

АО «НПО «ЦНИИТМАШ» — 95 лет



Валентин Михайлович УШАКОВ,
д-р техн. наук, научный руководитель,
ИНМИМ АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва

Лариса Васильевна БАСАЦКАЯ,
канд. техн. наук, директор НОАЛ,
И ТУО АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва

В 2024 г. АО «НПО «ЦНИИТМАШ» отмечает 95-летие с момента основания в декабре 1929 г. Становление Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ) совпало с восстановлением и развитием народного хозяйства СССР. Решалась главная задача: обеспечить высокие темпы индустриализации страны. Создавались промышленные предприятия, научно-исследовательские институты. Подробности строительства ЦНИИТМАШ, возникновения научных коллективов (впоследствии научных школ) и научных достижений изложены в книге [1].

Отметим лишь основные моменты. Пять фактов о ЦНИИТМАШ:

1. 95 лет назад на базе Московского отделения Ленинградского института металлов (МОИМ) был создан Научно-исследовательский институт ма-

шиностроения НИИмаш, который затем был расширен и переименован в Центральный научно-исследовательский институт машиностроения и металлообработки ЦНИИТМАШ (постановление ВСНХ СССР № 480 от 10 июля 1931 г.), а 27 декабря 1938 г. утвержден приказом Наркома машиностроения как Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ), это название сохраняется до настоящего времени.

2. Более шестидесяти лет ЦНИИТМАШ успешно занимается разработкой материалов и технологий для атомных энергетических установок, использующих разные виды теплоносителей. Во второй половине XX века ЦНИИТМАШ создал новые стали, которые вот уже более 15 лет обеспечивают надежную работу АЭС с реакторными установками ВВЭР и по комплексу физических и механических свойств превосходят отечественные и зарубежные материалы аналогичного назначения. Из этих материалов изготовлена большая серия установок ВВЭР-1000 для России, ближнего зарубежья, КНР, Ирана. Всего построено 45 блоков, их модификации нашли широкое применение в проектах АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ.
3. За годы работы для атомной отрасли в 1976 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР ЦНИИТМАШ награжден орденом Трудового Красного Знамени: на него возложены функции головной организации по разработке материалов, технологии производства и методов контроля качества изготовления оборудования для атомных электростанций.
4. В 1994 г. ЦНИИТМАШ получил статус государственного научного центра, который подтверждается с периодичностью раз в два года. Сегодня он выполняет работы как в рамках федеральных целевых программ, так и по прямым договорам с предприятиями, институтами РАН, профильными вузами. Особое значение имеют работы, проводимые в рамках исполнения единого отраслевого тематического плана Госкорпорации «Росатом», направленные на развитие материалов и технологий их изготовления на среднесрочную и долгосрочную перспективу.
5. Многие предприятия-гиганты отечественной промышленности были пущены в результате работы комплексных бригад сотрудников ЦНИ-

ИТМАШ, в том числе «Атоммаш» — крупнейшее в СССР, а впоследствии в России, производственное объединение атомного энергетического машиностроения (Волгодонск), уникальный завод с программой производства оборудования 12 блоков АЭС мощностью 1,2 млн кВт каждый.

Трудно, даже в сжатом виде, излагать историю и достижения ЦНИИТМАШ (вспомним: «...я вам не скажу за всю Одессу, вся Одесса очень велика...»). Хочется поведать читателям об ОНМИМ (ныне ИНМИМ) — Отделе (Институте) неразрушающих методов исследования металлов ЦНИИТМАШ, с которым связана наша творческая деятельность 50 лет.

ИНМИМ занимается решением проблем неразрушающего контроля в атомной энергетике. 1929 год — год создания ЦНИИТМАШ — совпал (ох, не случайно) с возникновением ультразвукового контроля металлов. 30 сентября 1929 года д-р техн. наук проф. ЛЭТИ С.Я. Соколов получил патент СССР № 11371 «Способ и устройство для испытания металлов» («Вестник комитета по делам изобретений», 1929, № 6).

Отметим пять фактов истории развития дефектоскопии в ЦНИИТМАШ.

1. В 1930 г. в ЦНИИТМАШ в составе отдела физико-химических методов исследования металлов Н.И. Ерёминым организована магнитная лаборатория. В 1949 г. в составе отдела приборостроения А.С. Матвеевым создана ультразвуковая лаборатория. В 1950 г. создана лаборатория радиационного контроля. Отдел приборостроения в конце 1950-х гг. реорганизовали в отдел неразрушающих методов исследования металлов. ОНМИМ в 2009 г. был преобразован в Институт неразрушающих методов исследования металлов (ИНМИМ).

В период 1937–1941 гг. сотрудник ЦНИИТМАШ Н.И. Ерёмин провел исследования по магнитопорошковой дефектоскопии. Были созданы магнитопорошковые дефектоскопы различного назначения, а также разработаны магнитные суспензии и пасты. Результаты работ изложены в монографии Н.И. Ерёмина «Магнитная порошковая дефектоскопия» [2]. Эта книга — одна из первых в СССР по магнитному контролю металла.

Первый в Советском Союзе серийный ультразвуковой дефектоскоп УЗД-7Э разработан и хранится в ЦНИИТМАШ.

Дефектоскоп УЗД-7Н, запущенный в серию в 1957 г., стал прототипом современных приборов по ультразвуковому контролю, который проводится при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных энергетических установок.



УЗ-дефектоскоп
УЗД-7Н

2. Игорь Николаевич Ермолов (1927–2007) — основатель научной школы ультразвукового метода неразрушающего контроля.

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники России Игорь Николаевич Ермолов первым в мире разработал теорию акустического тракта ультразвукового дефектоскопа, совместно с Алексеем Сергеевичем Матвеевым организовал научную школу по ультразвуковой дефектоскопии, давшую миру более 30 кандидатов и пять докторов наук. Автор 16 монографий и 256 научных работ, научный руководитель более 20 аспирантов и докторантов, профессор И.Н. Ермолов работал в ЦНИИТМАШ с 1953 по 2007 гг.

3. Более 75 лет специалисты ЦНИИТМАШ занимаются ультразвуковой дефектоскопией.

И.Н. Ермоловым, а позднее В.Н. Даниловым выполнены фундаментальные исследования акустического тракта дефектоскопа применительно к детерминированным отражателям различной величины, формы, ориентации, а В.Г. Щербинским — применительно к реальным дефектам. Ю.М. Шкарлет в стенах ЦНИИТМАШ разработал основы теории ЭМА-преобразователей, что положило начало широкому развитию этого важнейшего направления бесконтактной УЗ-дефектоскопии.

4. Специалисты ЦНИИТМАШ разработали нормы оценки качества по результатам ультразвукового контроля.

До 1965 г. регламентирующих документов по оценке качества сварных изделий не существовало: несплошности в сварных швах считались недопустимыми независимо от их скоплений и размеров. Перед Игорем Николаевичем Ермоловым и Виктором Григорьевичем Щербинским стояла трудная задача: оценить допустимый предельный размер



*Фото на память в день 90-летия
В.Д. Королева*

дефектов конструкций. На специально изготовленных образцах с дефектами провели эксперименты, измерили различные информативные признаки УЗК и, сопоставив их с данными механических испытаний, сформулировали критерии предельной величины дефектов в сварных швах энергооборудования, т.е. установили нормы оценки качества.

5. Профессия дефектоскописта вошла в топ-50 списка самых востребованных профессий по версии Минтруда. Список базируется на данных мониторинга рынка труда.

ИНМИМ ЦНИИТМАШ активно занимается подготовкой и аттестацией персонала согласно ГОСТ Р 50.05.11–2018 «Система оценки соответствия в области атомной энергии. Персонал, выполняющий неразрушающий и разрушающий контроль металла. Требования и порядок подтверждения компетентности», аттестацией лабораторий, выполняющих неразрушающий контроль технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

В конце 1940-х – начале 1950-х гг. началось тесное сотрудничество в области УЗ-контроля ЦНИИТМАШ и ЛЭТИ им. Ульянова (Ленина) по разработке приборов – УЗ-дефектоскопов.

В статье А.Л. Давыдова, А.Е. Колесникова и Б.Н. Машарского «Применение ультразвуковой дефектоскопии для обнаружения внутренних по-

роков в металлических изделиях» [3] указано, что «Соколовым построен первый в мире ультразвуковой дефектоскоп» (Zur Frage der Fortpflanzung ultrakustischer Schwingungen in verschiedenen Korpern // Elektrische Nachrichten-Technik. 1929, Bd 11. S. 454–461). В работе [3] дано описание УЗ-дефектоскопов моделей УЗД-12 и УЗД-10 разработки ЛЭТИ.

Более ранней публикацией является статья Ю.В. Богословского, М.Р. Губановой и А.С. Матвеева «Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-7 и некоторые результаты его применения (ЦНИИТМАШ)» [4], в которой представлены результаты работ по внедрению УЗ-контроля металлических изделий с применением дефектоскопа УЗД-7. Он разработан в отделе приборостроения (ныне ИНМИМ) ЦНИИТМАШ. Серийный выпуск дефектоскопа УЗД-7Н начался с 1957 г. В комплект дефектоскопа разработки ЦНИИТМАШ входили шупы (позднее их называли искательными головками, искателями и лишь примерно 40 лет назад – пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП)). Шупы (искатели) конструкции ЦНИИТМАШ предложены в 1951 г. сотрудниками отдела приборостроения: а.с. СССР № 100433, авт. Ю.В. Богуславский, В.Д. Королев, М.Ф. Краковяк, А.С. Матвеев, В.В. Рахманов.

Об истории создания прибора УЗД-7Н поделился старейший сотрудник ОНМИМ ЦНИИТМАШ



И.Н. Ермолу – 60 лет, 1987 г. (сидят: крайний слева – А.С. Матвеев, третий – В.Д. Королев, пятый – И.Н. Ермолов)

Владимир Дмитриевич Королев (1918–2013). В.Д. Королев работал в ЦНИИТМАШе целых 62 (!) года – с 1949 по 2011 гг.

Приведем несколько дефектоскопических историй, которые любил рассказывать Владимир Дмитриевич.

УЗД-7Н – первый дефектоскоп, выпускавшийся серийно на приборостроительном заводе. Прибор был разработан в ультразвуковой лаборатории ЦНИИТМАШ.

Мне посчастливилось принять участие в этой работе. Ультразвуковая лаборатория ЦНИИТМАШ была создана начальником отдела приборостроения А.С. Матвеевым.

Небольшой коллектив ультразвуковой лаборатории в основном состоял из техников и электронщиков-практиков. Мы за короткое время создали несколько типов ультразвуковых дефектоскопов, толщиномеров и преобразователей к ним. Приборы шли и на продажу, и для оснащения лаборатории. Сотрудники лаборатории часто сами выезжали на заводы и проводили контроль этими приборами. Все замеченные недостатки оперативно устранялись, изменяли конструкцию при выпуске новых приборов.

В январе 1953 г. появился дефектоскоп УЗД-7М. Он очень хорошо себя показал в работе на заводах, но требовал кое-какой доработки. Усовершенствования были выполнены. Задумались, как назвать следующую модель прибора. Марка УЗД-7 уже себя зарекомендовала, на заводах успешно применялось больше десятка этих приборов, поэтому ее хотелось сохранить. Буква «М» означала, что модель модернизиро-

вана. Может быть, следующую модификацию назвать УЗД-7-2М? Но А.С. Матвеев предложил использовать следующую после «М» букву алфавита. Так и появился УЗД-7Н.

Прибор имел две рабочие частоты – 2,5 и 1,8 МГц. В комплект (впервые в мировой практике) входили наклонные призматические преобразователи, с помощью которых контролировали сварные швы. Пьезопластины тогда делали из титаната бария, а этот материал легко поляризовывался. Мы предусмотрели дополнительное гнездо на задней панели прибора с высоким постоянным напряжением, что позволяло за ночь поляризовать пьезопластину.

Глубиномер был ультразвуковой. Мы его называли «паровая машина». В нем был цилиндр, наполненный глицерином, и вспомогательный ультразвуковой преобразователь. Отражался ультразвук от поршня. Время пробега ультразвукового импульса в изделии сравнивалось со временем пробега импульса в цилиндре, а оно определялось по градуированной шкале. В то время, когда импульсная техника только осваивалась, была неточной, такое решение оказалось очень удачным.

А.С. Матвеев был вызван для демонстрации прибора на заседание правительства. Он пригласил М.Ф. Краковяка. Вызов был неожиданный. Михаил Федорович как был в валенках, так и поехал. На заседании ему и его коллегам предоставили стол, они подключили прибор и показали, как выполняется контроль. Прошло все благополучно, но М.Ф. Краковяк потом рассказывал, что он очень боялся. Рядом стоял молодой человек (видимо, из КГБ) и держал руку в кармане. И тут же Михаил вспомнил, что в приборе

электролитические конденсаторы стоят прямо под электронно-лучевой трубкой. Электролиты иногда взрывались. От конденсата трубка может взорваться. В один момент «пришьет» этот кагебеешник за покушение на правительство.

Помню, приехали к нам французские ученые: профессора Бекар и Ланжевен. Бекар был мужчина средних лет, а Ланжевен очень старый. Возможно, это и был тот самый Ланжевен, который изобрел во время первой мировой войны акустический способ поиска немецких подводных лодок. В то время заведующим лабораторией уже был Игорь Николаевич Ермолов. Но он тогда только познавал ультразвук.

Французам УЗД-7Н очень понравился, особенно глубиномер. Французы сами поочередно брали преобразователь в руки, находили дефекты, измеряли их глубину. Конечно, перемазались в машинном масле. Ультразвук — дело грязное! И тут вышел конфуз. Коллектив у нас мужской, поэтому около умывальника мыло было хозяйственное, а полотенце мокрое и грязное, как овечий хвост в плохую погоду. Хозяйственным мылом французы руки вымыли, хоть и морщились, а полотенцем воспользоваться не рискнули. Платки носовые достали.

Потом Игоря Николаевича вызвал директор, и, как рассказывал Игорь Николаевич, ему был сделан выговор. Оказывается, французов нужно было пригласить в специальное место. Там было приготовлено чистое полотенце, туалетное мыло и поставлен вахтер (потому что один кусок мыла уже сперли). А Игорь Николаевич этого не знал.

Потребность в ультразвуковых дефектоскопах тогда была очень велика, поэтому мы делали по 5–6 приборов УЗД-7Н в месяц. Потом документацию и опытный образец прибора мы передали на Ленинградский инструментальный завод. Он выпускал приборы года два-три, пока не построили завод «Электроточприбор» в Кишиневе. Там уже стали серийно делать более совершенные приборы.

УЗ-дефектоскоп не может работать без УЗ-преобразователей (напомним, что в 1950-х гг. их называли шупами). Вот что вспоминал В.Д. Королев о некоторых эпизодах становления ультразвуковой дефектоскопии в Советском Союзе в части исследования и разработки преобразователей.

В 1952 г., 6 февраля коллектив ультразвуковой дефектоскопии ЦНИИТМАШ, а именно Ю.В. Богословский, В.Д. Королев, М.Ф. Краковяк, А.С. Матвеев и В.В. Рахманов подали заявку, а позднее получили авторское свидетельство № 100433 на изобретение под названием «Призматический шуп для ультразвуковой дефектоскопии». В те времена словом «преобразователь» мы не пользовались, а говорили «шуп». И короче, и по существу.

Позднее нам встречались заграничные патенты на подобные устройства с более поздним приоритетом, мы не сутяжничали: некогда было, да мы и не умели.

Насколько такие преобразователи были нужны, видно по сегодняшнему дню. Наклонный призматический преобразователь применяют при контроле практически всех изделий. В те времена мы тоже понимали, как важно направить ультразвук наклонно к поверхности, чтобы обнаруживать вертикальные или почти вертикальные дефекты. Именно такие дефекты характерны для сварных швов, а сварные швы очень нуждаются в неразрушающем контроле.

Как тогда решали задачу наклонного ввода ультразвука? Применяли довольно громоздкие и неудобные отдельные преобразователи, которые дефектоскописты называли «копыта». Они имели вид этаких призматических треугольников из стали или пластика, которые располагали между пьезопластиной и изделием. В призмах ультразвук слабо затухает, поэтому работать можно было только в раздельном режиме.

Наш коллектив был молодым и трудолюбивым, а дружба помогла нам решать все вопросы совместно. Задача состояла в том, чтобы заставить ультразвук затухать в ловушке призмы, не попадая на пьезопластину. Ловушкой служила передняя и развитая верхняя части призмы. Путь лучей в призме мы прочертили, но размеры взяли с запасом, чтобы ультразвуковой импульс после многократных отражений не пришел на пьезопластину.

Что важно: пьезопластина излучала в плексиглазовую призму продольную волну, но углы призм мы брали между первым и вторым критическими, чтобы в стальном изделии получалась поперечная волна. Призматические преобразователи делали с углами призмы 30, 40, 50°, высоту верхней части (ловушки) находили опытным путем.

Больше всего трудностей было с призмами на 30°. Никак не удавалось задать ложный сигнал. Потом разобрались: он возникал от трансформации продольных волн в поперечные при отражении от контактной поверхности призмы. Пьезопластина хотя и предназначалась для продольных волн, принимала также и эту поперечную волну, тем более что падала она на пластину наклонно. От этого ложного сигнала мы избавились, увеличив путь от пьезопластины до контактной поверхности призмы. Тогда поперечная волна стала уходить в ловушку призмы.

В 1952 г. в Акустическом институте Академии наук под председательством академика Н.Е. Андреева прошла конференция по применению ультразвука в промышленности. Член-корреспондент академии, первооткрыватель ультразвуковой дефектоскопии Сергей Яковлевич Соколов отметил в докладе успехи ВИАМ, НИИХИММАШ. Но особенно он подчеркнул

новизну и полезность работ ЦНИИТМАШ по разработке призматического преобразователя, расширяющего возможности ультразвукового контроля. Кроме того, он отметил, что применение в ЦНИИТМАШ керамических пьезоэлементов позволило уменьшить габариты и массу ультразвуковых дефектоскопов. Нам, тогда молодым сотрудникам, было очень приятно услышать такую оценку нашей работе.

Разработанные институтом за прошедшее время пьезопреобразователи трудно перечислить. Большинство из них не имеет аналогов в нашей стране и за рубежом, а именно: веерные, фокусирующие с искривленной и зональной пластинами, с фокусирующим протектором, аксиконовые с удлиненной зоной фокусировки, иммерсионные с эластичной мембраной, с эластичным скользящим протектором, с разнесенными подвижными электродами, дуэт и тандем для контроля головными волнами, двусторонний прямой и наклонный, с переменным углом ввода и вращающейся втулкой, с переменным углом ввода и поворачиваемся клином, широкополосные, с уменьшенной стрелой, с повышенной стабильностью акустического контакта.

Хочется особенно отметить, что мастер «золотые руки» В.Д. Королев мог сконструировать и изготовить преобразователи самой высокой сложности. Добавим, что в ОНМИМ (ИНМИМ) разработали еще и высокочастотные ПЭП для УЗ-контроля сварных соединений малой толщины (2,0–6,0 мм), ПЭП для иммерсионного контроля, с криволинейной контактной поверхностью, с алюминиевой призмой и множество преобразователей прямых, совмещенных и раздельно-совмещенных, наклонных различной конструкции.

В дальнейшем это направление ультразвуковой дефектоскопии продолжило развиваться, потому что каждая принципиально новая методика – это новый преобразователь, а разработка каждого нового преобразователя открывает новые возможности.

В ушедшие десятилетия в ЦНИИТМАШ разрабатывали и изготавливали не только приборы в комплекте с преобразователями. Сотрудниками ЦНИИТМАШ подготовлены и выпущены множество документов по неразрушающему контролю объектов атомной и тепловой энергетики. Все они нашли широкое применение в промышленности нашей страны. В последние годы (с 2019 г. по настоящее время) в ИНМИМ проводят исследования состояния металла (структуроскопия) методами неразрушающего контроля.

Однако вернемся в доброе прошлое время.

Мне вспоминается командировка в Швецию в середине 1990-х гг. Команда российских специалистов в составе трех человек посетила атомную станцию.

Подразделения неразрушающего контроля шведской АЭС мало отличаются от аналогичных на АЭС России. Нам интересна служба ультразвукового контроля. Гостям показали оснащение лаборатории приборами, ознакомили с работой специалистов УЗК. Затем провели в комнату, где находился мужчина средних лет. На столе дефектоскоп, преобразователи, пьезоэлементы, включенный паяльник. Нам представили хозяина комнаты:

– Знакомьтесь, мастер «золотые руки». Умеет сконструировать и изготовить преобразователь любого (!) типа.

Мастер-специалист по преобразователям в смущении встал из-за стола и ознакомил нас (через переводчика) со своей работой. Мне захотелось рассказать о нашем В.Д. Королеве, что я и сделал. Швед удивился – не один он такой – и произнес:

– Передавайте огромный привет моему российскому коллеге.

В комнату вошел молодой человек, представился нам. Он говорил на русском языке с незначительным акцентом. На наше удивление сказал:

– Я бывший кубинский студент, когда-то учился и закончил МЭИ. На родине работу не нашел, вот приехал в Швецию.

Бывший студент МЭИ после паузы спросил:

– Вы знаете Ермолова Игоря Николаевича?

Нашему удивлению не было предела:

– Мы работаем с ним вместе! Правда находимся на разных этажах здания ЦНИИТМАШ.

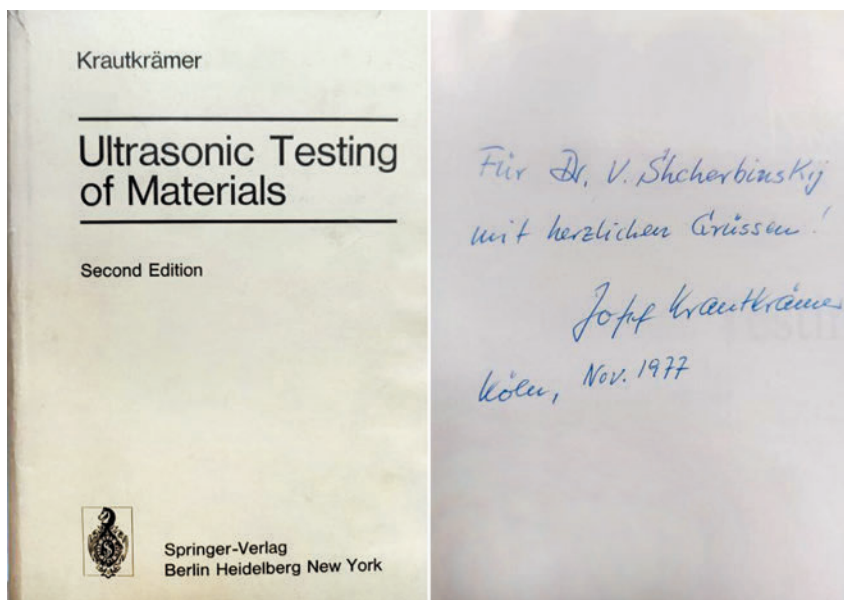
Теперь удивился кубинец и рассказал, что лекции по УЗК студентам читал И.Н. Ермолов. По его лекциям будущие специалисты познавали тонкости ультразвукового контроля. Кубинец – сотрудник лаборатории УЗК шведской АЭС закончил повествование так:

– Передавайте привет Игорю Николаевичу и скажите, что благодаря ему я ощущаю себя настоящим специалистом.

Сотрудница ОНМИМ Любовь Владимировна Воронкова после аттестации в Норвегии по неразрушающему контролю рассказывала следующее. Специалисты УЗ-контроля в Норвегии изучают предмет по книгам И.Н. Ермолова, формулы акустического тракта УЗ-дефектоскопа они так и называют «формулы Ермолова».

Вспоминается еще один примечательный факт. Проекты европейских и международных документов по УЗК (серии EN и EN ISO) направлялись в нашу страну, И.Н. Ермолову. Он знакомил с ними сотрудников ОНМИМ (ИНМИМ). Составлялся сводный список замечаний и направлялся разработчикам в Европу.

Или вот еще. В середине 1970-х гг. сотрудника ОНМИМ Виктора Григорьевича Щербинского



Титул монографии J. Krautkrämer, H. Krautkrämer “Ultrasonic Testing of Materials” с дарственной надписью: «Доктору В. Шербинскому с сердечными пожеланиями. Йозеф Крауткремер. Кёльн, ноябрь 1977»

командировали в ФРГ. Совершенно случайно, уже после кончины Виктора Григорьевича в 2018 г., попала на глаза монография J. Krautkrämer, H. Krautkrämer “Ultrasonic Testing of Materials” (русский перевод, см. работу [5]) с дарственной надписью.

Комментарии не требуются.

За 95 лет ЦНИИТМАШ, в частности ИНМИМ, прошел сложный и тернистый путь, наполненный значительными успехами. Молодому поколению специалистов хочется пожелать — так держать!

Библиографический список

1. Государственный научный центр Российской Федерации АО «НПО «ЦНИИТМАШ». Мировой уровень знаний, опыта и достижений / под ред. д-ра техн. наук В.В. Орлова и д-ра техн. наук

К.Л. Косарева. М.: ГНЦ РФ «АО «НПО «ЦНИИТМАШ», 2019, 175 с.

2. **Ерёмин Н.И.** Магнитная порошковая дефектоскопия. М.: Машгиз, 1947. 188 с.
3. **Давыдов А.Л., Колесников А.Е., Машарский Б.Н.** Применение ультразвуковой дефектоскопии для обнаружения внутренних пороков в металлических изделиях (ЛЭТИ им. Ульянова (Ленина) // Заводская лаборатория. 1953. № 2. С. 197–203.
4. **Богословский Ю.В., Губанова М.Р., Матвеев А.С.** Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-7 и некоторые результаты его применения (ЦНИИТМАШ) // Заводская лаборатория. 1952. № 7. С. 846–854.
5. **Крауткремер Й., Крауткремер Г.** Ультразвуковой контроль материалов / пер. с нем. под ред. д-ра техн. наук В.Н. Волченко. М.: Металлургия, 1991. 752 с.



Спектр

Издательский дом

Издательский дом «Спектр»

специализируется на издании технической литературы – научной, учебной, производственной, справочной и научно-популярной

<http://idspektr.ru/>
(495) 514 76 50
info@idspektr.ru,
idspektr@gmail.com



Открыта подписка
на журналы
на 1 полугодие 2025 г.

- «Вестник компьютерных и информационных технологий»
- «Контроль. Диагностика»
- «Справочник. Инженерный журнал»
- «Стекло и керамика»
- «Лабораторная и клиническая медицина. Фармация»