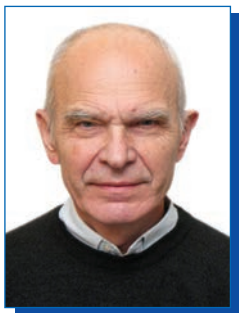


ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДА АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ



ИВАНОВ Валерий Иванович

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

Кратко описано развитие метода акустической эмиссии в СССР и РФ, перечислены организации и специалисты, участвовавшие в процессе развития метода АЭ в XX веке.

Вашему вниманию представлен материал в виде статьи, отражающий взгляд автора на мозаичную картину развития метода акустической эмиссии (АЭ) в России. По мнению автора, метод АЭ является тонким и в то же время могучим инструментом исследования динамических процессов в твердом теле, жидкости и газе, а также наиболее мощным методом неразрушающего контроля и технического диагностирования (НК и ТД). Однако поначалу возникали вопросы относительно того, считать метод АЭ неразрушающим или разрушающим. Аргументом в пользу последнего определения некоторые специалисты полагали, что при лабораторных исследованиях, например, с использованием испытательных образцов эти образцы доводились до разрушения. Однако возобладало мнение, которое поддерживал и автор статьи, что метод АЭ является методом НК.

Участвуя в развитии метода АЭ, автор пришел к мнению относить метод АЭ к методу технической диагностики [1]. Акустико-эмиссионную диагностику (АЭД) мы номинируем как метод определения технического состояния объекта в целях оценки его безопасности и прогнозирования ресурса.

Специальные исследования явления АЭ проводились в нашей стране потихоньку с начала XX века. В развитии метода АЭ можно выделить несколько этапов, включая нулевой (природный, естественный):

- этап начального интереса к явлению;

- этап начальных последовательных лабораторных исследований;
- этап начальных промышленных применений и более углубленных лабораторных исследований;
- этап широких промышленных применений;
- этап превращения метода НК АЭ в метод ТД и мониторинга.

Первый взрывной подъем интереса к методу АЭ в СССР произошел в конце 1960-х – начале 1970-х гг., когда пришло понимание, что этот метод может стать мощным инструментом исследования деформации и контроля процессов образования и развития дефектов. Второй подъем произошел в начале и середине 1990-х гг., в постперестроечное время, когда большая когорта специалистов из НИИ вынуждена была оставить сугубо научные исследования и пойти в промышленность для использования метода АЭ в практике промышленного неразрушающего контроля.

Акустическая эмиссия как природное явление существовала еще до появления жизни на Земле. Человечество начал использовать данное явление для ориентации в окружающем его мире задолго до появления термина «акустическая эмиссия». Так, первобытный человек, слыша треск ломающихся сучьев под крадущимся хищником, хруст снега, грохот лавины, ощущая землетрясение, должен был делать соответствующие выводы, чтобы выжить. Это было жизненно важно. Таким образом, явление акустической эмиссии было известно человеку с древних времен.

Сведения о работах в области акустической эмиссии приведены в работах [2–5] и ряде других. Расширенный исторический очерк по использованию явления акустической эмиссии приведен в реферативном сборнике [6], в котором перечислены акустические явления, упомянутые и отмеченные в исторических текстах и преданиях, начиная с нескольких тысячелетий до новой эры.

Акустические эффекты, которые мы в настоящее время называем акустической эмиссией (АЭ), естественно, слышали древние гончары, когда в процессе изготовления трескались их изделия. Это было за 6–7 тыс. лет до рождения Христа. Наверное, слышали акустические сигналы мастера бронзового века, когда удалось получить олово и оно издавало звуки при изгибе предметов, как мы сейчас понимаем, в результате двойникования. Впоследствии возник даже специальный термин «крик олова». Древнейшие куски олова найдены на острове Лесбос. Возраст их более 2600 лет до новой эры. Первое записанное на бумаж-

ном носителе наблюдение АЭ было сделано в VIII веке арабским алхимиком Джабиром ибн Хайяном, когда его удивили звуки при деформировании олова (Юпитера). Он также описал звуки, издаваемые железом (Марсом) при его отливке. Сейчас эти звуки соотносятся с мартенситными превращениями.

В XX веке начались первые научные исследования АЭ. В 1916 г. Г. Чохральский описал акустические явления в цинке и олове. А.М. Портевен и Ф. Ле Шателье (1924 г.) отмечали, что слышен звук на расстоянии нескольких метров при прерывистых пластических деформациях и формировании полос Людерса при деформировании образцов из алюминий-медных-марганцевых сплавов. Известные физики П.С. Эренфест и А.Ф. Йоффе (1924 г.), Р.Дж. Андерсон (1926 г.), М.В. Классен-Неклюдова (1929 г.), Э. Шеил (1929 г.), П.В. Бриджмэн (1937 г.) отмечали и исследовали звуковые эффекты при деформации каменной соли, в монокристаллах цинка, образцах дюралюминия за пределом текучести и перед разрушением, акустические эффекты в монокристаллах и поликристаллах латуни, поликристаллах алюминия, при образовании мартенсита в стали, при сжимающих нагрузках при скручивании многих металлов и неметаллов — титана, стронция и др. Ч.С. Баррет отмечал звуковые эффекты при трансформации лития в гранецентрированную кубическую решетку наподобие звуковых эффектов при двойниковании олова или магния и образовании мартенсита. Он заключил, что трансформация идет отрывистым сдвиговым движением в малых изолированных районах.

Следующий этап был связан с исследованием АЭ на образцах. Первые исследования были проведены в Германии Ф. Форстером и Э. Шейлом в 1936 г. Они отмечали звуковые эффекты при образовании мартенсита в стали с 29% никеля. В США У.П. Мэйсон, Х.Дж. Макскимин и В. Шокли исследовали звуковые эффекты при деформировании сжатием чистого олова. При деформировании алюминиевых кристаллов звуковых эффектов они не регистрировали. Третий эксперимент с применением приборов и образцов был проведен в Англии Д.Дж. Миллером в 1950 г. Он исследовал двойникование в монокристаллических проводах кадмия.

Звуковые эффекты отмечались А.Ф. Йоффе в экспериментах по деформации цинка и каменной соли. Систематическое исследование АЭ в горном деле началось вскоре после окончания Второй мировой войны М.С. Анцыферовым в Институте горного дела им. А.А. Скочинского [7]. Работы проводились в звуковом диапазоне 20 Гц — 18 кГц с использованием довольно несовершенной техники, соответствующей уровню того времени. Однако результаты были весьма важными и могли обеспечить предупреждение одной из наиболее серьезных опасностей при проведении горных работ — вне-

запных горных ударов. Однако повсеместного внедрения результатов этих работ в то время не удалось достичь. До сих пор многие аварии на шахтах связаны с этими явлениями.

Большинство из перечисленных выше работ, за исключением работ М.С. Анцыферова, носило характер научных, лабораторных исследований, не связанных с практическим применением результатов. В них выявлялись акустические эффекты при деформировании и разрушении различного рода материалов. До Второй мировой войны звуковые эффекты регистрировались в основном «невооруженным» ухом, т.е. отмечалось наличие своеобразного звукового явления при тех или иных ситуациях в различных материалах. Настоящие лабораторные исследования с применением специальных образцов, приборов и организацией экспериментов начались в 50-х гг. XX века.

Систематические целенаправленные работы по исследованию АЭ как объекта научного изучения первым начал проводить И. Кайзер в Германии в начале 1950-х гг. Он испытывал образцы из обычных конструкционных материалов, нагружая их в испытательной машине, и искал связь АЭ с кривой нагружения. И. Кайзер регистрировал АЭ во всех испытанных им материалах, включая олово, свинец, дюралюминий, медь, латунь, чугун, сталь конструкционную, сталь инструментальную и дерево. Именно им был открыт эффект прекращения регистрации эмиссии при повторном нагружении образца вплоть до достижения нагрузки предыдущего цикла. Природа данного эффекта была впоследствии объяснена, а эффект был назван его именем. И. Кайзером были также идентифицированы два вида АЭ — непрерывная и импульсная.

Работы по интенсивному исследованию АЭ продолжены в конце 1950-х — начале 1960-х гг. в США Б.Х. Скофилдом, К.А. Тэтро и другими исследователями. В 1961 г. А. Грин с коллегами при гидроиспытаниях корпусов ракет отметили звуковые эффекты, на которые они обратили внимание и начали их регистрировать с использованием приборов. Осмотр объекта контроля выявил в корпусе развивающуюся трещину, которая затем привела к разрушению при нагрузке 56% от величины испытательной нагрузки. Тот факт, что, регистрируя АЭ, можно обнаружить развивающийся дефект, определить его координаты и предсказать возможное разрушение, немедленно возбудило взрывной интерес к этому явлению. Х. Данеган, работая в Ливерморской радиационной лаборатории, заинтересовался АЭ в 1962 г.

Научная и деловая активность Б.Х. Скофилда, К.А. Тэтро, Х. Данегана, А.Т. Грина и ряда других американских специалистов привела к ускоренному и широкому использованию метода АЭ для контроля промышленных объектов в США, начиная с середины 1960-х годов. Первая компания по



Рис. 1. Участники Первого всесоюзного семинара в Хабаровске (река Амур, 1972 г.). Слева направо: В.И. Иванов, О.В. Гусев, Е.Г. Смирнов, М.А. Стрельчик

производству аппаратуры АЭ и контролю производственных объектов была создана Х. Данеганом в 1969 г. Несколько позднее в развитии метода АЭ приняли участие А. Поллок, С. Вахавиолос и др. Энергичные американские деловые ученые и инженеры, еще не выяснив природу АЭ, активно продвигали метод АЭ в промышленность.

Исследования АЭ в СССР были начаты в конце 60-х – начале 70-х гг. XX века. Первыми организациями были НПО «Дальстандарт», НПО «ЦНИИТМАШ», ПО «Волна», ИМЕТ, НИИТМ, ИАЭ и ряд других. Первый всесоюзный семинар «Не разрушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием «эмиссии волн напряжений» был организован под руководством В.А. Грешникова в Хабаровском филиале ВНИИФТРИ в 1972 г. В семинаре приняло участие 82 докладчика (Приложение 1), зачитано 57 докладов. На фотографии (рис. 1) участники семинара на теплоходе на реке Амур. Через месяц состоялся второй семинар – в Москве.

На развитие метода АЭ в СССР оказали влияние и связи ученых и организаций с зарубеж-



а



б

Рис. 2. Советско-американский семинар 1975 г.: а – перед семинаром в Москве, в гостинице «Киевская». Слева направо: А. Pollock, В. Иванов, М. Gross, Н. Dunegan, D. Harris, М. Kelly, А. Вонилкин; б – в зале заседаний

ными специалистами и фирмами. В частности, в мае 1975 г. в ЦНИИТМАШ (при поддержке Минэнерго – В.В. Черныха) был проведен семинар с участием фирмы «Данеган/Эндевко», на котором американские и английские специалисты ознакомили коллег со своими научными и техническими разработками (рис. 2).

Впоследствии в СССР приезжали известные специалисты Ю. Айсенблаттер (Германия), Р. Грин (США) и др. Тесное сотрудничество установилось с президентом Американского общества неразрушающего контроля (в 1990-х гг.), президентом фирмы РАС С. Вахавиолосом. Впоследствии была организована совместная фирма «Диапак». Многим специалистам в области АЭ интересно было участвовать в семинарах, организованных в 1980-е гг. А.Я. Недосекой сначала в Киеве (ИЭС), затем и в Болгарии в 1988, 1989 гг.

Первая всесоюзная АЭ-конференция была проведена в 1984 г. (г. Ростов-на-Дону, НИИМПМ, организатор А.С. Трипалин при поддержке акад. И.И. Воровича) (рис. 3).



Рис. 3. Значок Первой всесоюзной АЭ-конференции

Вторая всесоюзная конференция была проведена в 1987 г. (ВНИИНК, г. Кишинев, организатор В.Н. Соседов). Третья конференция прошла в 1987 г. (НИКИМТ, г. Обнинск, организаторы Л.П. Волков, Н.Н. Колоколова). Четвертая конференция была проведена в 2008 г. в рамках РИСКОМ (г. Липки, организатор В.Г. Харебов).

Конференции, семинары (Приложение 2) и разработка НТД проводились под эгидой общественных организаций. Рабочая группа по АЭ при Госкомитете по науке и технике была создана в 1975 г. В.А. Грешниковым. После его отъезда в длительную командировку группу возглавил В.И. Иванов. Рабочая группа просуществовала до распада страны в 1991 г. С 1996 г. при Госгортехнадзоре России был создан Экспертно-консультативный совет по проблемам применения метода акустической эмиссии для контроля объектов, подведомственных Госгортехнадзору России. Совет возглавили А.А. Шаталов и В.И. Иванов.

Наибольший вклад в развитие метода АЭ в СССР и России и большой объем работ выполнили следующие организации и специалисты:

В.А. Грешников, став директором Хабаровского филиала ВНИИФТРИ (ХФ ВНИИФТРИ) в 1968 г., развернул исследования АЭ широким фронтом. Были времена (70-е–80-е гг. XX века), когда в ХФ ВНИИФТРИ число

сотрудников, занимающихся АЭ-исследованиями и разработками, превышало 150 человек. Ведущие специалисты: Ю.Б. Дробот, Ю.И. Болотин, В.А. Константинов, А.М. Лазарев, Л.А. Маслов, Ю.И. Лыков, В.П. Ченцов, В.И. Панин, В.В. Лупанос, А.Н. Бондаренко, В.И. Бесхлебный, В.П. Троценко, И.В. Гулевский, В.Д. Рубинштейн, В.В. Нечаев, А.П. Дроздов, В.И. Полунин, В.А. Кротов, В.И. Архипов, Б.Я. Маслов и др.

Основное направление было связано с исследованиями АЭ в целях разработки методов и средств неразрушающего контроля производственных объектов. Большое внимание было уделено исследованиям связи АЭ и механических параметров и свойств конструкционных материалов. Были разработаны методики испытаний лабораторных образцов и создана специализированная испытательная техника, в частности «бесшумная» испытательная машина, в которой нагружение осуществлялось наливанием воды в бак, связанный рычагом с устройством нагружения образца. Создана специальная камера типа камеры Фарадея, защищенная от внешних электромагнитных помех замкнутой металлической сеткой.

Получен большой объем информации, позволивший, например, ввести понятие физического предела текучести материалов (В.П. Ченцов) и определить факторы, влияющие на АЭ-параметры материалов. Разработана модель излучения АЭ-импульсов трещиной (Л.А. Маслов). Проводились исследования влияния технологических операций, в частности наклепа, на АЭ-свойства. Большое внимание было посвящено исследованиям процессов сварки, усталости металлов.

Особое направление было связано с отработкой методик измерения параметров АЭ и метрологического обеспечения. Разработаны методы и средства амплитудного анализа сигналов АЭ. Для измерения смещений поверхности в целях метрологических измерений параметров АЭ была создана установка высшей точности с использованием лазерного интерферометра.

В НПО «ЦНИИТМАШ» начались работы в области АЭ-контроля под руководством В.И. Иванова в 1970 г., когда возникла необходимость комплексного и системного подхода оценки безопасности производственных объектов. Метод АЭ в этом отношении давал больше возможностей, чем другие методы НК. Исследования АЭ проводили: С.П. Быков, В.Н. Куранов, А.Н. Рябов, К.К. Царев, А.А. Юдин, О.Р. Туйкин, В.А. Васильев, В.В. Фомин, В.С. Урусов, В.Д. Королев, М.Д. Байков, В.Н. Игнатов, С.А. Воронин, В.П. Пронин, Л.И. Доможиров и др.

Проводились исследования во всех направлениях, которые обеспечивали использование АЭ-метода как метода исследования свойств материалов, развития дефектов, контроля процессов сварки, ис-

следований и разработки в области НК и ТД, создания соответствующих методических документов.

Основные результаты в области АЭ, полученные в НПО «ЦНИИТМАШ»

- Проведены исследования и разработана система классификации и показателей ПАЭ, что позволило предложить в качестве основной характеристики ПАЭ считать импульсную, а не амплитудно-частотную (рис. 4).
- В 1972–1983 гг. выполнена теоретическая оценка предельной чувствительности АЭ-приборов и ПАЭ (составляет ~ 1 мкм²).
- В 1981 г. разработан локально-динамический критерий оценки источников АЭ. Впоследствии его название трансформировалось – критерий Иванова – Быкова [1]. Предложено понятие катастрофически активного источника АЭ (рис. 5).
- В 1982 г. разработана методика оценки предельного срока эксплуатации объектов по результатам АЭ-контроля.
- В 1985 г. создана модель формирования единичного импульса АЭ (опубл. в ДАН СССР в 1986 г.). Предложено понятие «фрактон» – АЭ-квант разрушения.
- В 1980–1985 гг. создана модель роста усталостной трещины (опубл. в ДАН СССР в 1986 г.).
- В 1985 г. введено понятие устойчивости параметров акустической эмиссии.
- В 1987 г. введено понятие и проведена оценка достоверности АЭ-контроля.
- В 1990 г. создана четырехуровневая система классификации и оценки источников АЭ с введением критериев браковки.
- В 1990 г. создана методика численного анализа прохождения сигналов АЭ через преобразователь.
- В период 1970–1990 гг. разработано большинство отечественных ГОСТов, методических и нормативно-технических документов в области АЭ (в частности, ГОСТ 27655–88, ПБ 03-131–97 и ПБ 03-593–2003, РБ 03-199–99, ПБ 03-300–99).

Перечисленные результаты были получены после испытаний нескольких сотен реальных объектов и моделей, доведенных до разрушения, и многих тысяч лабораторных образцов.

В Иркутск НИИХИММАШ С.П. Быков с участием А.В. Юшина продолжил работы в области АЭ, начатые в ЦНИИТМАШ.

НПО «Волна» (ВНИИНК), г. Кишинев. На первом этапе при поддержке В.Н. Соседова проводились поисковые работы по исследованию параметров АЭ различных материалов и в различных условиях нагружения. Далее был разработан широкий спектр аппаратуры АЭ. Ряд разработок был доведен до серийного выпуска АЭ-приборов и систем. ВНИИНКом совместно с ИАЭ им. И.В. Курчатова была разработана многоканальная АЭ-система мо-

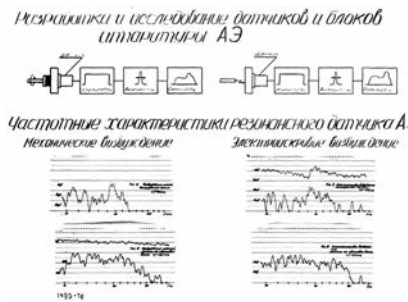


Рис. 4. Начало исследований ПАЭ. Схема калибровки ПАЭ с использованием щеточного и электроискрового возбуждения. Внизу приведены соответствующие АЧХ (1970–1974 гг.)

дели АФ-33, которая использовалась на атомных электростанциях. В работах в разное время принимали участие: И.И. Авербух, А.Ю. Детков, В.Е. Вайнберг, Л.М. Кушкулей, В.Н. Колмогоров, В.К. Анисимов, В.Б. Пастернак и др.

В ИАЭ им. И.В. Курчатова работы в области АЭ начались в 1975 г. по инициативе К.Б. Вакара и при поддержке президента АН СССР, директора института акад. А.П. Александрова. Сначала были созданы две лаборатории, которые возглавили К.Б. Вакар и Г.В. Яковлев. Первая из них занялась методическими исследованиями и разработкой математического обеспечения, вторая – разработкой аппаратуры. В дальнейшем этими лабораториями руководили В.В. Шемякин и С.А. Тарараксин. Кроме них в работах принимали участие Н.И. Овчинников, Д.П. Красильников, А.Л. Ниссельсон, В.И. Артюхов, В.И. Макаров, В.Н. Перевезенцев, В.Р. Ржевкин, В.И. Иванов, В.С. Евстропов, Т.Б. Петерсен и др. Параллельно в том же институте работала группа специалистов-прочнистов под руководством А.А. Тутнова и И.А. Тутнова.

В результате выполненных работ были созданы первые отечественные многоканальные системы АЭ-контроля объектов атомной энергетики, которые в дальнейшем выпускались ПО «Волна», г. Кишинев. В настоящее время созданы фирмы «Диатон» и «Диапак» с участием ряда сотрудников ИАЭ. Фирмы разрабатывают и применяют приборы АЭ для контроля производственных объектов.

НИИТМ, г. Москва. Работы в области АЭ начались в 1971–1973 гг. по инициативе Е.Д. Мезинцева. Основной целью была разработка методов и средств АЭ-контроля специзделий космической техники. В работах принимала участие группа сотрудников, среди которых В.И. Карпов, Н.В. Бобылев, К.В. Хилков и др.

ИМЕТ им. А.А. Байкова проводил исследования источников АЭ при пластической деформации, изучение развития трещин, начиная с 1972 г., с участием О.И. Гусева, А.Г. Пенкина. Группа Л.И. Маслова организовала исследования АЭ и разработку

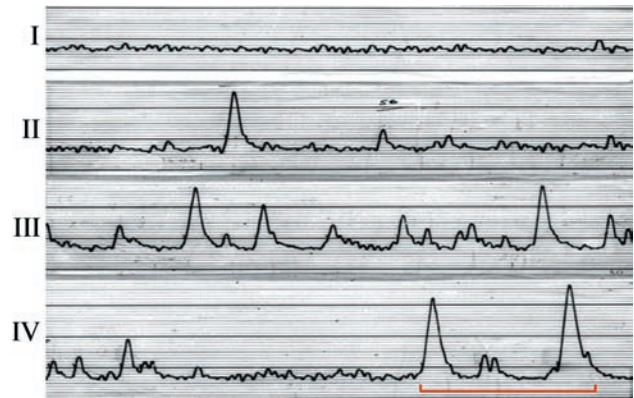


Рис. 5. АЭ (запись на самописец В&К) при разрушении изгибаемого образца на разных стадиях (I – пассивный источник; II – активный источник; III – критически активный источник; IV – катастрофически активный источник, выделено красной линией). Это первые качественные записи АЭ, 1971 г.

аппаратуры применительно к контролю промышленных объектов, строительных конструкций, мостов. Ряд работ в области АЭ выполнено под руководством Л.Р. Ботвиной.

ИЭС им. Е.О. Патона, г. Киев. Работы начались в 1975–1976 гг. по инициативе и при поддержке академика Б.Е. Патона. Был создан отдел, руководимый А.Я. Недосекой, в котором проводились работы по исследованию АЭ и созданию многоканальной аппаратуры для контроля различных объектов. В работах в ИЭС принимали участие А.А. Грузд, Н.Т. Хромьяк, Ю.В. Жбанов, Т.М. Швец, И.В. Пархоменко, А.Р. Донин и др.

РГУ, г. Ростов-на-Дону. В НИИ механики и прикладной математики РГУ при поддержке акад. И.И. Воровича в отделе А.С. Трипалына исследованиями АЭ и разработкой средств АЭ-контроля активно занималась большая группа сотрудников, включая С.И. Буйло, С.Г. Хорошавину, В.М. Шихмана, А.И. Козинкину и др.

МИФИ, г. Москва. Работы, возглавляемые В.М. Барановым, затрагивали широкий круг проблем в области АЭ. Исследованы источники АЭ, связанные с пластической деформацией и ростом трещины. Подробно исследованы процессы излучения упругих колебаний в процессе коррозии. В работах принимали участие С.А. Сарычев, Е.М. Кудрявцев, К.И. Молодцов, В.М. Щавелин, Т.В. Губина и др.

ЛФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург. В институте метод АЭ использовался как один из тонких инструментов исследования процессов, происходящих в твердых телах и влияющих на прочность объекта. Исследования физики разрушения материалов и АЭ проводили: В.С. Куксенко, А.М. Лексовский, В.А. Петров, В.Н. Савельев, С.А. Станчиц и др. Систематические и целенаправленные исследования начались после 1975 г. по просьбе академика А.П. Алек-

сандрова подключиться к работам в рамках решения проблемы создания методов и средств АЭ-контроля атомных энергетических объектов. В дальнейшем В.А. Петров совместно с Г.В. Петровым создали фирму «ОРК», а В.Н. Савельев – фирму «Прадиком».

В ЗАО «КОНТЕС», г. Санкт-Петербург, под руководством В.Н. Бырина созданы АЭ-течеискатели, используемые на кораблях ВМФ.

В ЦКТИ им. И.И. Ползунова, г. Санкт-Петербург, под руководством Е.Ю. Нефедьева систематически проводились работы по исследованию АЭ при деформации и разрушении объектов энергетики.

В ОАО «Оргэнергонефть» (Самарский филиал) под руководством И.Э. Власова работы в области АЭ начались в 1985 г. Это были первые в стране профессиональные работы по контролю промышленных объектов в нефтяной, газовой, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности и в энергетике. В работах принимали участие А.А. Сазонов, С.А. Киселев, В.В. Кучеров и др.

В НПО «ВНИКТИ «Нефтехимоборудование» работы в области АЭ начались с 1978 г., когда в лабораториях Ю.А. Нечаева и Б.П. Пилина были развернуты работы по АЭ-контролю. Основное направление работ – применение метода АЭ для контроля производственных объектов. В работах участвовали З.И. Ролдугина, В.А. Семенцов, А.Г. Комаров, В.Н. Толкачев, В.И. Эльманович и др.

ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, г. Санкт-Петербург. Работы в области АЭ были начаты в 1979 г. (В.А. Гуменюк, А.В. Яковлев, В.А. Сульженко, В.А. Казаков, Н.А. Казаков, впоследствии Е.И. Несмашный). Основное направление – исследование процессов роста трещин при статических и циклических испытаниях, диагностика объектов, контроль процессов сварки.

В Ижевском государственном техническом университете проводятся исследования излучения акустических волн растущими трещинами. Руководил работами Г.А. Буденков. В настоящее время работу в области АЭ продолжают В.В. Муравьев, О.В. Муравьева.

С распадом СССР произошли существенные изменения в организациях, работающих в области АЭ. Многие известные научные центры потеряли свой потенциал. Появились новые организации и фирмы, занимающиеся применением метода АЭ в промышленности. Большинство научных работников, чтобы получить стабильное финансирование, перешли на работу в промышленность, выполняя порой непосредственно работы по неразрушающему контролю производственных объектов. Среди фирм, появившихся за последнее время, можно отметить следующие.

В фирме «Интерюнис», г. Москва, разработка аппаратуры АЭ под руководством В.Г. Харебова началась в 1988 г. Созданы многофункциональные

системы АЭ-контроля, основная модель – «А-Лайн 32» с различными модификациями. Фирма занимает одно из ведущих мест в России по производству и продажам аппаратуры АЭ. В этих работах приняли участие С.В. Елизаров, В.А. Барат, Д.А. Терентьев и др. («Интерюнис ИТ»).

В Тольяттинском государственном университете Д.Л. Мерсон исследовал АЭ, возникающую на поверхности и в объеме твердых тел.

Большой объем работ по исследованию АЭ и разработке аппаратуры АЭ был выполнен в г. Новосибирске в ФГУ «СибНИИ им. С.А. Чаплыгина» и Сибирском государственном университете путей сообщения под общим руководством А.Н. Серьезнова. В этих работах принимали участие: Л.Н. Степанова, В.В. Муравьев, К.Л. Комаров, А.Е. Кареев, С.И. Кабанов, Е.Ю. Лебедев, В.Л. Кожемякин, А.Л. Бобров, Е.В. Бояркин, М.В. Муравьев, С.А. Бехер, И.С. Рамазанов, Б.М. Харламов и др.

Метод АЭ продолжает с переменным успехом и поэтапно развиваться как в нашей стране, так и за рубежом. Свидетельством этого является увеличение числа специалистов по АЭ-контролю. Кроме того, регулярно выходят книги по АЭ. Список основных книг приведен в Приложении 3. Работы по использованию метода АЭ для контроля промышленных объектов проводятся с использованием методических документов, список которых приведен в Приложении 4.

Автор статьи просит прощения у тех специалистов и организаций, которые не были упомянуты в тексте из-за ограниченности объемов как текста, так и памяти, энергии и времени автора.

Библиографический список

1. Иванов В.И., Барат В.А. Акустико-эмиссионная диагностика: справ. М.: ИД «Спектр», 2017. 368 с.
2. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов, 1976, 272 с.
3. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии // Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7. Кн. 1. 2-е изд, дораб. М.: Машиностроение, 2006. 340 с.
4. Неразрушающий контроль. Россия. 1990–2000 гг.: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, С.В. Румянцев и др.; под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2001. 616 с.
5. Иванов В.И., Белов В.М. Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. М.: Машиностроение. 1981. 183 с.
6. Druillard T.F. Acoustic Emission. A Bibliography with Abstracts. New York: IFI/Plenum, 1979. 787 p.
7. Анцыферов М.С., Анцыферова Н.Г., Каган Я.Я. Сейсмоакустические исследования и проблемы прогноза динамических явлений. М.: Наука, 1971. 136 с.

Приложение 1

Докладчики на Первом всесоюзном семинаре «Неразрушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием эмиссии волн напряжений»

1972 г., Хабаровск. Первые специалисты в области АЭ в СССР

- | | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 1. Авербух И.И. | 22. Залесский В.В. | 43. Максак В.И. | 63. Проскурин В.Ю. |
| 2. Архипов В.И. | 23. Захаров Ю.А. | 44. Маслов Л.А. | 64. Рожков Е.В. |
| 3. Бакшаев Б.Г. | 24. Зейтман Г.И. | 45. Мелехин В.П. | 65. Рубинштейн В.Д. |
| 4. Баранов В.М. | 25. Зотов А.Д. | 46. Милосердин Ю.В. | 66. Рыбка С.И. |
| 5. Бегма О.Б. | 26. Иванов В.И. | 47. Мильштейн Л.И. | 67. Рыжиков С.А. |
| 6. Белов В.М. | 27. Иевлев И.Ю. | 48. Минц Р.И. | 68. Самсонов В.А. |
| 7. Бесхлебный В.И. | 28. Коваль И.Г. | 49. Молодцов К.И. | 69. Семенов В.Я. |
| 8. Билибин В.В. | 29. Колмогоров В.Н. | 50. Мосесов М.Д. | 70. Смоленская Н.Г. |
| 9. Болотин Ю.И. | 30. Комарова Г.П. | 51. Надлер В.Б. | 71. Соседов В.Н. |
| 10. Бондаренко А.Н. | 31. Константинов В.А. | 52. Нечаев В.В. | 72. Темник Н.Л. |
| 11. Вайнберг В.Е. | 32. Корнилова Г.А. | 53. Никонов В.И. | 73. Трипалин А.С. |
| 12. Войницкий А.Г. | 33. Корсуненко А.А. | 54. Новиков А.А. | 74. Троценко В.П. |
| 13. Горловский В.А. | 34. Кортон В.С. | 55. Новиков Н.В. | 75. Филиппова Н.Б. |
| 14. Градинар В.В. | 35. Кротов В.А. | 56. Однопозов Л.Ю. | 76. Хрусталева А.Ф. |
| 15. Грешников В.А. | 36. Кушкулей Л.М. | 57. Панин В.И. | 77. Чегоринская О.Н. |
| 16. Гузь И.С. | 37. Лазарев А.М. | 58. Перебейнос Б.П. | 78. Ченцов В.П. |
| 17. Гулевский И.В. | 38. Лихацкий С.И. | 59. Полуниин В.И. | 79. Шишелов И.А. |
| 18. Гусаков А.А. | 39. Лобастов Г.Я. | 60. Полунина О.В. | 80. Шушунов В.Н. |
| 19. Дробот Ю.Б. | 40. Лукьянов В.И. | 61. Портной Н.Я. | 81. Щербачева В.Н. |
| 20. Дроздов А.П. | 41. Лупанос В.В. | 62. Почтовик Г.Я. | 82. Шукин Е.А. |
| 21. Зайцев Е.Л. | 42. Лыков Ю.И. | | |

Приложение 2

Специализированные семинары и конференции по акустической эмиссии

1. Незарушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием эмиссии волн напряжений. Всесоюзный научно-технический семинар. г. Хабаровск, сентябрь 1972 г.
2. Применение эмиссии волн напряжений для неразрушающего контроля качества материалов и изделий. Московский научно-технический семинар, г. Москва, октябрь 1972 г.
3. Незарушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием эмиссии волн напряжений. Всесоюзный научно-технический семинар, г. Хабаровск, октябрь 1975 г.
4. Акустическая эмиссия материалов и конструкций (1-я Всесоюзная конференция), г. Ростов-на-Дону, 1988 г. Председатель оргкомитета академик И.И. Ворович.
5. II Всесоюзная конференция по акустической эмиссии, г. Кисинев, ноябрь 1986 г. Председатель оргкомитета В.Н. Соседов.
6. III Всесоюзная научно-производственная конференция по акустической эмиссии. Теория и практика, г. Обнинск, сентябрь 1992 г. Председатель оргкомитета Л.П. Волков.
7. IV Международная конференция «Акустическая эмиссия. Достижения в теории и практике», Москва – Липки, октябрь 2008 г. Председатель оргкомитета В.Г. Харебов.

Приложение 3

Список книг по акустической эмиссии

1. **Акустическая эмиссия** гетерогенных материалов: темат. сб. Л.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 1986. 176 с.
2. **Акустическая эмиссия** и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике / В.И. Артюхов, К.Б. Вакар, Н.И. Овчинников и др., под ред. К.Б. Вакара. М.: Атомиздат, 1980. 216 с.
3. **Акустическая эмиссия** материалов и конструкций: 1-я Всесоюз. конф. Ч. 1 / ред. И.И. Ворович, А.С. Трипалин, В.И. Иванов и др. Ростов н/Д: Изд-во Ростовск. ун-та, 1989. 192 с.
4. **Акустическая эмиссия** материалов и конструкций: 1-я Всесоюз. конф. Ч. 2 / ред. И.И. Ворович, А.С. Трипалин, В.И. Иванов и др. Ростов н/Д: Изд-во Ростовск. ун-та, 1989. 160 с.
5. **Андрейкив А.Е., Лысак Н.В.** Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения / отв. ред. В.В. Панасюк; АН УССР. Физ.-мех. ин-т. Киев: Наук. думка, 1989. 176 с.
6. **Баранов В.М., Губина Т.В.** Применение акустической эмиссии для исследования и контроля коррозионных процессов. М.: МИФИ, 1990. 72 с.
7. **Баранов В.М., Молодцов К.И.** Акустикоэмиссионные приборы ядерной энергетике. М.: Атомиздат, 1980. 144 с.
8. **Бачегов В.Н., Дробот Ю.Б., Лупанос В.В.** Акустическое контактное течеискание. Хабаровск: НТО Машиностроительной промышленности, 1987. 77 с.
9. **Буденков Г.А., Недзвецкая О.Н.** Динамические задачи теории упругости в приложении к проблемам акустического контроля и диагностики. М.: Физматлит, 2004. 136 с.
10. **Буйло С.И.** Физико-механические и статистические аспекты повышения достоверности результатов акустико-эмиссионного контроля и диагностики. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. 192 с.

11. Бунина Н.А. Исследование пластической деформации металлов методом акустической эмиссии. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. 156 с.
12. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов, 1976, 272 с.
13. Гусев О.В. Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов. М.: Наука, 1982. 108 с.
14. Дробот Ю.Б., Грешников В.А., Бачегов В.Н. Акустическое контактное течеискание. М.: Машиностроение, 1989. 120 с.
15. Дробот Ю.Б., Лазарев А.М. Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. М.: Изд-во стандартов, 1987, 128 с.
16. Иванов В.И., Барат В.А. Акустико-эмиссионная диагностика: справ. М.: ИД «Спектр», 2017. 368 с.
17. Иванов В.И., Белов В.М. Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
18. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии // Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7. Кн. 1. 2-е изд., дораб. М.: Машиностроение, 2006. 340 с.
19. Киражик А.В., Железная И.Л. Акустическая диагностика узлов и блоков РЭА. М.: Радио и связь, 1984. 192 с.
20. Неразрушающие методы контроля. Спецификатор различий в национальных стандартах разных стран. Т. 2, 3 / под ред. В.Я. Кершенбаума. М.: Наука и Техника, 1994, 1995.
21. Свириденко А.И., Мышкин Н.К., Калмыкова Т.Ф., Холодилов О.В. Акустические и электрические методы в триботехнике / под ред. В.А. Белого. Минск: Наука и техника, 1987. 280 с.
22. Семашко Н.А., Шпорт В.И., Марьин Б.Н. и др. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении. М.: Машиностроение, 2002. 240 с.
23. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Муравьев В.В. и др. Диагностика объектов транспорта методом акустической эмиссии. М.: Машиностроение—Полет, 2004. 368 с.
24. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Кабанов С.И. и др. Акустико-эмиссионный контроль конструкций. М.: Машиностроение, 2008. 440 с.
25. Стрижало В.А., Добровольский Ю.В., Стрельченко В.А. и др. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / отв. ред. Г.С. Писаренко; Ин-т проблем прочности. Киев: Наук. думка, 1990. 232 с.
26. Трипалин А.С., Буйло С.И. Акустическая эмиссия. Физико-механические аспекты. Изд-во Ростовск. ун-та, 1986. 160 с.
27. Acoustic Emission Techniques and Applications / ed. by Jack C. Spanner. Evanston, Illinois: Intex Publishing Company, 1974. 274 p.
28. Acoustic Emission. ASTM Special Technical Publication 505. Baltimore, 1972. 337 p.
29. Drullard T.F. Acoustic Emission. A Bibliography with Abstracts. New York: IFI/Plenum, 1979. 787 p.
30. Nondestructive Testing Handbook. Vol. 5. Acoustic Emission Testing. ASME, 1987. 603 p.
31. Skalskyi V.R., Koval P.M. Some methodological aspects of application of acoustic emission. Lviv: Publishing House Spolom, 2007. 336 p.
32. Williams R.V. Acoustic Emission. Bristol: Adam Hilger Ltd, 1980. 118 p.

Приложение 4

Нормативно-технические документы России в области акустико-эмиссионного неразрушающего контроля и технической диагностики

1. ГОСТ 25.002—80. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения. Заменен. Окончание срока действия 1989 г. Введен ГОСТ 27655—88. М.: Изд-во стандартов, 1980.
2. МИ 207—80. Методика определения местоположения развивающихся дефектов акустико-эмиссионным методом / Госстандарт; НПО Дальстандарт. М.: Изд-во стандартов, 1980.
3. РД 50-447—83. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Акустическая эмиссия. Общие положения / Е.И. Тавер, О.В. Букатин, В.И. Иванов и др. М.: Изд-во стандартов, 1984.
4. МР 240—87. Методические рекомендации. Расчеты и испытания на прочность. Применение метода акустической эмиссии при определении характеристик вязкости разрушения / Е.Г. Смирнов, Е.И. Тавер, В.И. Иванов и др. М.: ВНИИНМАШ, 1987.
5. ГОСТ 27655—88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения. М.: Изд-во стандартов, 1988.
6. МИ 2039—89. Государственная поверочная схема для средств измерений амплитуды ультразвукового смещения, колебательной скорости частиц поверхности твердого тела и коэффициентов электроакустического преобразования в диапазоне частот 0,001—50 МГц. М.: Госстандарт, 1990.
7. РД 03-299—99. Требования к аппаратуре акустической эмиссии, используемой для контроля опасных производственных объектов / Госгортехнадзор России. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2009.
8. РД 03-300—99. Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов / Госгортехнадзор России. М.: ПИО ОБТ, 2002.
9. ПБ 03-593—03 (РД-03-131—97). Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов / Госгортехнадзор России. М.: ПИО ОБТ, 2003.
10. ГОСТ Р 52727—2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007.
11. Методика акустико-эмиссионного контроля подземных резервуаров установок сжиженного газа: стандарт НПС «РИСКОМ». М., 2006.
12. Резервуары вертикальные стальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности: методические указания. Сер. 03 / Ростехэкспертиза; НПС «РИСКОМ»; НПК «Изотермик». М., 2009. 288 с.