



УДК 620.15.50

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АЭ СИГНАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ СРЕДАХ

**А. Я. НЕДОСЕКА**, д-р техн. наук, **М. А. ОВСИЕНКО**, **Л. Ф. ХАРЧЕНКО**, инженеры, **М. А. ЯРЕМЕНКО**, канд. техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

*Исследованы особенности распространения УЗ волн в пластинах, находящихся в воде, а также с их частичным погружением. Предложены конструкция преобразователей и средства их крепления. Исследовано влияние температуры и солености воды на параметры сигналов АЭ и точность локации сигналов АЭ.*

*Features of ultrasonic wave propagation in plates located in water and also those partially immersed into water were studied. Designs of transducers and means of their fastening are proposed. Influence of water temperature and salinity on AE signal parameters and accuracy of AE signal location were studied.*

Распространение сигналов АЭ в материалах конструкций под водой или на границе воздух–вода имеет свои особенности, связанные с отводом значительной части энергии АЭ сигналов непосредственно в воду. Поэтому задача создания средств и методик диагностирования сварных трубопроводов, в частности, теплосетей, отдельных элементов строительных конструкций (опоры мостов и др.), работающих под водой, в условиях заболоченности, наличия грунтовых, дождевых или сливных вод становится достаточно актуальной. Анализ исследований, полученных при контроле таких конструкций, показал, что данная проблема стоит особенно остро на предприятиях городских тепло- и водосетей. В настоящее время разработаны методические рекомендации по техническому диагностированию трубопроводов тепловых сетей с использованием акустического метода [1], данной проблеме посвящено ряд публикаций, например, [2, 3]. В то же время остается еще много нерешенных или требующих более глубокого изучения задач, таких как:

- исследование особенностей законов распространения сигналов АЭ в трубо-оболочечных конструкциях и пластинах;
- исследование факторов, влияющих на особенности регистрации сигналов АЭ;
- разработка датчиков АЭ, способных работать в условиях высокой влажности, в воде, мокрых грунтах;
- разработка отдельных блоков и узлов аппаратуры для решения поставленных задач;
- адаптация программного обеспечения, позволяющего в реальном времени проводить обработку и оценку полученной информации;
- разработка методики выполнения измерений и алгоритмов обработки результатов измерений и принятия решений.

Настоящая статья посвящена рассмотрению некоторых из перечисленных задач, а именно:

- исследованию особенностей распространения УЗ волн в пластинах, находящихся в воде, а также с их частичным погружением. При этом источник сигналов АЭ находился в воде, над водой;
- конструированию преобразователей и средств их крепления в указанных условиях;
- исследованию влияния температуры и солености воды на параметры сигналов АЭ;
- исследованию точности локации сигналов АЭ и др.

Исследования проводили с использованием системы АЭ контроля и диагностирования ЕМА-4, состоящей из прибора (рис. 1), управляющего компьютера (ноутбука), датчиков со встроенными преусилителями и кабелями.

Основные характеристики четырехканальной системы ЕМА-4 следующие: измерение всех стандартных параметров АЭ; отображение полной формы импульса АЭ; спектральный анализ импульса АЭ; корреляция между сигналами АЭ; линейные и логарифмические режимы усиления; тестовые режимы каналов АЭ; аналоговые входные линии технологических параметров; цифровые входы и вы-



Рис. 1. Акустико-эмиссионный прибор ЕМА-4

© А. Я. Недосека, М. А. Овсиенко, Л. Ф. Харченко, М. А. Яременко, 2012



ходы для управления технологическими процессами; питание 12В/0,3 А; возможность питания через интерфейс USB; размеры 119×113×35 мм; масса 0,32 кг.

Прибор ЕМА-4 имеет автоматическую установку фиксированных/плавающих порогов; возможность упорядочивания импульсов, принятых разными каналами, по времени поступления каждого; детектирование разрыва и короткого замыкания в цепи внешнего предварительного усилителя; цифровые фильтры; функцию корреляции между каналами АЭ; режим осциллографа; спектральный анализ импульсов АЭ.

Программное обеспечение системы осуществляет подготовку и проведение измерений, обработку результатов, а также позволяет проводить автоматическое измерение локальных скоростей звука, графическую обработку результатов измерения, графическое изображение карты локации (плоскость, сфера, трубопроводы), контроль качества установки датчиков, расчет производных от АЭ параметров, формирование критериев для фильтрации импульсов и событий АЭ, для выдачи сигнала тревоги (в режиме испытания) [4].

Для проведения исследований разработана структурная схема эксперимента (рис. 2), позволяющая изучать влияние граничной среды на параметры регистрируемых АЭ-сигналов.

Большое внимание уделено совершенствованию конструкции приемного преобразователя, наполнению датчика акустопоглощающим материалом с целью уменьшения времени реверберации (послезвучания сигнала) и улучшению параметров принимаемого сигнала.

Для проведения АЭ контроля объектов, погруженных в водную среду, разработаны средства герметизации датчика и соединительных кабелей, а также изучено их влияние на надежную работу системы. В качестве наполнителя-герметизатора применяли эпоксидную смолу ЭД-20 с различными добавками и поглощающие слои из материалов с чередующейся плотностью, что позволило сместить механический резонанс датчика в область низких частот, вынести его из области рабочих частот (100...400 кГц) и уменьшить время реверберации акустического сигнала.

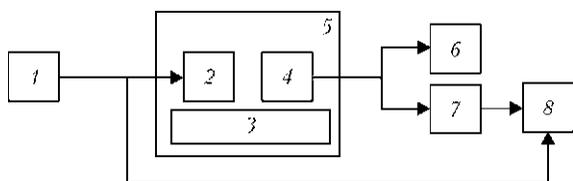


Рис. 2. Схема для определения влияния граничной среды при прохождении акустического сигнала вдоль металлической пластины: 1 — генератор импульсов; 2 — датчик-излучатель; 3 — металлическая пластина; 4 — датчик-приемник; 5 — емкость; 6 — система ЕМА-4; 7 — промежуточный усилитель; 8 — двухлучевой осциллограф

При проведении исследований использовали пластину размером 500×80×6 мм из стали Ст3. Исследовали такие варианты граничных сред:

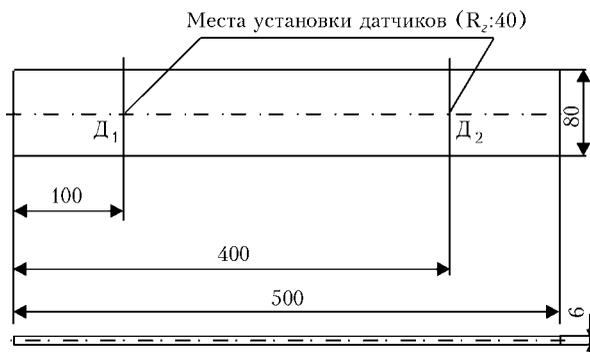


Рис. 3. Схема установки датчиков АЭ (Д1 и Д2) на металлической пластине

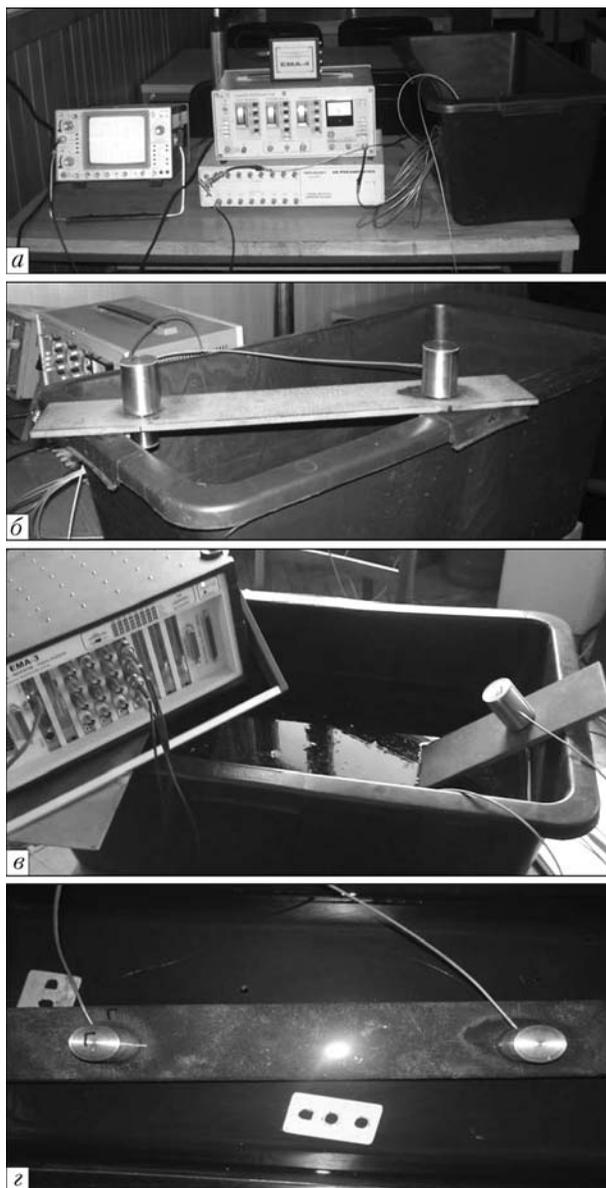


Рис. 4. Этапы проведения изучения прохождения АЭ сигнала при различных граничных средах: а — приборы для проведения исследований; б — граничная среда воздух–металл–воздух; в — граничная среда воздух–металл–вода; г — граничная среда вода–металл–вода



воздух–металл–воздух; воздух–металл–вода; вода–металл–воздух; вода–металл–вода.

Места установки датчиков на пластине показаны на рис. 3.

Оборудование для проведения исследования и этапы его проведения представлены на рис. 4.

Во время проведения исследований температура окружающего воздуха составляла 20 °С, температура воды 15 °С.

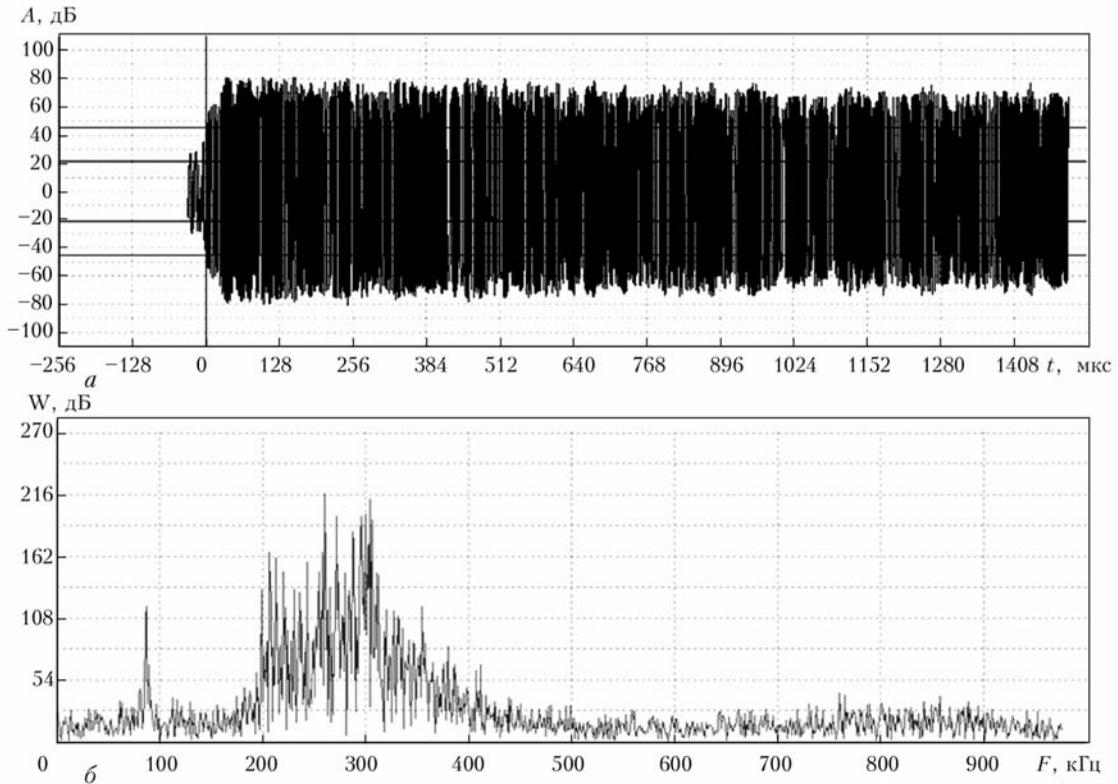


Рис. 5. Отклик на сигнал АЭ при использовании гидродатчика без наполнителя (граничная среда воздух–металл–воздух): а — осциллограмма; б — спектральная характеристика

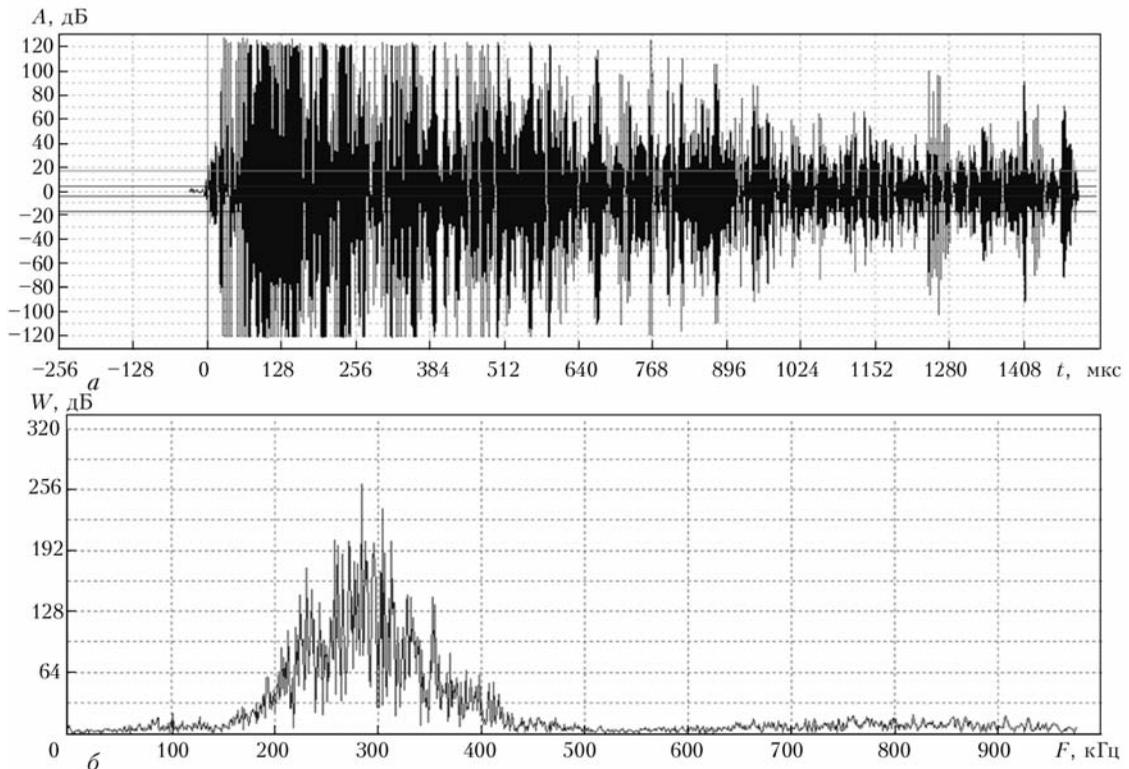


Рис. 6. Отклик датчика на сигнал АЭ при использовании гидродатчика с наполнителем (граничная среда воздух–металл–воздух): а — осциллограмма; б — спектральная характеристика



Первоначально проанализировали параметры сигналов АЭ при граничной среде воздух–металл–воздух и использовании различных видов датчиков: обычный ДАЭ-150; в защитном корпусе; без дополнительного демпфирования и при его наличии с целью последующего сравнения данных, полученных при разных условиях проведения экспериментов.

Для получения спектральной и амплитудно-частотной характеристик сигналов АЭ с генератора на датчик подавались сигналы амплитудой  $A = 400$  мВ и длительностью  $T = 2$  мкс. Использовали линейный режим усиления  $K_{yc} = 40$  дБ. Контролируемый датчик подключался к 1-му каналу прибора ЕМА-4.

**Граничная среда воздух–металл–воздух** (источник сигналов АЭ и приемник находятся на воздухе). Отклики датчика на сигнал АЭ представлены на рис. 5, 6.

#### Граничная среда воздух–металл–вода.

1. Источник сигналов АЭ находится в воде, приемник (гидродатчик с наполнителем) — на воздухе. Отклик датчика на сигнал АЭ представлен на рис. 7.

2. Источник сигналов АЭ находится на воздухе, приемник (гидродатчик с наполнителем) — в воде. Отклик датчика на сигнал АЭ представлен на рис. 8.

**Граничная среда вода–металл–вода** (источник сигналов АЭ и приемник находятся в воде). Отклик датчика на сигнал АЭ представлен на рис. 9.

В результате проведенных работ установлены частотные границы при распространении УЗК в пластине при имитации различных граничных сред, а внесенные конструкционные изменения преобразователя позволили увеличить крутизну фронта волны, улучшить качество регистрации сигналов в материале.

С целью применения данного метода при контроле трубопроводов, проложенных в морской воде, изучалось влияние солености воды, которая определяет волновое сопротивление, на параметры АЭ сигналов. По концентрации соли в воде имитировали состав воды Черного, Средиземного и Мертвого морей. На датчик — генератор сигналов АЭ подавался отрицательный импульсный сигнал с параметрами: амплитуда  $A = 400$  мВ; длительность  $T = 1; 2; 4; 8; 16; 32$  мкс; частота следования  $f = 1$  Гц. На осциллографе фиксировались значения амплитуды  $A$ , мВ выходного сигнала с гидродатчика. Расстояние между гидродатчиком и датчиком-генератором сигналов АЭ, установленными на металлической пластине, составляло  $L_{база} = 300$  мм.

Результаты измерений приведены в таблице и на рис. 10.

Для оценки точности определения координат источников сигналов АЭ при различных граничных средах подавали тестовый сигнал амплитудой  $A = 4$  В и длительностью  $T = 2$  мкс. Интервал подачи сигнала составлял  $\Delta t = 1$  с. Использовали линейную антенну из двух датчиков, датчик № 1

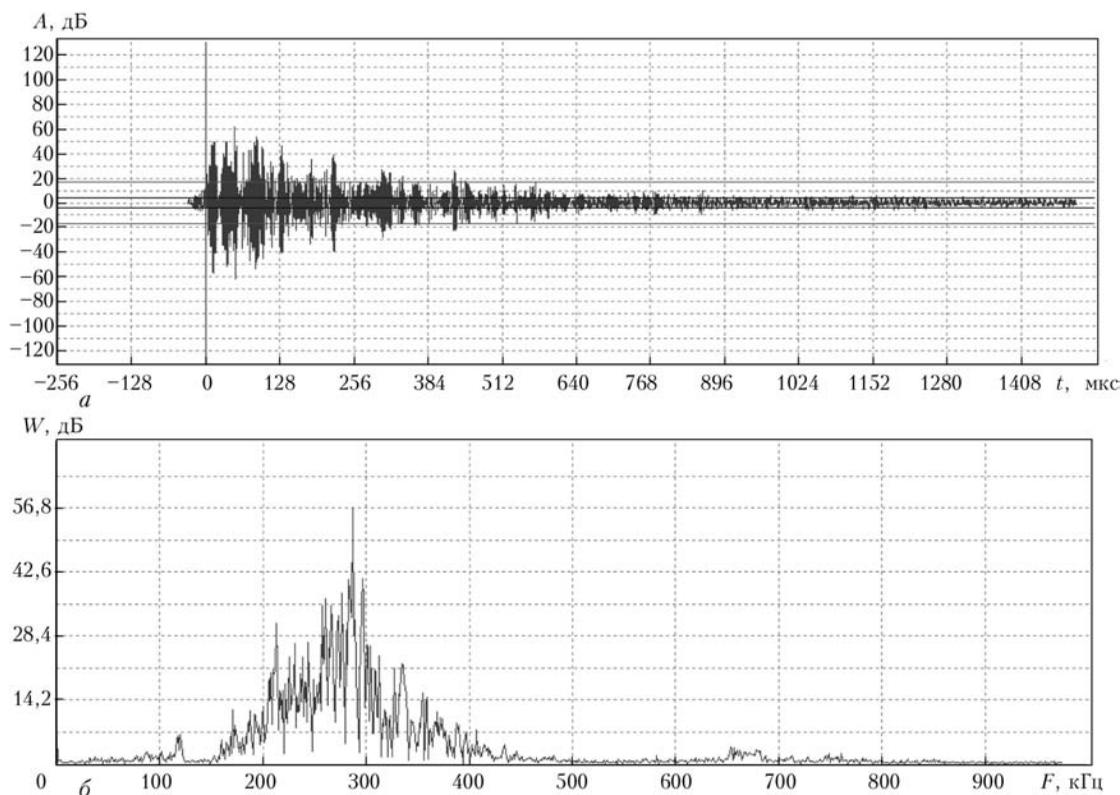


Рис. 7. Отклик датчика на сигнал АЭ (граничная среда воздух–металл–вода): а — осциллограмма; б — спектральная характеристика

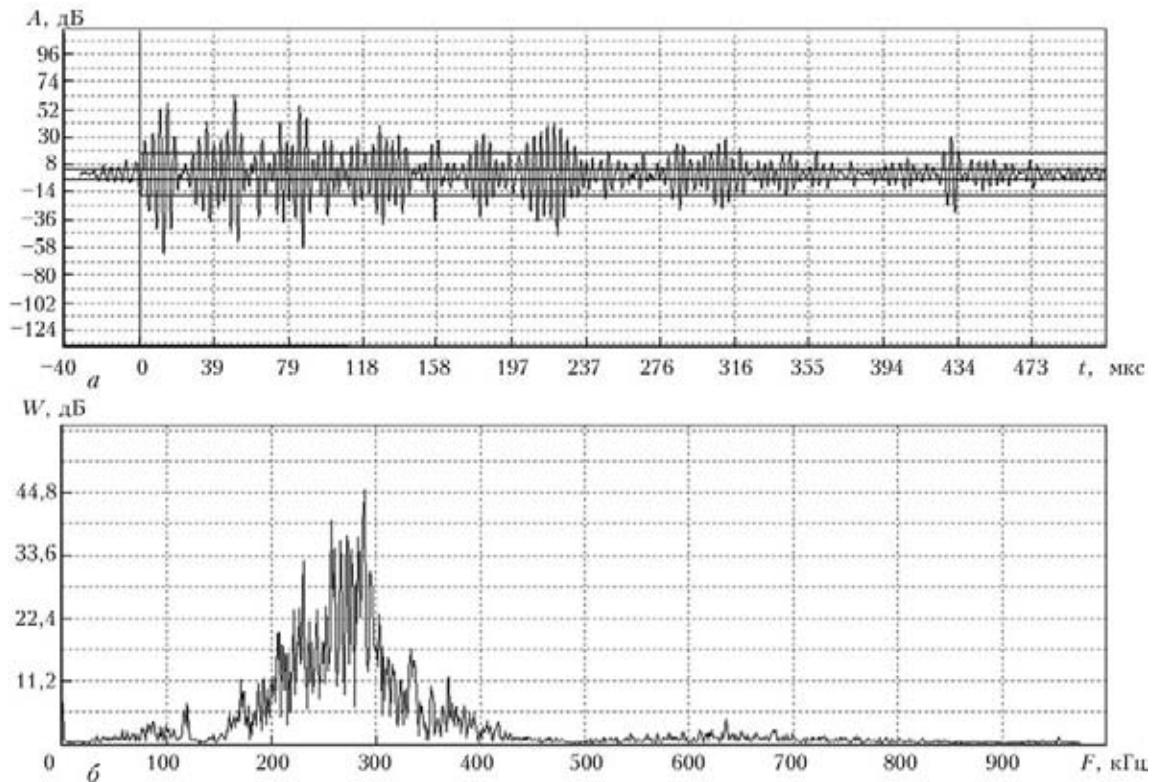


Рис. 8. Отклик датчика на сигнал АЭ (границная среда вода–металл–воздух): *a* — осциллограмма; *б* — спектральная характеристика

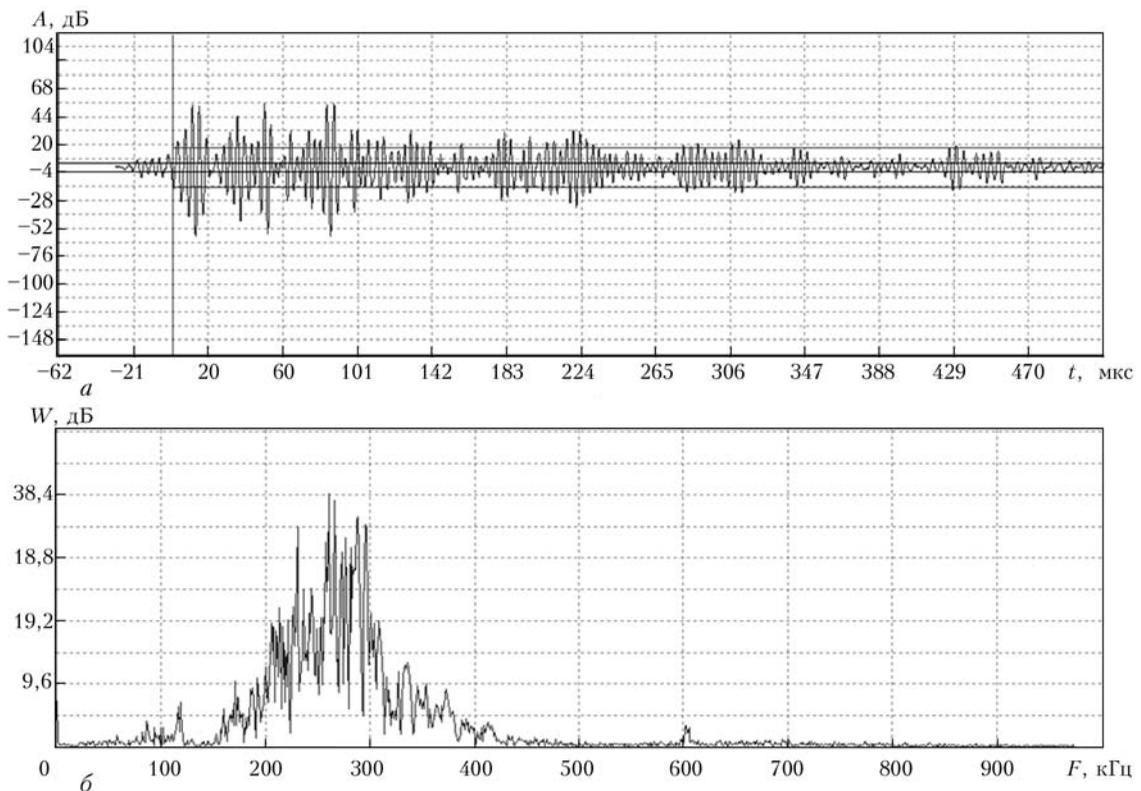


Рис. 9. Отклик датчика на сигнал АЭ (границная среда вода–металл–вода): *a* — осциллограмма; *б* — спектральная характеристика

— источник сигналов АЭ ( $X = 0$ ). Скорость распространения сигнала в пластине (сухой)  $v = 5,3$  мм/мкс.

Проведенные исследования показали, что при различном положении пластины с установленными датчиками (на воздухе; один из датчиков находится в воде, а второй — на воздухе; оба датчика



Таблица. Зависимость амплитуды сигнала с выхода гидродатчика от свойств граничной среды и длительности подаваемого сигнала

T, мкс	Амплитуда сигнала в зависимости от граничной среды, мВ				
	воздух–металл–воздух	вода–металл–вода			
		пресная	18 ‰	40 ‰	60 ‰
1	200	120	100	80	60
2	250	148	110	100	80
4	150	80	70	50	40
8	200	120	100	80	70
16	200	120	100	80	60
32	250	150	100	80	60

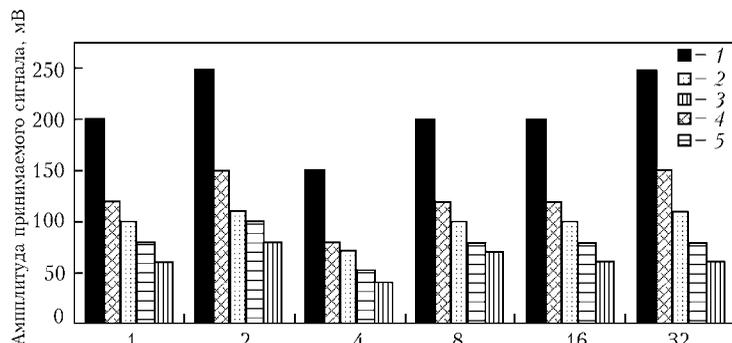


Рис. 10. Зависимость амплитуды сигнала от длительности исходного сигнала и характеристик граничной среды (солености воды): 1 — воздух–металл–вода; 2 — вода(18 ‰)–металл–вода (18 ‰); 3 — вода(60 ‰)–металл–вода (60 ‰); 4 — вода(пресная)–металл–вода (пресная); 5 — вода(40 ‰)–металл–вода (40 ‰)

находятся в воде) при работе аппаратуры в режиме логарифмического усиления при затухании сигнала в три раза погрешность определения координат источников АЭ не превышала 2 %.

### Выводы

При работе датчика с наполнителем в условиях граничной среды воздух–металл–воздух (линейный коэффициент усиления) устранены механические резонансы на нижних частотах (демпфированы).

Поглощение сигнала в условиях граничной среды воздух–металл–вода (источник сигналов АЭ находится в воде, приемник — на воздухе, линейный коэффициент усиления) более чем в два раза по сравнению с граничной средой воздух–металл–воздух.

При нахождении источника сигналов АЭ на воздухе, а датчика-приемника в воде (граничная среда воздух–металл–вода, линейный коэффициент усиления) поглощение сигнала более чем в три раза больше по сравнению с граничной средой воздух–металл–воздух.

В условиях граничной среды вода–металл–вода (линейный коэффициент усиления) поглощение сигнала более чем в четыре раза больше по сравнению с граничной средой воздух–металл–воздух.

При увеличении солености воды как граничной среды коэффициент затухания акустического сигнала увеличивается, в результате чего зона контроля уменьшается.

Внесенные изменения в конструкцию датчика позволяют, например, упростить методику проведения АЭ контроля указанных выше объектов с учетом глубины залегания объекта под водой. В частности, устанавливать датчик АЭ на открытом участке или на небольших глубинах с учетом особенностей распространения звуковых волн.

Полученные результаты показали целесообразность применения АЭ метода для контроля состояния различных объектов (трубопроводов различного назначения, корпусов суден, плавучих и стационарных морских платформ и т. д.), эксплуатирующихся в условиях водной среды.

1. РД 153-34.-20.673–2005. Методические рекомендации по техническому диагностированию трубопроводов тепловых сетей с использованием акустического метода.
2. Овчинников А. Л. Особенности распространения сигналов акустической эмиссии утечек в трубопроводах с жидкостью и аппаратура контроля герметичности / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Томск: 2006. — 15 с.
3. Болотина И. О. Пассивный контроль герметичности подводных трубопроводов с использованием акустических фазированных антенных решеток / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Томск: 2004. — 12 с.
4. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Индпром, 2008. — 814 с.

Поступила в редакцию  
08.10.2012