

многократных отражений при одностороннем доступе к торцу объекта и устранения ряда ограничений, присущих контактному пьезоэлектрическому приемнику. Разработанные новые конструкции ЭМА-преобразователей проходного типа не требуют

механического контакта с торцом объекта, следовательно, обладают значительно более длительным сроком службы и более широкой областью возможного применения в условиях ограниченной контролепригодности объектов.

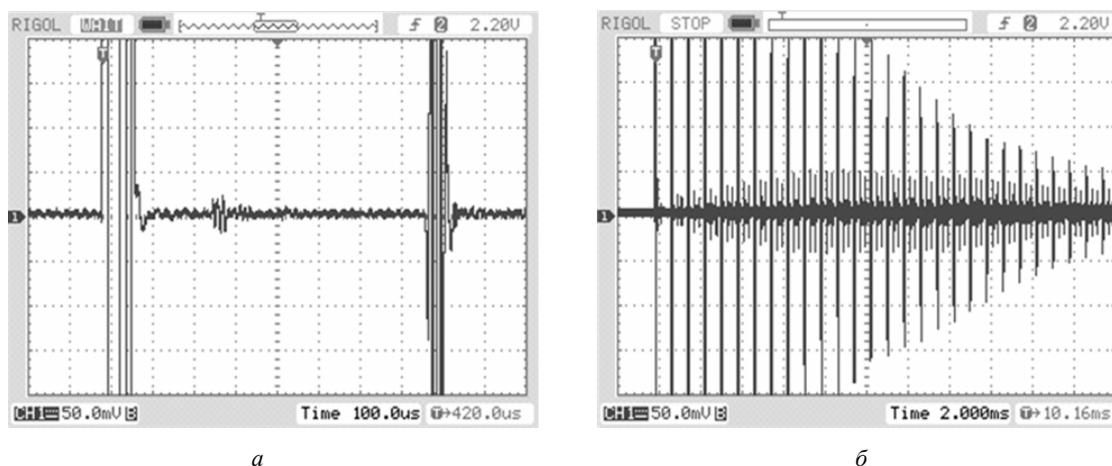


Рис. 8. Дефектограмма прутка при воздействии двухполярного зондирующего импульса:
а – первое отражение; б – серия многократных отражений

D. V. Zlobin, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

O. V. Muravieva, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Development Features of Electromagnetic Acoustic Defectoscopy Equipment for Bar Iron Using Rod Waves

Approaches to developing the equipment for implementation of waveguide acoustic testing in noncontact electromagnetic acoustic transformation both in receiving and in radiation modes are offered. Advantages of the multiple reflection method implemented with the developed equipment are presented.

Key words: waveguide acoustic testing, multiple reflection, electromagnetic acoustic transducers, piezoelectric transducers, outgoing pulse generator, bipolar excitation.

УДК 621.31

С. Г. Селетков, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

С. С. Иванова, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ С ПОПУТНОЙ КАЛИБРОВКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ

Предложена методика расчетно-эмпирического определения искомых физических или технических параметров процесса и характеристик среды протекания процесса. Суть методики состоит в использовании двоякого воздействия с различной интенсивностью на среду протекания процесса и параллельного измерения его параметров. В результате такого воздействия и измерения появляется возможность расчетным путем находить не только параметры процесса, но и характеристики среды, в которой протекает сам процесс. При этом попутно устанавливается связь между значением приборного сигнала и соответствующим ему значением параметра процесса.

Ключевые слова: метод измерения, калибровка первичных преобразователей, параметры процесса, характеристики среды протекания процесса.

Некоторые физические и технические параметры трудно, а иногда невозможно с требуемой точностью измерить непосредственно. К таким измерениям можно отнести измерение уровня жидкости в герметично закрытом сосуде

или толщины оболочки, например, корпуса крупногабаритного изделия, или избыточного давления в ударной волне. В каждом из этих случаев измерения требуется соответствующее приборное оборудование и первичные преобразователи, для которых

предварительно выполняется их калибровка или, как иногда называют эту операцию, – тарирование. При этом калибровка может вносить значительные погрешности в измерение, поскольку не всегда удается обеспечить подобие условий калибровки первичных преобразователей и условий натурального измерения с их помощью.

В настоящей статье предлагается универсальный метод измерения, универсальность которого состоит в том, что он может использоваться для регистрации параметров самых различных физических и технических процессов. Условиями его применения являются: наличие математических зависимостей между параметрами процесса и характеристиками среды, в которой протекает процесс, а также возможность приборной регистрации сигнала от первичных преобразователей, реагирующих на некоторое искусственное или природное воздействие на среду протекания процесса. При выполнении этих условий общей операцией методики измерения является последовательная регистрация приборных показаний при двух испытаниях. Различная интенсивность воздействия на среду в этих испытаниях вызывает соответствующее различие в отклике прибора на измеряемый параметр. В дальнейшем, имея отношение величин регистрируемых сигналов, например, в виде отношения амплитуд сигнала на экране осциллографа в двух испытаниях, и зависимости, связывающей параметры процесса и характеристики среды, устанавливаются значения параметров в каждом из испытаний и некоторая характеристика среды, участвующая в расчете искомого параметра. При этом выполняется калибровка измерительной цепи. Покажем эффективность использования методики на примерах.

Пример первый. Использование методики при измерении уровня и плотности жидкости с помощью стержня в закрытых резервуарах (рис. 1).

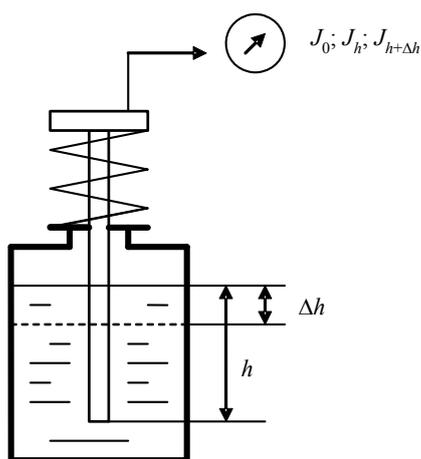


Рис. 1. Схема измерения уровня и плотности жидкости

Имеем закрытый резервуар, в котором необходимо выполнять мониторинг уровня жидкости и, возможно, контролировать плотность жидкости. Доступ к непосредственному измерению, предположим, из-

за агрессивности или состояния жидкости, невозможен. При этом плотность жидкости может быть произвольной, например кипящей. Делаем следующие операции.

1. Снимаем показание J_0 прибора, пропорциональное массе m стержня, не погруженного в жидкость:

$$J_0 = kmg, \tag{1}$$

где g – ускорение свободного падения.

Выполняем *первое измерение* уровня h жидкости, поступившей в резервуар, регистрируя показание прибора J_1 :

$$J_1 = k(mg - s \cdot h \cdot \rho g). \tag{2}$$

3. Выполняем *второе измерение*, после намеренного изменения погружения стержня в жидкость на определенную величину Δh регистрируем второе показание прибора, отреагировавшего на это искусственное изменение уровня жидкости относительно стержня, – погружения ($+\Delta h$) или подъема ($-\Delta h$) стержня из жидкости:

$$J_2 = k[(mg - s \cdot (h \pm \Delta h) \cdot \rho g)]. \tag{3}$$

Обозначим:

$$j_1 = J_1/J_0; \quad j_2 = J_2/J_0. \tag{4}$$

В формулах s – поперечная площадь стержня.

Из соотношений (1)–(4) достаточно просто установить значения уровня жидкости в резервуаре:

$$h = \frac{\Delta h(1 - j_1)}{j_1 - j_2} \tag{5}$$

и плотности жидкости в момент измерения:

$$\rho = \frac{m(j_1 - j_2)}{\Delta h \cdot S}. \tag{6}$$

При этом тарируется измерительная система и находится коэффициент перехода μ_T от показания прибора к истинному значению уровня:

$$\mu_T = \frac{\Delta h}{\Delta J}, \tag{7}$$

где $\Delta J = J_2 - J_1$ – приращение в показании прибора при искусственном изменении уровня относительно стержня на величину Δh .

Добавим, что в результате изменения устанавливается и характеристика среды – плотность жидкости ρ , определением которой мы могли и не задаваться, однако предлагаемый метод позволяет это сделать при любом состоянии жидкости.

Пример второй. Используем методику при измерении толщины стенки с неизвестным показателем гашения сигнала в материале стенки (рис. 2).

Широко известен метод с использованием какого-либо излучения, в котором пучок лучей неослаблен-

ной интенсивности J_0 проникает через стенку изделия толщиной h , испытывая при этом ослабление до величины J_h в соответствии с законом поглощения, допустим, по экспоненциальной зависимости. Делаем *первое измерение*, положив, что в данном диапазоне измерений падение интенсивности излучения происходит по формуле

$$J_h = J_0 \cdot \exp(-\mu h), \quad (8)$$

где J_0, J_h – показания прибора, регистрирующего на значение интенсивности излучения до и после прохождения стенки, которое может быть цифровым или аналоговым; μ – коэффициент ослабления, который зависит от атомной массы облучаемого материала и интенсивности излучения. Затем выполняем *второе измерение* с искусственным изменением толщины стенки на величину Δh и снимаем показание прибора, которое математически можно выразить зависимостью

$$J_{h+\Delta h} = J_0 \cdot \exp[-\mu(h + \Delta h)]. \quad (9)$$

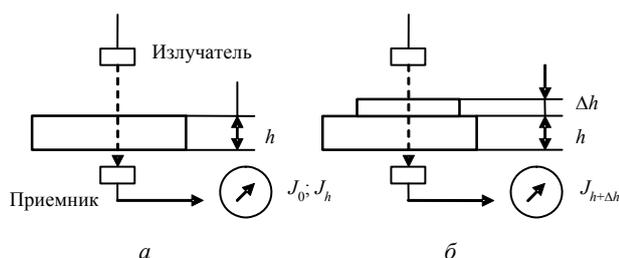


Рис. 2. Схема измерения толщины стенки и показателя гашения сигнала в материале стенки: а – измерение без пластинки; б – с пластинкой

Новизна метода состоит в том, что при втором измерении между излучателем и приемником излучения помещается пластинка известной толщины Δh , при этом пластинка должна быть изготовлена из материала, аналогичного материалу стенки резервуара.

Обозначим величины отношений соответствующих сигналов:

$$j_1 = \frac{J_h}{J_0}; \quad j_2 = \frac{J_{h+\Delta h}}{J_0}. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (8), (9) и (10) находим:
– толщину измеряемой стенки резервуара

$$h = \frac{\Delta h \cdot \ln j_1}{\ln(j_2/j_1)}; \quad (11)$$

– характеристику поглощения излучения материалом стенки

$$\mu = \frac{\ln(j_1/j_2)}{\Delta h}. \quad (12)$$

В данном случае, как и в предыдущем, также имеет место попутная калибровка измерительной

цепи, включая первичные преобразователи, и побочное установление измеренной величины μ материала, характеризующей его способность поглощать излучение.

Пример третий. Определение интенсивности ударных волн (УВ) и скорости звука в среде их распространения. Для определения максимального относительного избыточного давления $\Delta p/p$ в УВ используется известная зависимость для прямого скачка уплотнения, связывающая скорость u УВ и параметры среды: p – давление; k – коэффициент адиабаты; a – скорость звука в атмосфере:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{2k}{k+1} \left(\frac{u^2}{a^2} - 1 \right). \quad (13)$$

Значением скорости звука в атмосфере обычно задаются или вычисляют, используя известную зависимость от температуры, а коэффициент адиабаты принимается равным табличному, что также вносит погрешность [1].

Для проведения измерений при известном направлении на источник УВ достаточно иметь два блокирующих первичных преобразователя, например, датчики с пьезоэлементами, установленные на концах контрольного отрезка определенной длины L и направленные на источник УВ (рис. 3).

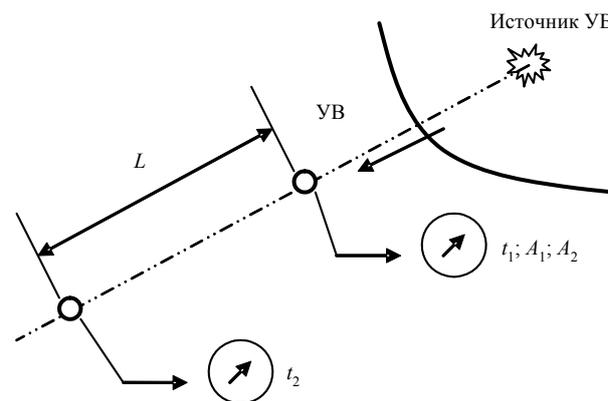


Рис. 3. Схема измерения избыточного давления в УВ и скорости звука

Первичные преобразователи кроме регистрации сигнала, пропорционального максимальному избыточному давлению, должны фиксировать моменты времени прохождения УВ точек положения преобразователей, что позволяет находить время прохождения волной контрольного отрезка и среднюю скорость движения ударной волны на данном отрезке. Для нахождения искомым параметров, как и в предыдущих примерах, требуется последовательное излучение источником двух ударных волн различной интенсивности при идентичном состоянии среды и, соответственно, выполнении *двух измерений*. Зарегистрировав амплитуды A_1 и A_2 сигналов интенсивности УВ и время t_1, t_2 прохождения волн отрезка между датчиками, можно составить систему уравнений:

– отношение избыточных давлений двух произвольных УВ различной интенсивности как отношение амплитуд их сигналов

$$\pi_{12} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}; \quad (14)$$

– отношение средних скоростей движения УВ на контрольном отрезке как отношение периодов времени прохождения этих отрезков УВ:

$$\tau_{12} = \frac{(t_2 - t_1)_1}{(t_2 - t_1)_2}. \quad (15)$$

Используя дважды зависимость (13) для двух исследуемых УВ совместно с уравнениями (14) и (15), найдем значения относительных избыточных давлений в каждой из УВ, скорости их движения и скорость звука по формулам:

$$\frac{\Delta p_1}{p} = \frac{2k}{k+1} \left[\frac{\pi_{12}(1 - \tau_{12}^2)}{\pi_{12}\tau_{12}^2 - 1} \right]; \quad (16)$$

$$\frac{\Delta p_2}{p} = \frac{1}{\pi_{12}} \frac{\Delta p_1}{p}; \quad (17)$$

$$u_1 = a \left[\frac{(\pi_{12} - 1)}{\pi_{12}\tau_{12}^2 - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ и } u_2 = u_1\tau_{12}; \quad (18)$$

$$a = \left[\frac{\pi_{12}u_2^2 - u_1^2}{\pi_{12} - 1} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Более сложные случаи определения интенсивности ударных волн приведены в работах [2, 3], в которых рассматриваются варианты выполнения измерений при неопределенности значения не только скорости звука в среде распространения волн, но и неопределенности по направлению от точки измерения к источнику излучения УВ.

Выводы

1. Предложен метод измерения параметров физических и технических процессов. Условиями его применения являются: наличие математических зависимостей между параметрами исследуемого процесса и характеристиками среды, в которой протекает процесс, а также возможность приборной регистрации сигнала от первичных преобразователей,

реагирующих на некоторое искусственное или природное воздействие на среду протекания процесса.

2. Новизна методики состоит в том, что в ходе измерений предлагается выполнять последовательную регистрацию приборных показаний при двух испытаниях, при этом интенсивность воздействия на среду должна быть различна, что должно отражаться на показаниях прибора. В дальнейшем, имея отношение величин регистрируемых сигналов, например, в виде отношения амплитуд сигнала на экране осциллографа и зависимостей, связывающих параметры процесса и характеристики среды, устанавливаются значения параметров в каждом из испытаний и характеристика среды, участвующей в расчете искомого параметра. При этом попутно выполняется калибровка измерительной цепи.

3. Работоспособность методики показана на примерах измерения: толщины стенки изделий, уровня жидкости в закрытом сосуде и интенсивности ударных волн. Во всех приведенных примерах удается выполнить измерение искомого параметра и дополнительно установить характеристики среды протекания процесса.

4. Значение предложенной методики для теории измерений состоит в том, что она позволяет развить принципы расчетно-экспериментальных методов измерения на основе исследования реакции среды на воздействия различной интенсивности, откуда могут быть извлечены характеристики самой среды.

5. Значение методики для практики состоит в существенном увеличении точности измерений за счет попутной калибровки измерительной цепи, включая первичные преобразователи и определения истинных значений характеристик среды протекания процесса, разумеется, в пределах возможной точности измерений.

Библиографические ссылки

1. Измерения в промышленности / под ред. П. Профоса; пер. с нем. – М.: Металлургия, 1980. – 648 с.
2. Патент № 2130597 Россия, МПК G 01 L 23/10. Устройство и способ Селеткова для определения давления и скорости движения ударных волн, скорости звука в среде их распространения и направления на звуковой источник / С. Г. Селетков (Россия). – 96121526/28; Заявлено 01.10.96; Опубл. 20.05.99. Бюл. 14. Приоритет 01.10.99 (Россия).
3. Селетков С. Г. Способы определения интенсивности ударных волн, скорости звука в среде их распространения и направления на звуковой источник // Вестник ИжГТУ. – 2000. – Вып. 1. – С. 7–11.

S. G. Seletkov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

S. S. Ivanova, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Experimental Calculated Method of Parameter Measurement with Concurrent Calibration of Metering Circuit

The paper shows the method of calculation and empirical determination of the required physical and technical parameters of the process and the characteristics of the process's environment. The technique implies application of a double exposure with different intensities on the environment of the process and the parallel dimension of its parameters. As a result of such exposure and measurement it is possible to find by calculation not only the process parameters but the characteristics of the environment in which the process takes place. At the same time the relation between the value of the instrument signal and the appropriate value parameter of the process is established simultaneously.

Key words: method of measurement, calibration of transducers, process parameters, characteristics of the process environment.