

# ВКЛАД СОТРУДНИКОВ ХАБАРОВСКОГО ФИЛИАЛА ВНИИФТРИ В РАЗВИТИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ЕГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ



**ПАНИН Владимир Иванович**

Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, директор независимых органов по аттестации персонала и лабораторий НК ООО «Аскотехэнерго-диагностика», г. Хабаровск

Хабаровский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ХФ ВНИИФТРИ) за время своего существования (с 1968 г. по настоящее время) прошел ряд организационных и научных этапов.

ХФ ВНИИФТРИ, созданный в июне 1968 г. в системе Госстандарта, в процессе своего развития, включающего создание новых лабораторий и отделов, конструкторского бюро, опытного производства и собственных филиалов в г. Владивостоке и г. Петропавловск-Камчатский,

был переименован в НПО «Дальстандарт» в 1978 г. После распада СССР и свертывания объема научно-технической деятельности он в 2007 г. был снова переименован в Дальневосточный филиал ВНИИ-ФТРИ.

Руководителями филиала являлись: канд. техн. наук Василий Андреевич Грешников (1968–1972), канд. техн. наук Анатолий Аркадьевич Гусаков (1972–1980), канд. экон. наук Эдуард Григорьевич Липовецкий (1980–1989), канд. техн. наук Юрий Иванович Лыков

(1989–2018), канд. техн. наук Геннадий Алексеевич Калинов (с 2018 г. по настоящее время). Практически бессменным заместителем директора по научной работе являлся канд. техн. наук (с 1990 г. д-р техн. наук) Юрий Борисович Дробот, который осуществлял общее научное руководство исследованиями и разработками в области акустической эмиссии (АЭ).

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, выполненные сотрудниками филиала в области АЭ, мож-



*Дальневосточный филиал ВНИИФТРИ, июль 2019 г.*

но условно разделить на четыре этапа. Первый этап включал в себя задачу обнаружения явления АЭ в металлах, чтобы убедиться в его существовании. На втором этапе проводились исследования по трем основным направлениям: изучение разнообразных физико-механических условий возникновения сигналов АЭ; исследование электрических характеристик сигналов АЭ как случайного нестационарного процесса; формирование основ метрологического обеспечения акустических измерений в твердых телах. На третьем этапе проводились разработка, изготовление и поставка заказчиком рабочих приборов АЭ и образцовых средств акустических измерений в твердых телах (включая абсолютную калибровку пьезоприемников АЭ). Четвертый этап включает в себя создание государственных первичных эталонов и поверочных схем в области акустических измерений в твердых телах. В реальной жизни этапы НИР и ОКР по времени частично перекрывали друг друга, конкретизируя содержание каждого из них.

Инициатором работ по исследованию АЭ в филиале (оказалось, что впервые в СССР) являлся первый директор В.А. Грешников. Первым непосредственным исследователем обнаружения сигналов АЭ при механическом растяжении металлических образцов стал В.П. Ченцов. Им были созданы бесшумная испытательная машина механического нагружения, виброзащищенный фундамент для этой машины и звукоизоляционная камера, внутри которой располагалась эта машина и радиоэлектронное оборудование. Он также разработал и изготовил высокочастотный пьезоприемник акустических сигналов и собрал из серийно выпускаемых блоков первую



*В коридоре ХФ ВНИИФТРИ, 1974 г. Верхний ряд, второй слева – автор В.И. Панин, третий слева – В.В. Денисов; нижний ряд, крайний справа – В.П. Ченцов*

установку фиксации электрических сигналов АЭ. Такие сигналы были обнаружены им при растяжении образца из стали Ст3 на площадке текучести и перед разрушением образца. Работы по обнаружению сигналов АЭ явились первым этапом работы по изучению этого явления.

В.А. Грешников после установления факта наличия сигналов АЭ поставил перед сотрудниками филиала задачи второго этапа работы: исследование механизмов возникновения сигналов АЭ; определение параметров и характеристик этих сигналов; создание основ метрологического обеспечения неразрушающего контроля методом АЭ. Для решения этих задач было создано несколько научно-исследовательских подразделений.

Сектор, который возглавил В.П. Ченцов, продолжил исследования по обнаружению сигналов в образцах из различных металлов и их сплавов (в том числе алюминиевых сплавов) и выявлению различных параметров этих сигналов в зависимости от скорости нагружения и

вида напряженно-деформированного состояния. На основе проведенных исследований с помощью радиоинженеров лаборатории, возглавляемой канд. техн. наук В. А. Константиновым, были разработаны анализатор волн напряжений типа АВН-1Н и регистратор предела текучести типа РПТ-1. Некоторое количество этих приборов было внедрено на предприятиях СССР, а В.П. Ченцов в 1976 г. защитил кандидатскую диссертацию по результатам проведенных исследований и разработки приборов.

В лаборатории, возглавляемой канд. техн. наук Ю.И. Болотиным, исследовались механизмы разрушения металлов при трещинообразовании и сопутствующие им сигналы АЭ. Исследованиями АЭ при сварочных процессах в этой же лаборатории (начиная с 1973 г.) занимались В.В. Нечаев и В.М. Белов. На основе этих исследований В.В. Нечаев создал акустический регистратор качества сварки АРКС и в 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию. В.Н. Белов под руководством канд. техн. наук

В.И. Иванова продолжил исследование после перехода на работу в ЦНИИТМАШ (г. Москва) и также защитил кандидатскую диссертацию.

В лаборатории, возглавляемой А.М. Лазаревым, проводились исследования АЭ в высокопрочных сталях, титане, алюминиевых и композитных материалах при разных условиях нагружения, в том числе от трения берегов трещины, а также при коррозионном растрескивании. Основными исполнителями, включая разработку многопараметровых радиоэлектронных средств контроля, являлись Л.Ю. Однотопов, И.В. Гулевский, В.И. Полунин, В.Д. Рубинштейн. В этой же лаборатории впервые в СССР был разработан нормативный документ по терминологии АЭ [МИ 198-79. Акустическая эмиссия. Термины и определения.].

Созданная в 1969 г. лаборатория, под руководством канд. техн. наук В.А. Константинова занималась разработками радиоэлектронных средств для анализа сигналов АЭ как случайного нестационарного процесса с привязкой численных значений акустических сигналов к узаконенным физическим единицам. Автор статьи был принят в эту лабораторию в декабре 1969 г., и мне сначала поручили разработку приемника АЭ с нормированными характеристиками. Но разработанный мною макет емкостного датчика АЭ с чувствительностью  $\sim 10^{-10}$  м не зафиксировал сигнал АЭ вследствие недостаточной чувствительности. Поэтому мне была поручена разработка методов (а при необходимости и средств) для абсолютной калибровки высокочувствительных пьезоприемников АЭ (ПАЭ) в широкой полосе частот.

В рамках решения этой задачи сначала в 1970 г. был изготовлен лазерный интерферометр, позволяющий проводить бес-

контактные измерения амплитуды акустических колебаний точки поверхности тел в диапазоне частот от 20 до 2000 кГц с чувствительностью 10–12 м с погрешностью  $\sim 20\%$  (авторы В.И. Панин, В.П. Троценко, В.И. Бесхлебный). Затем В.И. Паниным и В.Г. Бакшеевым были изготовлены и откалиброваны меры ультразвукового смещения для воспроизведения и хранения амплитуд УЗ-колебаний в диапазоне от 20 до 300 кГц. С помощью этих мер впервые была проведена абсолютная калибровка ПАЭ. Калибровка позволила сделать заключение, что минимально обнаруживаемые сигналы АЭ имеют величину при полосе пропускания 10 кГц и уровне собственных входных шумов 0,03 мкВ/кГц.

Другой ведущий сотрудник лаборатории Ю.И. Лыков сначала разработал нормализатор импульсов НИ-1 для анализа амплитудных распределений сигналов АЭ, а затем (после применения калиброванного ПАЭ) разрабатывал многоканальные анализаторы спектра параллельного типа, позволяющие проводить измерения реальных спектров акустических сигналов АЭ.

Лаборатория, возглавляемая канд. техн. наук Б.Я. Масловым, приступила к разработке многоканальных систем системы АЭ в целях местоуказания возникновения сигналов АЭ в крупногабаритных объектах контроля сложной геометрии. Ведущими сотрудниками этой лаборатории являлись Г.А. Калинов, В.В. Денисов и Д.Н. Холькин.

Перечисленные работы второго этапа исследования АЭ позволили выявить основные области проявления АЭ и перейти к разработке разнообразных рабочих приборов АЭ по заявкам министерств и ведущих предприятий, а также средств их метрологического обеспечения.

Для реализации работ 3-го этапа были созданы дополнительные научно-технические подразделения, конструкторское бюро и опытное производство. Новые лаборатории возглавили: метрологическое обеспечение ультразвуковых СНК – В.И. Панин, ведущие сотрудники: В.Г. Бакшеев, А.В. Шулатов, А.А. Романко, В.А. Дузенко, И.А. Кривошеев; спектральные измерения сигналов АЭ – Ю.И. Лыков, ведущие сотрудники: А.И. Горбунов, В.Н. Овчарук; оптические методы возбуждения и измерения акустических сигналов в твердых телах – канд. техн. наук А.Н. Бондаренко, ведущие сотрудники: В.П. Троценко, А.И. Кондратьев, В.А. Луговой, Ю.М. Крилицын, В.И. Архипов; АЭ-течеискивание – В.В. Лупанос, ведущий сотрудник В.Н. Бачегов. Лаборатория под руководством канд. техн. наук Ю.И. Болотина занялась разработкой средств АЭ для контроля горных ударов в шахтах (ведущие сотрудники: В.В. Нечаев, А.Ю. Искра, А.В. Терещенко, И.А. Кривошеев). В процессе реализации работ 3-го этапа, который в основном продолжался до распада СССР, было разработано и поставлено заказчиком следующее оборудование:

- лазерные интерференционные установки типов УЛИ-1 и УЛИ-2 для абсолютного измерения амплитуд ультразвуковых смещений в количестве 10 шт. в диапазоне частот от 10 до 2000 кГц (В.И. Панин, награжденный золотой медалью ВДНХ в 1972 г., В.Г. Бакшеев, И.А. Кривошеев, В.П. Троценко);
- меры ультразвукового смещения типов МСУС-3, МСУС-6, МСУС-10, МСУР, ПФАП-П, охватывающие диапазон частот от 10 до 2000 кГц в количестве  $\sim 20$  шт. (В.И. Панин, В.Г. Бакшеев, А.В. Шулатов);



Государственный первичный эталон (ГЭП) единиц амплитуды ультразвукового смещения и колебательной скорости поверхности твердых тел: диапазон частот 0,3–3 МГц; диапазон амплитуд смещений  $5 \cdot 10^{-11}$ – $5 \cdot 10^{-10}$  м; диапазон колебательных скоростей  $2 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$  м/с; суммарная стандартная относительная неопределенность результатов измерений ГЭП не превышает  $0,6 \cdot 10^{-2}$  (ГОСТ Р 8.826–2013)

Разработчики:



В.Г. Бакшеев



В.И. Панин



В.Г. Троценко



А.В. Шулатов

- установка для поверки 8-канального прибора АЭ – 1 шт. (В.И. Панин, В.Г. Бакшеев);
- 16-канальные многопараметровые приборы АЭ общего назначения типа «ЭРА-16» и FESTAN-1300 в количестве 10 шт. (А.М. Лазарев, Л.Ю. Одинопов, И.В. Гулевский);
- анализаторы спектра АЭ параллельного типа СА-20 и СА-100 (Ю.И. Лыков, А.И. Горбунов, В.Н. Овчарук) в количестве 6 шт.;
- двухканальные корреляционные течеискатели в трубах типа ТУКП-1 и ИСТ-3 в количестве 10 шт. (В.Н. Бачегов, В.В. Лупанос);
- многоканальные приборы для определения координат развивающихся дефектов и величин степени их опасности типа «АМУР-Д» с числом каналов от 4 до 128, предназначенные для контроля крупногабаритных объектов в количестве 10 шт. (канд. техн. наук Б.Я. Маслов, В.В. Дени-

сов, О.Н. Холькин, Г.А. Калинин);

- работающие в диапазоне частот 1–30 кГц 13-канальная установка типа «Вектор-13» и 5-канальная «Прогноз-5м» для контроля и прогнозирования горных ударов в рудниках в количестве 6 шт. (Ю.И. Болотин, В.В. Нечаев, А.Ю. Искра, А.В. Терещенко, И.А. Кривошеев).

Помимо разработок и поставок аппаратуры велась разработка методик АЭ-контроля и специализированных пьезоприемников АЭ для каждой из них, в частности с резонансной частотой ~16 кГц для горных пород (В.В. Нечаев) и со встроенным усилителем с большим коэффициентом усиления, на выходе которого сигнал АЭ представлял собой пачку прямоугольных импульсов амплитудой 5 В (канд. техн. наук Б.Я. Маслов).

Кроме того, проводились работы по имитации сигналов АЭ пьезоэлектрическими излучателями (В.И. Панин), электро-

искровым методом (Б.Я. Маслов), лазерным возбуждением (А.Н. Бондаренко), емкостным возбудителем (А.И. Кондратьев). Теоретические основы первичных параметров сигналов АЭ при различных типах излучений разрабатывались Ю.Б. Дроботом, Л.А. Масловым, В.Н. Бачеговым, Ю.И. Болотиним.

Четвертый этап работ, начало которого условно соответствует распаду СССР, характеризуется свертыванием работ по исследованиям АЭ и разработкой средств и методов АЭ, а также замедленным продолжением работ по метрологическому обеспечению акустических измерений в твердых телах. Также проводились отдельные прикладные разработки по поверке средств АЭ-, УЗ-дефектоскопов и УЗ-толщиномеров (включая разработку отдельных средств и методик поверки). Фундаментальные метрологические исследования завершились соз-

данием в 2013–2014 гг. государственных эталонов:

- Государственный первичный эталон единиц скоростей распространения и коэффициента затухания ультразвуковых волн в твердых телах (А.Н. Бондаренко, В.А. Луговой, В.П. Троценко, А.И. Кондратьев, П.В. Базылев);
- Государственный первичный эталон единиц амплитуды ультразвукового смещения и

колебательной скорости поверхности твердых тел (В.Г. Бакшеев, В.И. Панин, В.Г. Троценко, А.В. Шулатов).

Системы передачи физических единиц от эталонов к рабочим средствам контроля и измерений отражены в государственных поверочных схемах, возглавляемых указанными эталонами.

Достижения ведущих сотрудников ХФ ВНИИФТРИ опубликованы не менее чем в 500 на-

учных трудах и периодических изданиях (Приложение 1), изложены в ходе организованных ХФ ВНИИФТРИ семинарах и конференциях (Приложение 2), а также в защищенных научных диссертациях (Приложение 3).

Автор статьи просит прощения у тех специалистов, которые не были упомянуты в тексте статьи или достижения которых представлены не в полном объеме.

### Приложение № 1. Список книг сотрудников ХФ ВНИИФТРИ

1. **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. Хабаровск: Хабаровский краевой совет НТО Машпром, 1971. 96 с.
2. **Грешников В.А., Дробот Ю.Б.** Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов, 1976. 276 с.
3. **Дробот Ю.Б., Лазарев А.М.** Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. М.: Изд-во стандартов, 1987. 126с.
4. **Бачегов В.Н., Дробот Ю.Б., Лупанос В.В.** Акустическое контактное течеискание. Хабаровск: НТО Машпром, 1987. 77 с.
5. **Дробот Ю.Б., Грешников В.А., Бачегов В.Н.** Акустическое контактное течеискание. М.: Машиностроение, 1989. 120 с.
6. **Бондаренко А.Н., Дробот Ю.Б., Кондратьев А.И.** Прецизионные акустические измерения оптическими и емкостными методами. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 239 с.
7. **Болотин Ю.И., Дробот Ю.Б.** Акустическая локация хрупких микроразрушений. Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2003. 154 с.
8. **Корчевский В.В., Хосен Ри.** Рентгенодифрактометрический и акустико-эмиссионный метод исследования пластичной деформации сталей. Владивосток: Дальнаука, 2006. 208 с.
9. **Овчарук В.Н.** Акустико-эмиссионные методы исследования свойств керамических материалов. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2010. 201 с.
10. **Луговой В.А., Базылев П.В.** Прецизионные методы и средства исследований параметров акустических сигналов различных типов волн в твердых телах. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. 77 с.
11. **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.

### Приложение 2. Список семинаров, конференций, организованных ХФ ВНИИФТРИ

1. Неразрушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием эмиссии волн напряжений. Всесоюзный научно-технический семинар. Хабаровск, сентябрь, 1972 г.
2. Неразрушающий контроль напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и изделий с использованием эмиссии волн напряжений. Всесоюзный научно-технический семинар. Хабаровск, октябрь, 1975 г.
3. Всесоюзная научно-техническая конференция «Использование современных физических методов в неразрушающих исследованиях и контроле». Хабаровск, 1980 г.
4. Всесоюзная научно-техническая конференция «Использование современных физических методов в неразрушающих исследованиях и контроле». Хабаровск, 1984 г.
5. III Всесоюзная научно-техническая конференция «Использование современных физических методов в неразрушающих исследованиях и контроле». Хабаровск, 1987 г.

## Приложение 3. Защита диссертаций ведущими сотрудниками ХФ ВНИИФТРИ

№ п.п.	Ф.И.О. сотрудников	Защита диссертаций		
		до работы в филиале	во время работы в филиале	после перехода в другие организации
1	Базылев Петр Владимирович	–	Канд. техн. наук – 2003 г.	–
2	Бачегов Владимир Николаевич	–	Канд. техн. наук – 1984 г.	–
3	Белов Валерий Михайлович	–	–	Канд. техн. наук – 1983 г.
4	Болотин Юрий Иванович	Канд. техн. наук	–	Д-р техн. наук – 1994 г.
5	Бондаренко Анатолий Николаевич	Канд. техн. наук	Д-р физ.-мат. наук – 1987 г.	–
6	Гулевский Игорь Владимирович	–	–	Канд. техн. наук – 1986 г.
7	Грешников Василий Андреевич	Канд. техн. наук	–	–
8	Дробот Юрий Борисович	Канд. техн. наук	Д-р техн. наук – 1990 г.	–
9	Калинов Геннадий Алексеевич	–	–	Канд. техн. наук – 2010 г.
10	Кондратьев Александр Иванович	–	Канд. техн. наук – 1983 г. Д-р техн. наук – 1998 г.	–
11	Константинов Виталий Александрович	Канд. техн. наук	–	–
12	Корчевский Вячеслав Владимирович	–	–	Канд. техн. наук – 1997 г. Д-р физ.-мат. наук – 2007 г.
13	Кривошеев Игорь Александрович	–	Канд. техн. наук – 1990 г.	Д-р техн. наук – 2005 г.
14	Креницын Юрий Михайлович	–	–	Канд. физ.-мат. наук – 1996 г.
15	Луговой Владимир Александрович	–	Канд. техн. наук – 1998 г. Д-р физ.-мат. наук – 2004 г.	–
16	Лыков Юрий Иванович	–	Канд. техн. наук – 1978 г.	–
17	Лупанос Владимир Васильевич	–	Канд. техн. наук – 1988 г.	–
18	Маслов Борис Яковлевич	Канд. техн. наук	–	–
19	Маслов Лев Александрович	–	Канд. техн. наук – 1976 г.	Д-р физ.-мат. наук – 2004 г.
20	Нечаев Валерий Владимирович	–	Канд. техн. наук – 1980 г.	–
21	Овчарук Валерий Николаевич	–	–	Канд. техн. наук – 2004 г.
22	Панин Владимир Иванович	–	Канд. техн. наук – 1976 г.	–
23	Троценко Владимир Павлович	–	Канд. техн. наук – 1978 г.	–
24	Ченцов Виктор Петрович	–	Канд. техн. наук – 1976 г.	–