных преобразователей и антенных решеток, превосходящие существующие аналоги по ряду технических и метрологических характеристик (новые технические решения защищены патента-

ми РФ). Эти качества позволили совершить прорыв и создать технологию УЗ-томографического контроля бетона и несколько типов приборов, не имеющих до сих пор аналогов в мире, таких как А1220 – с 24-элементной антенной решеткой (АР) с СТК, А1230 на базе мобильного персонального компьютера с 36-элементной АР с СТК, УК1401 – с встроеными ПЭП с СТК.

В последние годы вместо ранее разработанных приборов выпускаются: низкочастотный ультразвуковой томограф А1020 MIRA Lite с визуализацией внутренней структуры бетона при одностороннем доступе; низкочастотный ультразвуковой томограф А1040 MIRA для контроля конструкций из бетона, железобетона и камня при одностороннем доступе к ним в целях определения целостности материала в конструкции, поиска инородных включений, полостей, непроливов, расслоений и трещин, а также измерения толщины объекта контроля; низкочастотный ультразвуковой сканер-топограф А1050 PlaneScan для обнаружения дефектов обшивки самолета методом поверхностного прозвучивания с использованием ультразвуковых преобразователей с катящимся сухим точечным контактом.

Ультразвуковой дефектоскоп А1220 MONOLITH предназначен для решения задач толщинометрии и дефектоскопии конструкций из бетона, горных пород, асфальта. Уникальность прибора состоит в том, что он, помимо сквозного прозвучивания, позволяет проводить контроль объектов эхо-методом при одностороннем доступе, что делает возможным применение его для обследования объектов, находящихся в эксплуатации, таких как здания, мосты, тоннели и т.п. Важным преимуществом прибора является возможность контроля без применения контактной жидкости благодаря использованию в антенной решетке элементов с СТК без предварительной подготовки поверхности, что значительно облегчает работу и ускоряет процесс контроля. Предложен способ и подтверждена эффективность эхо-метода контроля протяженных конструкций (рельсов и трубопроводов) с использованием низших мод поперечных волн, формируемых линейными АР, построенными на базе преобразователей с СТК с касательными колебаниями протектора. Показано, что при использовании синтезированной фокусировки возможно переключение направления чувствительности на противоположное, что обеспечивает двунаправленный обзор и дополнительное увеличение производительности контроля рельсов по сравнению с жидкостными преобразователями.

Начиная с 2000 г. на базе этих результатов был создан и производится дефектоскоп АКР1224 для волноводного контроля длинномерных объектов (рельсов, штанг, прутков). Установлено, что при использовании 8-элементной антенны обеспечивается обнаружение дефектов с относительной площадью поперечного сечения от 15% на расстояниях от 0,5 до 25 м при работе в диапазоне частот от 20 до 100 кГц.



В.В. Клюев

Научная школа МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научная школа МГТУ им. Н.Э. Баумана в области УЗ-дефектоскопии, формирование которой было начато акад. Г.А. Николаевым с участием проф. Н.П. Алешина, получила существенное развитие в последние 30 лет.

С 1989 г. деятельность кафедры «Технологии сварки и диагностики» (МТ7), возглавляемой академиком РАН Н.П. Алешиним, связана с научно-исследовательской работой по направлениям: физико-химические процессы в сварке; новые методы сварки; прочность сварных соединений; технология и автоматизация процессов сварки; диагностика, сертификация и контроль качества сварных соединений; проектирование сварочного оборудования.

Под руководством Н.П. Алешина и при его непосредственном участии решен ряд фундаментальных проблем. Им созданы теория, технология и оборудование НК сварных соединений

строительных конструкций, отличительной особенностью которых является возможность проведения УЗ-контроля при высоте неровностей больше длины волны. Развита теория дифракции упругих волн в твердом теле при приближении для коротковолновых отражателей. Создание этой теории позволило разработать новые технологии диагностирования объектов различного назначения (газонефтепроводы, резервуары, космическая техника и др.).

Им сформулирована физическая модель и дано математическое описание акустосварочной модели крупнозернистых материалов. Это позволило вместе с ЦНИИ «Прометей» создать принципиально новую технологию диагностирования аустенитных сварных швов (судостроение, атомные электростанции). Предложен и реализован метод решения задачи рассеяния акустического поля на групповых отражателях (метод вынесенных источников). Благодаря этому были разработаны алгоритмы идентификации одиночных и группы дефектов в сварных швах. Результаты исследований ученых кафедры в области ультразвуковой дефектоскопии широко известны научной общественности России и зарубежных стран.

Н.П. Алешин – президент Национального агентства контроля сварки, заслуженный деятель науки и техники РФ, директор ФГАУ «Научно-учебный центр «Сварка и контроль», главный редактор журнала «Сварка и диагностика», член Межведомственной комиссии по техническому развитию президиума Совета при Президенте Рос-

сийской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России, член Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям, заместитель председателя Общественного совета при Ростехнадзоре. Его труд отмечен высокими государственными наградами, он лауреат Премии Совмина СССР, Премий Правительства России, лауреат Государственной премии и др. Н.П. Алешин – автор 194 научных работ, из которых 15 монографий, 9 брошюр, десятков изобретений. Под его руководством защищено 30 кандидатских и 9 докторских диссертаций. При поддержке Н.П. Алешина автор настоящего обзора в 1991 г. защитил докторскую диссертацию, посвященную УЗ-контролю сварных швов труб и сосудов давления, в диссертационном совете при МГТУ им. Н.Э. Баумана, которым тогда руководил академик Георгий Александрович Николаев.

С 2005 г. по настоящее время заместителем директора по научной работе ФГАУ «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана» работает канд. техн. наук, член-кор. Российской инженерной академии Михаил Владимирович Григорьев. Под руководством М.В. Григорьева и при его непосредственном участии решен ряд фундаментальных проблем в области диагностики технического состояния потенциально опасных производственных объектов, развита теория дифракционных методов УЗНК сварных соединений. На базе этой теории созданы новые технологии и оборудование, обеспечивающее существенное повышение информативности результатов УЗ-контроля. Являясь доцентом кафедры технологии сварки и диагностики МГТУ им. Н.Э. Баумана, М.В. Григорьев осуществляет руководство аспирантами, читает курс лекций по физике ультразвука для студентов университета. Он автор более 80 изобретений и научных трудов, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники за 2011 г., награжден медалью ордена «За заслуги перед отечеством» 2-й степени, медалью «850-летие Москвы» и др.

Научная школа ИЭС им. Е.О. Патона

ИЭС им. Е. О. Патона как крупный научный центр по исследованию новых технологий сварки возглавил работы в области акустических и других методов контроля качества сварных соединений. В 1978–1979 гг. по инициативе директора ИЭС им. Е.О. Патона академика Б.Е. Патона были подготовлены правительственные решения по развитию средств неразрушающего контроля качества сварных соединений. К участию в этой работе были привлечены многие министерства и ведомства, ведущие институты и предприятия.

Коллегию ГКНТ СССР, посвященную рассмотрению проекта постановления, вел его председатель академик АН СССР В.А. Кириллин. Он, а затем академики Я.Б. Зельдович, Б.Е. Патон, Г.А. Николаев с глубоким пониманием проблемы охарактеризовали важность подготовленных предложений и высказались в их поддержку. В итоге было принято решение о поддержке предложений о принятии Постановления ГКНТ СССР о развитии исследований методов и создании средств неразрушающего контроля сварных соединений.



Н.П. Алешин



М.В. Григорьев

Но это была только часть решения проблемы, поскольку впервые за многие годы было подготовлено правительственное решение, предусматривавшее наряду с поручениями институтам и предприятиям на разработку методов и средств НК и ТД сварных соединений выделение средств на развитие исследований и, как сейчас говорят, на развитие инфраструктуры. Поскольку решение этих вопросов находилось в ведении Совета Министров СССР, 9 августа 1979 г. было принято Постановление СМ СССР № 757 «О расширении внедрения в сварочное производство современных методов и средств неразрушающего контроля качества сварных соединений». Этот «дуплет» из двух постановлений сыграл большую роль в развертывании исследований и разработок в интересах повышения качества и автоматизации неразрушающего контроля сварных соединений, расширения номенклатуры и увеличения объемов производства средств неразрушающего контроля качества сварных соединений.

С 1976 г. заведующим отделом «Неразрушающие методы контроля качества сварных соединений» ИЭС им. Е.О. Патона является д-р техн. наук, проф. Владимир Александрович Троицкий. Под его руководством на всех трубных заводах страны был внедрен сдаточный НК нефтегазопроводных труб. Участки НК труб большого диаметра созданы на Челябинском трубопрокатном заводе. На Харьковский трубном заводе (Украина) проводился технологический, в линии сварки, и сдаточный, после экспандирования и гидроиспытаний, 100%-ный УЗ-контроль установками У-664, разработанными ИЭС им. Е. О. Патона (В.А. Троицкий, И.Я. Шевченко, Ю.К. Бондаренко, В.Л. Найда и др.) на базе серийно выпускаемых ПО «Волна» по разработкам ВНИИНК приборов и установок ДУК-70М. Всего было выпущено более 140 установок для контроля сварных швов труб.

ИЭС им. Е.О. Патона (В.А. Троицкий, П.Т. Ющак, В.П. Радько) совместно с ВНИИСТ (Г.А. Гиллер, С.А. Фалькевич и др.) и ВНИИНК (О.Р. Заборовский и др.) разработаны и прошли испытания установки ультразвукового контроля сварных швов магистральных газонефтепроводов в условиях Крайнего Севера.

В рамках реконструкции цеха по производству сварных труб большого диаметра Выксунского металлургического завода (ВМЗ) в конце 1980-х гг. ВНИИНК поставил заводу ряд установок УД-77БМ для контроля концов труб (разработчики О.Р. Заборовский, В.Д. Сирый). Для обеспечения технологического и сдаточного УЗ-контроля сварных швов труб большого диаметра ИЭС им. Е.О. Патона совместно с ВНИИНК (НИИНК) были оборудованы участки УЗ-контроля и поставлены установки НК-160, НК-360, НК-361, НК-362 (разработчики В.А. Троицкий, И.Я. Шевченко, В.Л. Найда и др.), построенные на базе серийно выпускаемой ПО «Волна» многоканальной УЗ-аппаратуры УД-82УА и многоканальных автоматизированных дефектоскопических комплексов ультразвукового контроля электросварных труб «Интроскоп-02.01» и «Интроскоп-02.02» производства НИИНК.

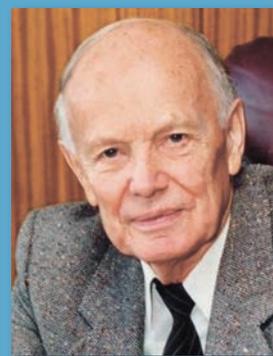
Внедрение НК в производстве нефтегазопроводных труб на металлургических заводах способствовало совершенствованию технологического процесса и повысило качество труб.

В результате длительной эксплуатации установок были определены оптимальные режимы настройки аппаратуры, накоплены статистические данные о типах дефектов, их связи с нарушениями технологии изготовления труб и разработаны предложения по усовершенствованию методов и аппаратуры контроля труб. Новизна технических решений подтверждается полученными совместно авторскими свидетельствами и патентами на изобретения [144, 145 и др.].

Научная школа ИПФ НАН Беларуси

Ученик академика АН БССР Е.Г. Коновалова – автора открытия ультразвукового капиллярного эффекта, сделанного им в 1961 г., П.П. Прохоренко успешно продолжил исследования этого явления. В 1993 г. П.П. Прохоренко был назначен директором Института прикладной физики НАН Беларуси. Находясь на этом посту, он много сделал для развития института, формирования ряда научных направлений. Под его руководством подготовлено 12 кандидатских и 4 докторских диссертаций.

П.П. Прохоренко является автором более 350 научных работ, в том числе 9 монографий и учебных пособий, свыше 70 изобретений, научные результаты его исследований успешно внедрены на ряде предприятий автомобильного, авиационного и железнодорожного машиностроения. Труды П.П. Прохоренко получили международное признание. Его доклады начиная с 1982 г. представлены на всех авторитетных и всемирных конгрессах по физике неразрушающего контроля и технической диагностики. Он входил в состав директората Всемирной федерации центров неразрушающего контроля. П.П. Прохоренко являлся членом бюро Отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси, вице-президентом Белорусской ассоциации неразрушающего контроля и технической диагностики, членом научного совета Национальной академии наук Беларуси по проблемам машиностроения, членом редколлегии журналов «Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук», «Материалы, технологии, инструмент» (г. Гомель, Беларусь), «Техническая диагностика и неразрушающие методы контроля» (г. Киев, Украина). Учитывая научные заслуги П.П. Прохоренко, в 1996 г. он был избран членом-корреспондентом НАН Беларуси, а в 2000 г. – действительным членом НАН Беларуси. За активную научную и научно-организационную деятельность, подготовку научных кадров Ука-



Б.Е. Патон



В.А. Троицкий



П.П. Прохоренко

зом Президента Республики Беларусь от 23 января 2004 г. директор ИПФ НАН Беларуси, академик П.П. Прохоренко награжден медалью Франциска Скорины.

Значительных успехов достигли в исследовании акустических методов контроля ученые ИПФ НАН Беларуси (д-р техн. наук А.Р. Баев, канд. техн. наук А.Л. Майоров, канд. техн. наук М. Асадчая и др.).

Исследования акустических и гидродинамических процессов в магнитожидкостных звукопроводах, выполненные Алексеем Романовичем Бaeвым, позволили установить закономерности изменения акустических и упругих свойств магнитных жидкостей на органической основе и воде в диапазоне концентраций магнетика, близком к предельному, и температурах, включающих область изменения фазового состояния вещества. На основе анализа нелокальных релаксационных процессов и стоковского поглощения им дана трактовка результатов экспериментальных



А.Р. Баев

исследований и предложена модель адиабатной сжимаемости жидкости, развиты представления о механизмах преобразования энергии лазерного излучения и магнитного поля в упругие волны и показана принципиальная возможность управления кавитационными явлениями в магнитных жидкостях внешним полем.

А.Р. Баевым теоретически и экспериментально основаны способы формирования магнитожидкостных звукопроводов в акустическом и магнитном полях и разработана концепция их использования для управления потоками акустической энергии в технической акустике и смежных с ней областях, разработаны высокопроизводительные устройства с повышенной надежностью и стабильностью акустического контакта (~2 дБ) для контроля изделий со сложным рельефом поверхности, находящихся в труднодоступных местах, в невесомости, в зоне повышенной радиации; разработки А.Р. Баева защищены 23 авторскими свидетельствами на изобретение и внедрены на предприятиях стран СНГ и Беларуси.

Исследования ученых КБ «Цветметавтоматика»

Важным этапом в развитии промышленного использования ультразвукового контроля стало применение методов бесконтактного (относительно контролируемой технологической среды) просвечивания гидротока и движущейся в воздухе технологической твердой среды (прокатываемых листов, полос и фольги, в частности) с определением поверхностной плот-

ности и толщины среды (слоя, покрытия) по степени его аэроакустической прозрачности и методов «звнящей стенки», в котором источником информации о физических свойствах, технологическом давлении и уровне жидкости служит стенка гидроемкости (трубопровода) при возбуждении в ней мод симметричной и антисимметричной, нормальных, продольно-поверхностной, рэлеевской поверхностной или наклонно распространяющейся поперечной ультразвуковых волн. Впервые в мире эти методы открыл, исследовал и применил основатель ультразвукового контроля и регулирования технологических процессов – выдающийся ученый и конструктор Н.И. Бражников, автор ряда монографий, свыше 200 научных статей и 187 изобретений, в том числе четырех именных авторских свидетельств, патентов СССР и Российской Федерации и 38 патентов Великобритании, Германии, Италии, США, Японии, Франции, Швейцарии и других стран.



Н.И. Бражников

Исследования ученых Института ультразвуковых исследований Литвы

Крупным научным центром исследований ультразвуковых методов контроля является Институт ультразвуковых исследований при Каунасском технологическом университете KTU (KTU UI), Литва, возглавляемый д-ром техн. наук (д-р хабил.), проф. Р.-Й.Ю. Кажисом (Rimantas Jonas Kažys). Исследования в области ультразвуковых измерений и НК проводятся уже более 50 лет. Учеными и специалистами института были выполнены исследования и разработаны способы и устройства для измерения скорости ультразвука, большое количество ультразвуковых преобразователей. Римантас-Йонас Юозович Кажис в период с 1969 по 1991 г. с соавторами получил более 90 авторских свидетельств на изобретения, в их числе 24 авторских свидетельства на ультразвуковые преобразователи, 22 – на способы и устройства измерения скорости ультразвука. В.И. Домаркас с соавторами получил более 30 авторских свидетельств на изобретения в области акустических систем и преобразователей. Всего учеными института разработаны более 100 методов и приборов для различных промышленных и научных применений, получены более 150 патентов на изобретения. Ими опубликованы



Р.-Й.Ю. Кажис

более 1000 статей в международно признанных научных журналах. Под руководством проф. Р.-Й.Ю. Кажиса выполнены исследования в области ультразвуковых измерений и диагностики в экстремальных условиях: при очень высоких температурах, высоких давлениях, радиоактивном излучении. Результаты исследований обобщены в книгах В.И. Домаркаса и Р.-Й.Ю. Кажиса.

Заключение

1. Прошедшие 90 лет были периодом активного становления и развития нового направления в науке и технике – физической акустики и ультразвуковых методов неразрушающего контроля и технической диагностики.
2. Учениками и последователями Сергея Яковлевича Соколова исследованы способы возбуждения/приема всех типов акустических волн на основе использования контактных пьезоэлектрических (с жидкостным и сухим точечным контактом) и бесконтактных (электромагнитно-акустических, лазерных, пьезоэлектрических с воздушной связью) преобразователей.
3. Выполнены исследования параметров преобразователей, разработана теория акустического тракта при ультразвуковом контроле металла, сварных и разъемных соединений.
4. Предложены и исследованы новые методы контроля газообразных, жидких и твердых сред в широком диапазоне частот:
 - низкочастотные – импедансный, велосиметрический, локальный метод свободных колебаний, ударный;
 - высокочастотные – ультразвуковой дефектоскопии, ультразвуковой толщинометрии, ультразвуковой дефектотометрии, ультразвукового контроля структуры металла, ультразвуковой голографии, акустической тензометрии, ультразвуковой расходомерии и др.

5. Предприятиями приборостроения СССР и фирмами России организованы разработки и производство приборов и систем ультразвукового контроля, обеспечившие потребности всех отраслей промышленности страны.
6. Приоритет отечественной школы ультразвуковой дефектоскопии признан всемирно, новизна технических решений подкреплена авторскими свидетельствами и патентами на изобретения, для награды ученых за выдающиеся достижения учреждены медаль «Рентген–Соколов» и награда Международного комитета по неразрушающему контролю (ICNDT) «За вклад в исследования по НК» (Sokolov Award).

Библиографический список представлен на сайте журнала
http://tndt.idspektr.ru/images/stories/archive/04_2018/tndt_2018_04_bibl.pdf

Примечание. В статье приводятся ссылки на монографии, отдельные статьи и доклады, а также авторские свидетельства и патенты на изобретения способов и устройств ультразвуковой дефектоскопии ученых-изобретателей из СССР, России и стран СНГ. Более полный перечень изобретений в области ультразвукового неразрушающего контроля представлен на сайте издательского дома «Спектр». Редакционный совет приглашает изобретателей к участию в формировании банка данных по изобретениям в области акустических (ультразвуковых) методов контроля.

Ссылка на перечень изобретений, собранных автором статьи
http://idspektr.ru/download/UT_patent.pdf



SENSOR+TEST 2019 for Conference Attendees
 SENSOR+TEST trade fair in Nürnberg is the world's leading forum for sensors, measuring and testing technology.

From simple microsensors to complex test rigs, from ready-to-use components to individualised services, the SENSOR+TEST represents the complete competence in measurement technology.

During SENSOR+TEST 2019 a top-class conference will take place:

20. GMA/ITG-Fachtagung "Sensoren und Messsysteme"
 This German-speaking symposium has become the most significant one in the branch of sensor technology.
 The conference will be held again parallel to the SENSOR+TEST.
 Conference language: German



CONTACT

AMA Service GmbH
 Von-Münchhausen-Str. 49
 31515 Wunstorf
 Germany

Tel +49 (0)5033 9639-0
 Fax +49 (0)5033 9639-20
www.ama-service.com
info@ama-service.com