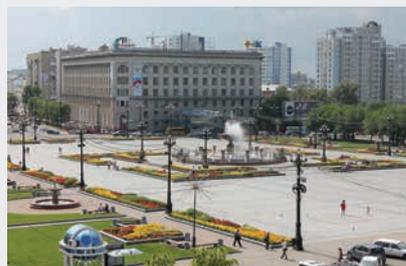


# ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ХАБАРОВСКЕ



**ЧЕНЦОВ Виктор Петрович**  
Канд. техн. наук, Хабаровск

В июне 1968 г. в Хабаровске был организован в системе Госстандарта СССР Хабаровский филиал ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений. Директором института был назначен канд. техн. наук Василий Андреевич Грешников. В марте 1969 г. в отделе физико-механических измерений, которым руководил канд. техн. наук Юрий Борисович Дробот, был организован сектор измерения неэлектрических величин электрическими методами, и возглавил его автор этой публикации.

В.А. Грешников, заинтересовавшись статьей из журнала «Век железа» [1], поставил перед отделом задачу попытаться обнаружить сигналы эмиссии волн напряжений (в дальнейшем будем использовать термин «акустическая эмиссия») при испытании на растяжение стандартных образцов из наиболее используемой конструкционной стали Ст3. В институте имелась эталонная акустическая аппаратура датской фирмы «Брюль и Кьер» и парк испытательных машин для измерения механических характеристик конструкционных материалов.

В упомянутой публикации информация была чисто рекламного характера, и в ней сообщалось, что сигналы акустической эмиссии (АЭ) могут под-

сказать инженерам о приближении изделия к разрушению и могут использоваться для оценки напряженно-деформированного состояния материала в изделиях. Данные о характеристиках сигналов АЭ и аппаратуре для их обнаружения были скудными или не приводились.

Постановочные измерения по обнаружению АЭ в секторе измерения неэлектрических величин электрическими методами проводились на механической испытательной машине с измерителем силы маятникового типа УМ-5А в ночное время с 2 до 5 часов, когда уровень внешних шумов был минимальным. Для снижения уровня шумов от испытательной машины наложение образцов выполнялось от ручного привода. Уровень внешних шумов при этом не превышал 54 дБ в полосе частот 200 Гц–100 кГц. Звуковое излучение было зарегистрировано только во время разрушения образца, что не давало никакой информации об обнаружении докритических напряжений. При этом чувствительность аппаратуры позволяла обнаруживать увеличение уровня шумов от зуммера вызова телефонного звонка, находящегося на 3-м этаже здания, а измерения проводили в цокольном этаже. В этом случае зуммер звукового сигнала был сигналом помехи. Применение датчиков и эталонной аппаратуры для измерения вибраций на торце образца также не дало увеличения уровня шумов до образования шейки на образце. Доводить образец до разрушения было недопустимо, так как мог повредиться эталонный преобразователь.

Использование канала приема ультразвука дефектоскопами типов ДУК-20 и УДМ-1М также не позволило обнаружить наличие излучения при растяжении образцов. Эти эксперименты показали, что сигналы АЭ находятся ниже уровня окружающих шумов. Так как этой работой мы занимались без финансирования, то зав. отделом Ю.Б. Дробот высказался против этой затеи, моти-

вируя тем, что американцы пытаются нас втянуть в авантюру — решение неосуществимых задач. Они изучают металлы около 300 лет, и за это время никаких излучений из конструкционных материалов не было зарегистрировано.

Однако В.А. Грешников настоял на факультативном решении этой перспективной, по его мнению, задачи. Поэтому параллельно с постановочными испытаниями при растяжении образцов начали проводить более глубокий поиск публикаций по этой теме. Данных по исследованию АЭ из металлов в СССР мы не нашли. Анализ найденных зарубежных публикаций показал, что обнаружение сигналов АЭ выполнялось в основном в лабораторных условиях на бесшумных специальных нагружающих устройствах, частотный диапазон обнаружения сигналов АЭ был очень широк (от единиц килогерц до 30 МГц).

В результате было принято решение о необходимости изготовления специального бесшумного нагружающего устройства. Проанализировав описанные в публикациях устройства нагружения, было предложено применить рычажную систему передачи нагрузки на образец. Нагрузку решили осуществлять за счет воды, налитой в бак, который устанавливали на рычаг через войлочные прокладки для звукоизоляции. Расчетная максимальная нагрузка была принята 2000 кг.

Встала задача получить максимальное затухание акустических сигналов при передаче нагрузки на образец. Изучили публикации по этому вопросу. Испытываемый образец решили отделить от системы нагружения с помощью звукоизоляторов, которые выполнили в виде пакетов дисков из войлока и свинца, зажатых под нагрузкой 2500 кг. Так как имеющимися средствами приема акустических и ультразвуковых сигналов зарегистрировать сигналы АЭ при испытании не удалось в реальных условиях, то для передачи колебаний с торца образца автор предложил использовать конструкцию, подобную воспроизведению звука с грампластинки. Однако никаких сигналов при нагружении снова не зарегистрировали.

Так как уровень шумов в звуковом диапазоне частот очень большой, то решили проверить наличие АЭ в ультразвуковом диапазоне частот. В.А. Грешников направил меня во ВНИИФТРИ для консультации по поводу возможности применения пьезокерамики (которая разрабатывалась в одной из лабораторий института) для обнаружения ультразвука на поверхности металла. Мне дали несколько дисков и квадратных шайб из пьезокерамики ЦТС-19 и ЦТС-23, на основе которых были разработаны и изготовлены мною резонансные пьезопреобразователи АЭ, позволившие обнаружить в дальнейшем излучение ультразвуко-

вых колебаний при пластической деформации образцов.

Пока шло изготовление машины бесшумного нагружения (МБН), В.А. Грешников вспомнил, как его дед подшивал валенки, и, работая по вечерам, сделал звукоизоляционную камеру из войлока для изоляции образца от внешней среды. Для снижения уровня шумов было решено отделить фундамент испытательной машины от фундамента здания путем установки ее на песчаную подушку.

Изготовленный резонансный преобразователь подключили к предусилителю акустической аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер» на отшлифованный торец образца через каплю масла и стали нагружать образец из стали Ст3.

При прохождении площадки текучести впервые заметили увеличение уровня регистрируемого шума в 2–3 раза, который затем снова уменьшился до начального уровня в зоне упрочнения. Этот эффект повторялся при нагружении и других образцов. При прекращении нагружения на площадке текучести уровень шума снижался до начального. Тогда мы еще не знали про эффект Кайзера, но этот факт показал нам, что мы обнаружили на площадке текучести какое-то излучение при деформировании образцов. Ура!

По-видимому, мы зарегистрировали излучение «деформационных шумов» при напряжении предела текучести. При нагружении образцов из алюминиевых сплавов марки АМц и Д16М характер излучения был отличным от излучения из стальных образцов. Это дополнительно обнадружило нас, что обнаружено именно то, что мы и пытались установить.

Для измерения текущих значений нагрузки на образце мы разработали и изготовили из стали 30ХГСНА упругий элемент, наклеили проволочные тензодатчики, собрали мостовую схему с применением тензостанции типа УТ-4-1 для ее регистрации, а также разработали и изготовили емкостные на диапазон 2 мм и индуктивные на диапазон 5 мм преобразователи измерения удлинения образца. Устройства измерения нагрузки и удлинения образца метрологически аттестовали по регистрации их на 14-канальном светолучевом осциллографе типа Н-700. Параллельно по поручению директора В.А. Грешникова продолжалась интенсивная работа по анализу зарубежной литературы по АЭ.

Впервые систематические исследования параметров сигналов АЭ из металлов выполнены доктором Дж. Кайзером, на что им получен патент в 1953 г. [2, 3]. Дж. Кайзер показал, что АЭ при деформировании обнаруживается у многих металлов, установил явление невоспроизводимости АЭ при повторном нагружении (в дальнейшем это явление было названо эффектом Кайзера). В работе [3]

Дж. Кайзер отметил существенные особенности в изменении параметров АЭ при напряжениях, соответствующих пределам упругости, текучести и прочности. Им также были изложены некоторые предположения о физической сущности явления.

Ввиду сомнений в правильности измерений его последователи Г. Борхерс и Г. Тензи [4] усовершенствовали измерительную аппаратуру, однако получили результаты, противоречащие в чем-то выводам Дж. Кайзера. Начиная с середины 1950-х гг. в США проводились интенсивные исследования АЭ. Однако, судя по публикациям, понадобилось 10 лет для получения первых положительных результатов.

Начиная с 1962 г. опубликован ряд статей, в которых рассмотрены связь параметров АЭ с механизмами деформирования, принципы построения экспериментальных установок и измерительной аппаратуры для исследования АЭ при упругопластическом деформировании ряда материалов [5–12]. АЭ применялась также для обнаружения параметров трещин, контроля качества сварки и для исследования фазовых превращений. Хотя в указанных публикациях показана возможность практического применения АЭ для диагностики прочности изделий и описана измерительная аппаратура, но о практическом применении результатов этих работ не сообщалось.

На основании анализа применяемой аппаратуры для регистрации параметров АЭ при упругопластическом деформировании образцов мы использовали МБН и из серийно выпускаемой аппаратуры собрали установку для измерения параметров АЭ. Приехавшая с проверкой из головного института комиссия сначала не одобрила работу по АЭ, так как эта работа не была связана с решением задач Госстандарта, но В.А. Грешников убедил членов комиссии в перспективности направления неразрушающего контроля (НК) и необходимости создавать опережающую метрологическую базу для обеспечения нового метода контроля.

В итоге нашему филиалу открыли бюджетное финансирование на 1970–1973 гг. по этому направлению. К работе дополнительно были привлечены кандидаты технических наук Ю.И. Болотин, А.Н. Бондаренко, А.А. Гусаков и В.А. Константинов. Были организованы лаборатории химического и структурного анализа металлов, оптических методов измерения малых перемещений, исследования АЭ при малоциклового усталости и трещинообразовании при сварке, оборудовано помещение для термической обработки образцов.

Перспективы применения АЭ для НК, возможность технической диагностики ответственных деталей и конструкций по результатам анализа зарубежных публикаций на 1970 г. и первые полу-

ченные нами результаты по исследованию АЭ на МБН из сталей 20, Ст3, 45, У8А, 40Х, 15ХГСА, 1Х18Н9Т, а также алюминиевых сплавов АМц и Д16М и латуни Л62 в состоянии поставки были доложены на семинаре Хабаровского краевого совета НТО Машпром и изданы в апреле 1971 г. [13]. В сокращенном варианте эти материалы были опубликованы в журнале «Дефектоскопия» № 6 в 1971 г. [14] и рассмотрены на общетехнической секции ХаБИИЖТ [15].

С 15 по 17 июня 1971 г. в Хабаровске состоялась научно-техническая конференция «Незрушающие методы контроля качества конструкционных материалов». В конференции приняло участие более 70 предприятий и организаций из 24 городов Советского Союза (Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Томска, Минска, Киева, Свердловска, Магнитогорска, Челябинска, Горького и др.) На пленарном заседании с докладом «Незрушающий контроль материалов и изделий с помощью эмиссии волн напряжений» выступил Ю.Б. Дробот [16], а на секции «Акустические методы неразрушающего контроля» сотрудники филиала сделали еще шесть докладов по исследованию сигналов АЭ.

Выступившие на конференции с докладами в других направлениях НК В.М. Баранов, Г.Я. Почтовик, Р.М. Брусенцова, Н.Л. Темник и другие заинтересовались возможностями АЭ-контроля и на Всесоюзном научно-техническом семинаре «Незрушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием эмиссии волн напряжений», проводившемся в Хабаровске в сентябре 1972 г., выступили со своими докладами. Этот семинар показал высокую заинтересованность в исследованиях и возможностях применения АЭ для НК и технической диагностики изделий.

Было заслушано 58 докладов специалистов из МИФИ, ЦНИИТМАШ, МИСИ (Москва), ВНИИНК (Кишинев), ИПП (Киев), В.П. Мелехина (Свердловск), Е.М. Финкель (Новокузнецк) и др. Более половины докладов представили сотрудники ХФ ВНИИФТРИ. Из докладов явствовало, что в течение года область исследования АЭ значительно расширилась как по количеству материалов, видам нагружений, диапазону температур, используемых для регистрации АЭ, датчиков, применяемой аппаратуре, так и по количеству регистрируемых параметров АЭ и диапазону частот приема сигналов АЭ.

В МИФИ проводились исследования АЭ при развитии усталостных и коррозионных трещин при температуре до 1700 °С на хрупких материалах, в ИПП на алюминиевом сплаве АМг-6 и нержавеющей стали Х18Н10Т при охлаждении до –196 °С.

В.П. Мелехин изучал АЭ при перестройке кристаллической решетки скольжением или двойникованием и фазовых превращениях. По результатам исследований во ВНИИНК было обещано до 1973 г. разработать серийные приборы для регистрации АЭ. В.И. Иванов из ЦНИИТМАШ выполнил расчет предельной чувствительности пьезодатчиками сигналов АЭ и уровня энергии при развитии трещин.

Также очень широкий диапазон исследований был предоставлен ХФ ВНИИФТРИ: АЭ при сварке и наклепе, при малоциклового усталости и повторно-статическом нагружении. Исследовано влияние скорости нагружения, вида напряженно-деформированного состояния, содержания углерода и величины зерна в углеродистых сталях, предложено по измерению интенсивности АЭ измерять напряжение физического предела текучести. Сформулированы рекомендации по разработке специализированных средств измерения параметров АЭ. Предложены устройства для амплитудного анализа АЭ, средство измерения малых амплитуд с использованием He-Ne-лазера и многолучевого интерферометра, а также абсолютной калибровки пьезопреобразователей для их аттестации и др. В обзоре ВНИИКИ из серии «Метрология и измерительная техника в СССР» [17] представлены установки для измерения параметров АЭ, результаты выполненных исследований и возможности использования их в неразрушающем контроле и диагностике состояния силовых узлов, сосудов давления, магистральных трубопроводов, сварных и клееных соединений.

В 1973 г. был разработан комплект специализированной аппаратуры для исследования АЭ, включающий: анализатор волн напряжений типа АВН-1М с малощумящим предусилителем с полосой пропускания от 15 до 1000 кГц и уровнем шумов 0,03 мкВ/кГц, блок фильтров верхних и нижних частот типа БФ-1, который позволял измерять параметры АЭ в желаемом диапазоне частот, и нормализатор импульсов для измерения амплитуды сигналов АЭ.

Разработанный специализированный прибор «Регистратор предела текучести типа РПТ-1» позволял в производственных условиях по максимуму интенсивности сигналов АЭ без измерения деформации определить достижение в сталях напряжения предела текучести [18]. Прибор показал свою работоспособность на судостроительном заводе и при испытании сосудов высокого давления на авиационном заводе в Комсомольске-на-Амуре. В дальнейшем этот прибор применялся для контроля технического состояния крышки ядерного реактора атомной подводной лодки, поиска микротечей в запорной арматуре атомных

реакторов. Это впоследствии дало начало развитию нового направления применения АЭ в течение сканирования и контроле герметичности сосудов и нефте-, газо- и паропроводов высокого давления. Прибор нашел применение для АЭ-контроля изделий и сварных соединений на «Северном машиностроительном предприятии», г. Северодвинск. Подробная информация приведена в диссертационной работе [19], которая была представлена на обсуждение в отделе ОНМИМ ЦНИИТМАШ в апреле 1974 г. и успешно защищена в январе 1975 г. благодаря помощи А.С. Матвеева в постановке ее на защиту, так как автор не был их аспирантом.

На НТК «Неразрушающий контроль качества», проведенной в ноябре 1973 г. в Новосибирске, было сделано шесть докладов по АЭ-контролю сотрудниками ХФ ВНИИФТРИ и В.И. Ивановым из ЦНИИТМАШа по применению метода АЭ для контроля металлопорошковых изделий.

Для применения АЭ-контроля в крупногабаритных изделиях была поставлена задача определения координат источника сигналов от развивающихся трещин. За решение этой задачи взялась лаборатория Б.Я. Маслова. Проблема осложнялась случайностью возникновения сигнала АЭ как по времени, так и по месту излучения в пространстве, возможностью наложения сигналов от одного и разных источников, неопределенностью в пути распространения сигналов АЭ в реальных конструкциях.

Большое внимание для выделения сигналов АЭ из производственных шумов уделялось изучению их спектра. Так как серийных анализаторов спектра для сигналов АЭ от трещин не выпускалось, то Ю.И. Лыковым были разработаны анализаторы спектра параллельного типа СА-20 на 20 каналов, а затем на 30 и 100 каналов. Теоретическими вопросами по обоснованию природы АЭ от различных источников в основном занимался Ю.Б. Дробот, а аппаратурными проблемами – В.А. Константинов.

В связи с большим интересом к изучению АЭ отраслевых НИИ к нам поступали заказы на поставку комплекта аппаратуры для научных исследований. Комплекты приборов, включающих анализатор волн напряжений типов АВН-1, АВН-1М, блок фильтров БФ-1, нормализатор импульсов НИ-1, были поставлены по хозяйственным договорам в ВИАМ, ЦАГИ, МАИ, ИМЕТ им. А.А. Байкова и др. В связи с переводом В.А. Грешникова руководителем ВНИИМАШ (г. Москва) был специально изготовлен и поставлен комплект АЭ-приборов в отдел «Физические методы исследования металлов» (начальник Е.И. Тавер) ВНИИМАШ. Полный комплект разработанной АЭ-аппаратуры, включая дополнительно приборы: регистратор предела текучести РПТ-1, спектроанализа-

тор СА-20, акустический регистратор качества сварки АРКС, АРМТ для контроля развития микротрещин и прибор для определения места развивающихся дефектов типа «АМУР-Д4», были внедрены в ИЭС им. Е.О. Патона (Киев).

В октябре 1975 г. в Хабаровске был проведен II Всесоюзный научно-технический семинар «Не разрушающий контроль напряженно-деформированного состояния материалов и изделий с использованием акустической эмиссии». На пленарном заседании Ю.Б. Дробот отметил значительное расширение масштабов исследований и областей применения АЭ. Были сформулированы проблемы для решения в ближайшее время: разработка способов селекции сигналов при локации дефектов; разработка преобразователей АЭ с заданными характеристиками и организация серийного выпуска трех – пяти типов измерительных приборов. Последнее отмечалось и в других докладах.

Всего было представлено 129 докладов, в том числе 47 ведущими предприятиями и НИИ в области неразрушающего контроля. По исследованию АЭ на моно- и поликристаллах цинка четыре доклада сделали В.Н. Бовенко и В.И. Полунин (начинал работать в Хабаровске), на монокристаллах молибдена – О.В. Гусев (Москва), по АЭ при коррозионном растрескивании – Е.В. Несмашный (ЦНИИ «Прометей», Ленинград). Применение оптических методов измерения и возбуждения АЭ рассмотрено в пяти докладах А.Н. Бондаренко и В.П. Троценко.

Впервые Ю.Б. Дробот предложил навести порядок в терминологии в области АЭ, были рекомендованы к применению термины и даны их определения. Было представлено четыре доклада по метрологическому обеспечению АЭ-контроля, в которых были описаны лазерная установка типа УЛИ-2 для абсолютной градуировки преобразователей АЭ и измерения параметров ультразвуковых полей на поверхности твердых тел, а также разработанные и аттестованные образцовые меры для калибровки пьезопреобразователей АЭ.

Возможность обнаружения микро- и макротрещин в сварных соединениях в сталях и горячих трещин при сварке труб и трубных досок из титанового сплава марки ВТ и ЗВ была рассмотрена в 11 докладах, еще 12 работ были посвящены определению растущих трещин при усталостных испытаниях. Б.Я. Маслов, В.В. Денисов и О.И. Холькин доложили о разработанном приборе «Акустический местоуказатель развивающихся дефектов» типа «АМУР-Д4», методах составления триангуляционных рядов и полученных результатах в четырех докладах. Информация о разработанной в ХФ ВНИИФТРИ аппаратуре АЭ типов АВН-1М, АВН-2, БФ-1, НИ-1, РПТ-1, СА-20, АРКС и

АРТМ была представлена в семи докладах. При исследованиях АЭ применялась экранированная кабина для защиты от электромагнитных помех. Так как в МИФИ (Москва) исследования проводились при высоких температурах, то в разработанных приборах применялись волноводы для передачи сигналов АЭ, для защиты от электромагнитных помех использовалась временная селекция закрытия канала измерения на время появления помехи. В.Н. Быриным (Ленинград) совместно с сотрудниками ХФ ВНИИФТРИ был представлен ряд интересных докладов о применении технического диагностирования корабельного оборудования с помощью АЭ и вибродиагностики.

В СССР первая книга по применению акустической эмиссии для испытаний материалов и изделий машиностроения была подготовлена в ХФ ВНИИФТРИ и издана в 1976 г. тиражом 8000 экземпляров [20]. В ней изложены физические основы явления, некоторые теоретические модели возбуждения сигналов АЭ и зависимости их параметров от источников, приведена аппаратура для обнаружения, измерения и регистрации параметров сигналов АЭ и установки для испытания конструкционных материалов. Также описаны результаты исследований в лабораторных и производственных условиях и возможности применения при испытании сосудов давления, трубопроводов и контроля качества сварки с локацией дефектов в сварных швах.

В дальнейшем работа в области АЭ-контроля продолжалась в основном по заказам отраслевых НИИ и предприятий. Так, поставлена аппаратура АЭ в НИИТП (тепловых процессов), Москва, ЦНИИ «Прометей» и ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, на Кировский завод и «Знамя труда» в Ленинграде. Внедрение разработок проводилось на «Северном машиностроительном предприятии», Северодвинск, как головном, на судостроительном заводе им. Ленинского комсомола, г. Комсомольск н/А для испытания аппаратуры и отработки методики контроля, а также аппаратура АЭ поставлялась многим другим организациям Советского Союза. Более подробная информация представлена в работе [21].

### Библиографический список

1. *Metals whisper their secrets* // The Iron Age. 1967. No. 9. P. 86–87.
2. **Keiser J.** Способ испытания материалов: Пат. ФРГ № 852771, кл. 42к, группа 34/01. 1953.
3. **Keiser J.** Erkenntnisse und Folgerungen aus der Messung von Gerauschen bei Zugbeanspruchung von metallischen Werkstoffen // Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1953. Heft 1/2. S. 43–45.

4. Borchers H., Tensi H. Piezoelektrische Impulsmessungen während der mechanischen Beanspruchung von AlMg<sub>3</sub> und Al99 // Zeitschrift für Metallkunde. 1962. Bd. 53. Heft 10. S. 692–695.
5. Dunegan H.L., Harris D. Acoustic emission – a new nondestructive testing tool // Ultrasonic. 1969. V. 7. No. 3. P. 160–166.
6. Engle R.B., Dunegan H.L. Acoustic emission: stress wave detecting as a tool for nondestructive testing and materials evaluation // International Journal of Non-Destructive Testing. 1969. V. 1. No. 1. P. 109–125.
7. Fisher R.M., Lally I.S. Micro plasticity detected by an acoustic technique // Canadian Journal of Physics. 1967. V. 45. No. 2. P. 1147–1159.
8. Gilman J.J. Advance in materials research interscience. V. 2. New-York, 1968. P. 17–43.
9. Green A.T. Detection of incipient failures in pressure vessels by stress-wave emission // Nuclear Safety. 1969. V. 10. No. 1. P. 4–18.
10. Hutton P.H. Acoustic emission in metals as an NDT tools // Materials Evaluation. 1968. V. 26. No. 7. P. 125–129.
11. Hutton P.H. Use of acoustic emission to study failure mechanism in metal // Materials Evaluation. Paper American Society Mechanics Engineering. 1969. No. 69. MET 8. P. 1–5.
12. Tatro C.A., Liptai R.G. Acoustic emission from crystalline substances // Proc. Symp. Physics and Non-Destructive Testing. 1962. P. 145–158.
13. Грешников В.А., Болотин Ю.И., Дробот Ю.Б., Ченцов В.П. Применение эмиссии волн напряжения для неразрушающего контроля и технической диагностики качества материалов и изделий // Хабаровский краевой совет НТО Машпром. Хабаровск, 1971. 96 с.
14. Болотин Ю.И., Грешников В.А., Гусаков А.А. и др. Использование эмиссии волн напряжения для неразрушающего контроля материалов и изделий // Дефектоскопия. 1971. № 6. С. 5–21.
15. Болотин Ю.И., Грешников В.А., Дробот Ю.Б., Ченцов В.П. Применение волн напряжений для контроля качества материалов и изделий // Материалы XXVII научно-технической конференции кафедр института с участием представителей железных дорог, промышленных и строительных предприятий Дальнего Востока: Тр. ХабИИЖТ. Вып. 4. Хабаровск, 1971. С. 101–105.
16. Болотин Ю.И., Грешников В.А., Гусаков А.А. и др. Неразрушающий контроль материалов и изделий с помощью эмиссии волн напряжений // Неразрушающие методы контроля качества конструкционных материалов: материалы научно-технической конференции. Хабаровск, 1971.
17. Болотин Ю.И., Грешников В.А., Гусаков А.А. и др. Применение эмиссии волн напряжений для неразрушающего контроля качества материалов и изделий. М.: Госкомстат, 1972. 72 с.
18. Болотин Ю.И., Грешников В.А., Дробот Ю.Б., Ченцов В.П. Аппаратура для определения пределов текучести с использованием эмиссии волн напряжения // Измерительная техника. 1973. № 7. С. 89–90.
19. Ченцов В.П. Разработка и исследование метода и аппаратуры для измерения предела текучести конструкционных материалов с использованием акустической эмиссии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 1974. 191 с.
20. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. М.: Изд-во стандартов, 1976. 272 с.
21. Ченцов В.П. Акустическая эмиссия при упруго-пластическом деформировании конструкционных материалов и опыт ее применения в неразрушающем контроле. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 268 с. ■

#### Ответы на кроссворд, опубликованный в № 1 (январь – март), 2019

**По горизонтали:** 1. Кварц. 4. Фокус. 6. Строб. 9. Имитатор. 10. Локация. 11. Дрейф. 14. Образец. 15. Бетатрон. 16. Дозиметр. 17. Маскировка. 20. Фон. 21. Тандем. 23. Раствор. 25. Волна. 27. Метод. 29. Узел. 30. Схема. 31. Отбел. 32. Краска.

**По вертикали:** 2. Цвет. 3. Ярмо. 4. Фаза. 5. Кюри. 6. Сердечник. 7. Стрела. 8. Подрез. 12. Форма. 13. Измерение. 14. Обдуватель. 18. Тепловизор. 19. Гаситель. 20. Феррит. 22. Наводка. 24. Вид. 26. Сигнал. 28. Паста.

#### Ответы на кроссворд, опубликованный в № 2 (апрель – июнь), 2019

**По горизонтали:** 4. Заусенец. 5. Катод. 6. Спектр. 7. Регулировка. 9. Оценка. 11. Приемник. 12. Твердомер. 15. Спектроанализатор. 17. Децибел. 19. Импульс. 21. Эхо. 22. Мишень. 26. Сканер. 27. Шторка. 28. Ус. 29. Плена. 30. Подрез.

**По вертикали:** 1. Дуэт. 2. Усиление. 3. Раствор. 5. Карта. 8. Шум. 10. Окно. 12. Толщиномер. 13. Риска. 14. Анализ. 16. Стойкость. 18. Блок. 20. Помеха. 21. Экран. 23. Шаг. 24. Надрез. 25. Анод. 29. Паз.