



## ОПТИМИЗАЦИЯ АКУСТОЭЛЕКТРОННОГО ТРАКТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ВОЛНОВОДОВ

А. Я. НЕДОСЕКА, М. А. ОВСИЕНКО, Л. Ф. ХАРЧЕНКО, М. А. ЯРЕМЕНКО

*Представлены результаты исследования влияния волноводов на характеристики (форму и амплитуду) принимаемого сигнала АЭ, экспериментально установлена оптимальная рабочая полоса акустического тракта, определены оптимальные размеры волновода. Показано, что использование волноводов при АЭ контроле промышленных изделий, работающих при высоких температурах, практически не ухудшает чувствительность аппаратуры, расширяет сферу применения данного метода контроля для высокотемпературных изделий.*

*Results of studying the influence of waveguides on the characteristics (shape and amplitude) of the received AE signal are presented, optimum working bandwidth of the acoustic circuit is experimentally established and optimum wave guide dimensions are determined. It is shown that application of wave guides at AE control of industrial products operating at high temperatures, practically does not impair the instrument sensitivity, and widens the scope of application of this control technique for high-temperature products.*

Необходимость широкого применения АЭ метода контроля на объектах с повышенной температурой стенки требует разработки и усовершенствования приемного акустоэлектронного тракта.

Традиционные системы контроля [1, 2] используют датчики сигналов АЭ на основе пьезокерамических материалов типа ЦТС-19, ЦТС-23, 25 и могут работать при температурах ниже температуры точки Кюри (250...310 °С), а со встроенными предварительными усилителями — при температурах меньше 80 °С. Возникают проблемы применения таких датчиков на поверхности нагретого до высокой температуры объекта контроля.

Для решения данной проблемы необходимо или создать специальные высокотемпературные датчики и средства их крепления, или применять волноводы, которые обеспечили бы вынос датчика АЭ из зоны высокой температуры. Первый путь решения задачи довольно дорогой. Проанализируем второй путь решения данной проблемы.

Основное назначение волноводов — вынос датчика–приемника АЭ сигналов из зоны высокой температуры. Появление в акустическом тракте дополнительного устройства — волновода — требует детального изучения его влияния на форму и амплитуду принимаемого сигнала, согласование акустического импеданса с объектом контроля и рабочей поверхностью датчика, определение основного резонанса волновода, а затем и системы волновод–переходной слой–датчик.

В настоящее время недостаточно публикаций с рекомендациями по выбору и применению волноводов, отсутствуют расчеты по установлению однородности акустического поля на рабочей поверхности волновода, а также подходы к определению характеристик волноводов, которые обеспечивали бы прохождение волн эмиссии в том ди-

апазоне частот и с теми модами, на которые рассчитаны датчики.

Для обеспечения оптимальной работы датчиков в диапазоне температур от 370 до 560 °С и частотном диапазоне 12,5...800 кГц были выбраны и исследованы стальные волноводы длиной 540 мм.

Температурные исследования проводили на образце соответствующих размеров из стали Ст3. Торцы волновода, который устанавливали на поверхность высокотемпературного объекта, нагревали до температур  $T_{н1} = 370$  °С,  $T_{н2} = 450$  °С,  $T_{н3} = 560$  °С (при температуре окружающей среды  $T_{ср} = 20$  °С). На противоположном торце волновода температура рабочей поверхности, на которую устанавливается датчик АЭ, соответственно составляла  $T_{к1} = 34$  °С,  $T_{к2} = 37$  °С,  $T_{к3} = 41$  °С. Измерение температуры проводили прибором Triple-Display Auto-Display M-3890D.

Расчет уменьшения температуры от нагреваемого торца до места установки датчика АЭ проводили по формуле [3]:

$$T = T_{ср} + T_{нач} \exp(-z \sqrt{b}/a), \quad (1)$$

где  $T_{нач}$  — начальная температура;  $b = (2\alpha a)/(\lambda_0 r_c)$ ;  $a = \lambda_0/(c\gamma)$ ;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $\gamma$  — удельный вес;  $c$  — удельная теплоемкость;  $\lambda_0$  — коэффициент теплопроводности;  $r_c$  — радиус стержня;  $z$  — координата.

Теплофизические постоянные для данного материала волновода взяты из справочных материалов [3].

Зависимость значений конечной температуры, рассчитанной по формуле (1), от длины волновода и начальной температуры нагретого торца, представлена на рис. 1.

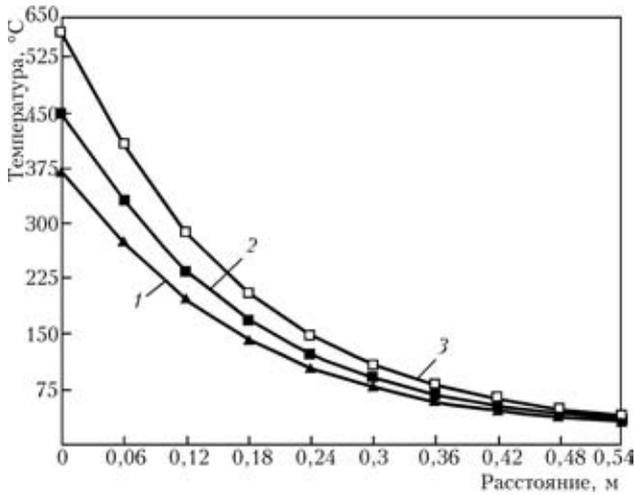


Рис. 1. Изменение температуры в зависимости от расстояния от торца волновода до рабочей поверхности при различных начальных температурах  $T_{нач}$ , °C: 1 — 370; 2 — 450; 3 — 560

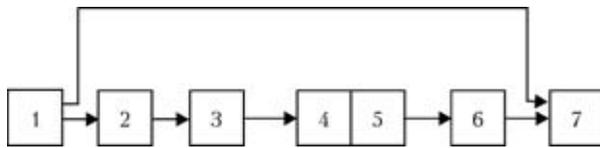


Рис. 2. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—датчик—приемник: 1 — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — датчик—приемник сигналов АЭ; 6 — промежуточный усилитель; 7 — осциллограф

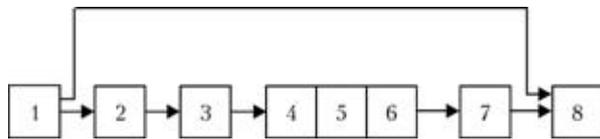


Рис. 3. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—волновод—датчик—приемник: 1 — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — волновод; 6 — датчик—приемник сигналов АЭ; 7 — промежуточный усилитель; 8 — осциллограф

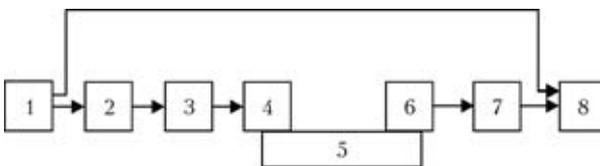


Рис. 4. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—фрагмент трубы—датчик—приемник: 1 — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — фрагмент трубы; 6 — датчик—приемник сигналов АЭ; 7 — промежуточный усилитель; 8 — осциллограф

Исследование волновых характеристик (АЧХ систем) проводили по нескольким схемам (рис. 2–6). Параметры радиоимпульса устанавливали с учетом длины волновода, скорости распространения

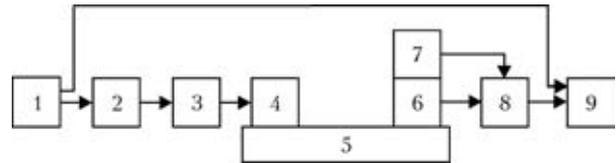


Рис. 5. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—фрагмент трубы—волновод—датчик—приемник: 1 — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — фрагмент трубы; 6 — волновод; 7 — датчик—приемник сигналов АЭ; 8 — промежуточный усилитель; 9 — осциллограф

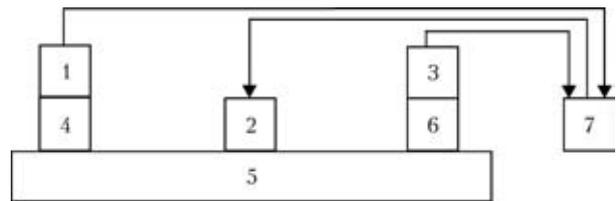


Рис. 6. Схема для определения координат источников АЭ на фрагменте трубы системы (датчик—приемник—волновод)—фрагмент трубы—(волновод—датчик—приемник): 1, 3 — датчики—приемники; 2 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 4, 6 — волноводы; 5 — фрагмент трубы; 7 — система ЕМА-3U

ния УЗВ и рабочего частотного диапазона (12,5...800 кГц). Амплитуду зондирующего радиоимпульса выбирали такой, чтобы максимальный выходной сигнал, снимаемый с промежуточного усилителя, не превышал половины уровня насыщения. Время прохождения радиоимпульса  $t$  определяли по временной развертке осциллографа, синхронизируемого генератором видеоимпульсов. Оно составило 110 мкс при длине волновода 540 мм. Скорость распространения сигнала АЭ 4,9 мм/мкс. Длительность зондирующих импульсов и их частоту следования устанавливали с учетом резонансных свойств волновода и степени затухания УЗВ.

Следовательно, чтобы переотраженные в волноводе радиоимпульсы не накладывались, длительность зондирующих радиоимпульсов должна быть менее 300 мкс и составила в нашем случае 250 мкс. Частота следования зондирующих импульсов составила 100 Гц.

На каждой частоте заполнения проводили 10 измерений со снятием и установкой датчика—приемника сигналов АЭ. Далее проводили арифметическое усреднение значений выходного сигнала и строили АЧХ.

При проведении исследований по схеме, представленной на рис. 2, датчик—излучатель и датчик—приемник приклеивали один к другому протекторами;

по схеме на рис. 3 датчики устанавливали на торцах волновода;

по схеме на рис. 4 датчик—излучатель и датчик—приемник устанавливали на верхней осевой

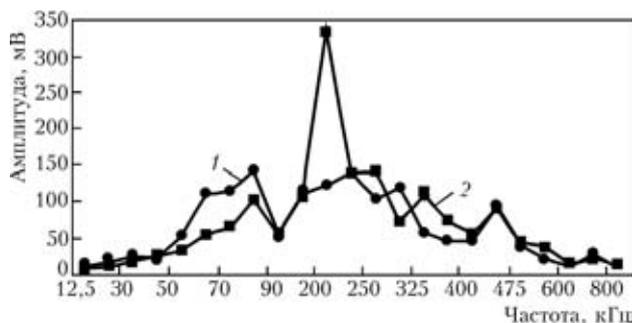


Рис. 7. АЧХ для систем датчик—датчик (1) и датчик—волновод—датчик (2)

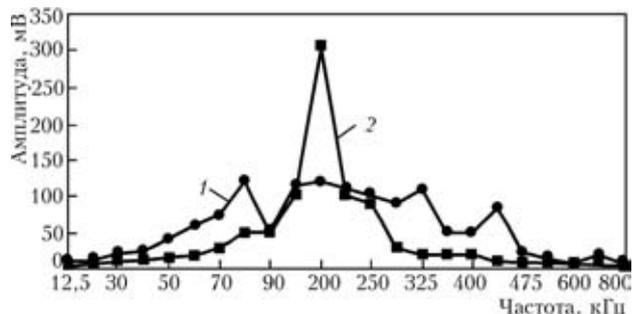


Рис. 8. АЧХ для систем датчик—фрагмент трубы—датчик (1) и датчик—фрагмент трубы—волновод—датчик (2)

линии фрагмента трубы на расстоянии 375 мм один от другого;

по схеме на рис. 5 датчик—излучатель располагали на фрагменте трубы по осевой линии на расстоянии 375 мм от волновода.

АЧХ для систем датчик—датчик и датчик—волновод—датчик представлены на рис. 7.

АЧХ для систем датчик—фрагмент трубы—датчик и датчик—фрагмент трубы—волновод—датчик представлены на рис. 8.

После исследования АЧХ различных систем проведено исследование влияния применения волноводов установленных размеров на погрешность определения координат источников АЭ на образце по схеме, представленной на рис. 6, с применением системы технической диагностики ЕМА-3U.

Для определения координат источников АЭ сигналов использовали линейную антенну из двух датчиков (1 и 3, рис. 6). Волноводы 4 и 6 приваривали к фрагменту трубы на расстоянии 1500 мм один от другого. Датчики—приемники 1 и 3 устанавливали соответственно на волноводах 4 и 6. Система ЕМА-3U принимала информацию с датчиков—приемников 1 и 3 и генерировала видеоимпульсы амплитудой 4 В, длительностью 2 мкс и частотой 1 Гц, поступающие на датчик—излуча-

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

#### Результаты локации имитаций источников АЭ и оценка погрешности их определения

Номер точки имитации сигналов АЭ	Координаты источника АЭ, мм	Полученные координаты, мм	Относительная погрешность, %
1	75	91	1,1
2	375	400	1,7
3	750	748	0,1
4	1125	1121	0,3
5	1425	1426	0,1

тель 2. Датчик—излучатель 2 устанавливали на фрагменте трубы последовательно на расстоянии 75, 375, 750, 1125 и 1425 мм от волновода 4 по направлению к волноводу 6 (таблица). Относительная погрешность определения координат источников АЭ не превысила допустимую в соответствии с нормативными документами [4].

Проверка результатов проведенных исследований на реальных высокотемпературных изделиях подтвердила полученные экспериментальные данные.

#### Выводы

Применение волноводов обеспечивает вынос датчиков АЭ из зоны высокой температуры в зону температуры, гарантированно обеспечивающей нормальную работоспособность датчиков.

Проведенные исследования показали, что при правильном выборе геометрических размеров, формы и характеристик волноводов чувствительность датчиков АЭ в рабочем диапазоне частот практически не уменьшается; применение волноводов не оказывает существенного влияния на форму и амплитуду принимаемого сигнала.

Применение волноводов практически не ухудшает локацию источников сигналов АЭ. Относительная погрешность определения координат источников сигналов АЭ при применении волноводов на опытном образце не превышала допустимую в соответствии с нормативными документами.

1. Грешников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 272 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справ. / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1976. — 326 с.
3. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Киев: Индпром, 2001. — 815 с.
4. ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. — Київ: Держ. комітет України з питань техн. регулювання та спожив. політики. — 2003. — 47 с.

Поступила в редакцию 04.10.2006