

РЕАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА СУ-НИЛЬСЕНА ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Е.В. Измайлова, Ю.В. Ваньков

В программной среде LabVIEW создан аппаратно-программный комплекс для определения координат источника акустической эмиссии и счета числа импульсов. Описано использование источника Су-Нильсена для проверки работоспособности аппаратуры акустико-эмиссионного контроля.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, метод акустической эмиссии, определение координат дефекта, источник Су-Нильсена, LabVIEW.

В связи с потерями тепла в системах теплоснабжения, достигающих до 60 %, необходима оценка технического состояния труб. Для этого применяется комплексный подход с использованием методов неразрушающего контроля (НК), позволяющих осуществлять диагностирование опасных дефектов, возникающих в процессе эксплуатации по всей длине диагностируемого участка.

Основной вид дефектов, которые должны выявляться с использованием методов и средств технической диагностики и неразрушающего контроля (НК) – это нарушение сплошности (однородности) материала объекта или соединения (сварного, клеевого, термодиффузионного и т. п.).

Одним из интегральных методов НК является метод акустической эмиссии (АЭ), который позволяет в реальном времени следить за характером образования и развития дефектов в материале всего объекта, даже в режиме эксплуатации.

В методе АЭ, как и в других методах НК, основой является процесс извлечения информации, заключенной в параметрах сигнала. Этот метод базируется на подходах механики разрушения, оценивающей влияние дефекта на степень безопасности объекта. И это является принципиальным отличием от других методов НК.

Метод АЭ можно отнести к методу технической диагностики, который позволяет:

- определить техническое состояние объекта – обнаружить наиболее опасные дефекты, которые развиваются в контролируемом объекте;
- оценить степень их опасности и риск аварий – продлевать эксплуатационный цикл промышленных объектов;
- прогнозировать ресурс объекта – вероятности возникновения аварийных разрушений и катастроф.

Метод контроля АЭ обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры составляет порядка $1 \cdot 10^{-6}$ мм², что соответствует выявлению увеличения длины трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм.

Структура аппаратуры АЭ контроля определяется следующими основными задачами: прием и идентификация сигналов АЭ, их усиление и обработка, определение значений параметров сигналов фиксация результатов и выдача информации.

Классификация источников АЭ выполняется с использованием следующих параметров сигналов: суммарного счета, числа импульсов, амплитуды (амплитудного распределения), энергии (либо энергетического параметра), скорости счета, активности, концентрации источников АЭ. В систему классификации также входят параметры нагружения контролируемого объекта и время.

В образцах с дефектами, как искусственными (надрезами), так и естественными трещинами, происходит концентрация напряжений вблизи острого края дефекта. В этом месте образуется локальная зона пластической деформации, объем которой пропорционален коэффициенту интен-

сивности напряжений (КИН) K – величине, характеризующей сложное напряженное состояние. От этой зоны появляются импульсы АЭ, число которых также связано с K . Когда локальное напряжение превосходит предел прочности, происходит микроразрыв – скачкообразное увеличение дефекта; он проходит через эту зону, создавая сигналы АЭ. При дальнейшем нагружении процесс повторяется. Таким образом, число импульсов АЭ (N) растет с ростом K .

Колебания распространяются от источника излучения к датчику (датчикам), где они преобразуются в электрические сигналы.

В процессе распространения волны напряжения от дефекта до приемника происходит диссипация энергии и уменьшение амплитуды сигнала.

АЭ приборы регистрируют эти сигналы и отображают данные на экране в виде осциллограмм, локаций, цифровых индикаций, на основе которых оператор может оценить состояние и поведение структуры материала под напряжением, обнаружить и определить местонахождение дефектов.

С помощью датчиков АЭ, установленных непосредственно на трубопроводе, также определяется местоположение дефектов (по задержке времени распространения сигнала от дефекта до датчиков). Установка нескольких датчиков на всей протяженности отрезка трубопровода позволяет зафиксировать изменение формы сигнала с удалением от источника АЭ.

В работе исследуются сигналы АЭ, возникающие в результате инициирования дефекта на отрезке трубопровода в лабораторных условиях.

До нагружения объекта проверяют работоспособность аппаратуры и оценивают погрешность определения координат с помощью имитатора. В качестве имитатора сигналов АЭ используется источник Су-Нильсена (Су-имитатор), имитирующий АЭ сигналы.

Волна напряжения в материале конструкции возбуждается в результате излома стержня карандаша (диаметром 0,3–0,5 мм, твердостью 2Т (2Н)), снабженного защитной кольцевой насадкой, определяющей угол между карандашом и поверхностью, и обеспечивающий излом стержня без последующего удара тела карандаша по поверхности при надавливании им на контролируемый объект.

Хрупкое разрушение грифеля имитирует прокок трещины в материале конструкции с похожими энергетическими характеристиками. С помощью Су-источника принято проверять чувствительность системы и определять точность локации дефектов. На рис. 1 показан зарегистрированный амплитудно-временной сигнал от излома грифеля.

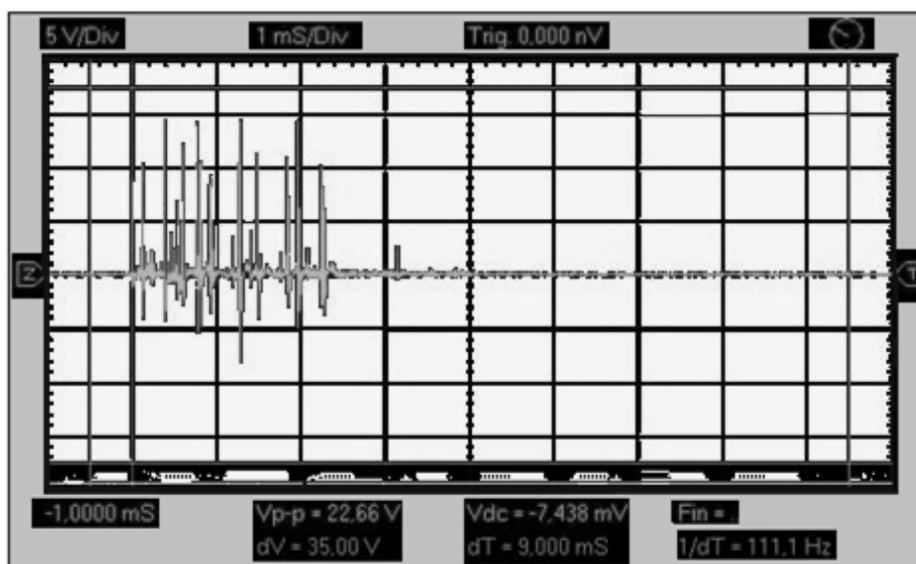


Рис. 1. Амплитудно-временной сигнал от излома грифеля

На рис. 2 приведена часть блок-диаграммы виртуального прибора LabVIEW [1–4], который регистрирует сигнал и записывает его данные.

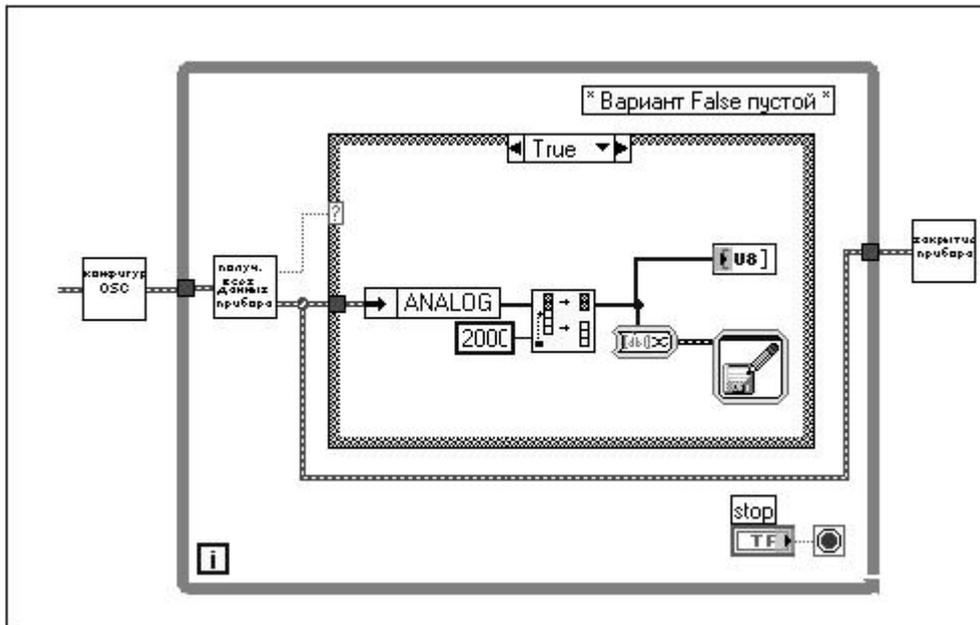


Рис. 2. Часть блок-диаграммы программы, регистрирующей сигнал АЭ

На рис. 3 изображен исследуемый образец.

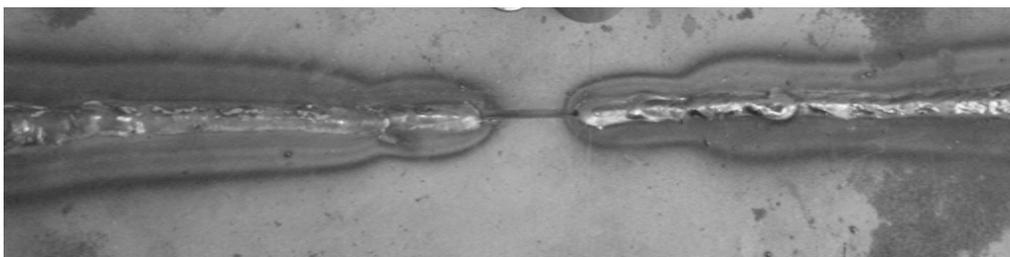


Рис. 3. Исследуемый образец

На рис. 4 показана принципиальная схема лабораторной установки.

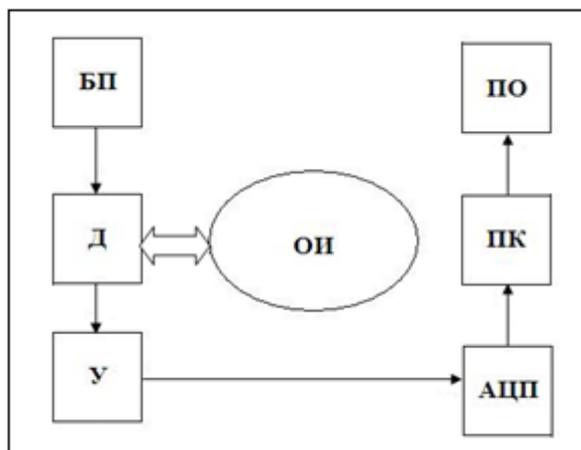


Рис. 4. Принципиальная блок-схема установки: БП – блок питания предусилителя; У – предусилитель; Д – датчик АЭ; ОИ – объект исследования (металлическая пластина); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПК – персональный компьютер; ПО – программное обеспечение для обработки сигналов (LabVIEW)

На рис. 5 представлена сама экспериментальная установка.

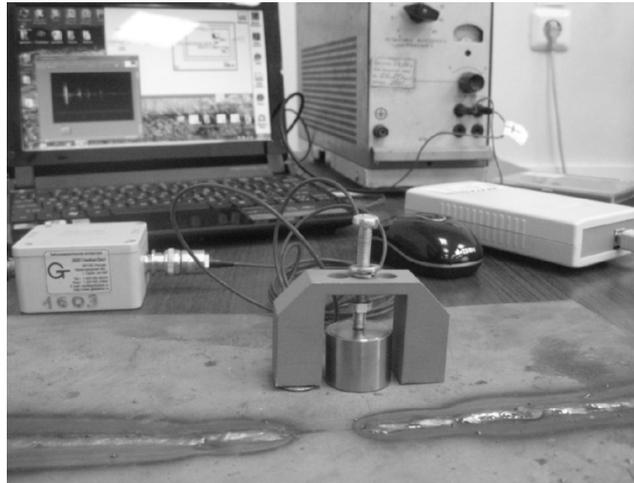


Рис. 5. Внешний вид экспериментальной установки

На рис. 6 приведены приборы, используемые в экспериментальной установке.

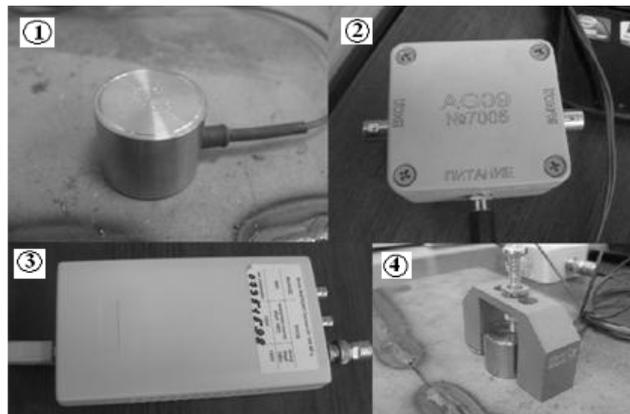


Рис. 6. Используемые приборы: 1 – датчик акустической эмиссии GT350; 2 – предусилитель AG09; 3 – аналого-цифровой преобразователь АЦП/ЦАП PV6501; 4 – закрепленный датчик АЭ на исследуемом образце

Аппаратно-программный комплекс реализован в среде графического программирования LabVIEW. Разработан виртуальный прибор (ВП), в котором реализованы счет числа импульсов АЭ и определение координат источника АЭ [5]. Часть блок-диаграммы этого ВП показана на рис. 7 [6].

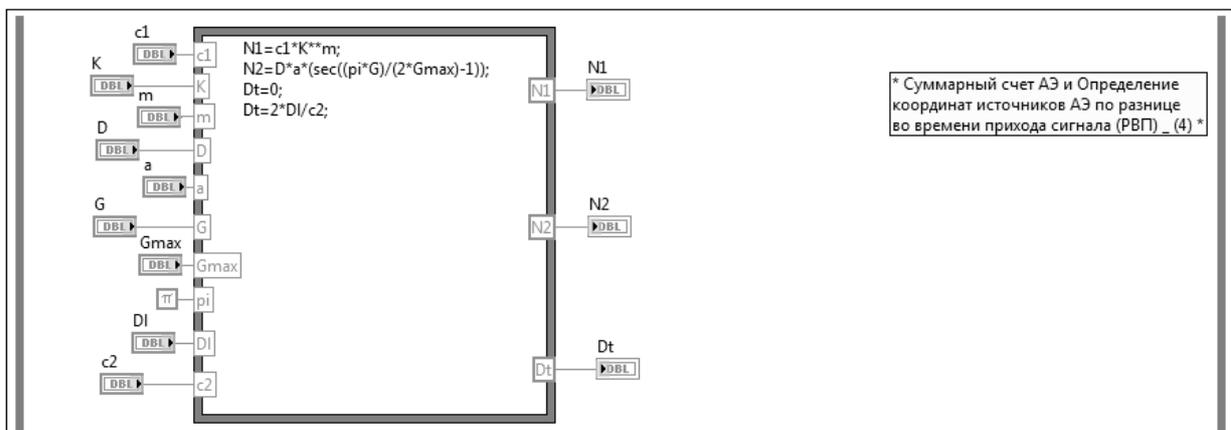


Рис. 7. Часть блок-диаграммы программы, реализующей счет числа импульсов и определение координат источника АЭ

Нестабильный рост трещины сопровождается АЭ, суммарный счет которой может быть записан в виде

$$N = cK^m, \quad (1)$$

где K – коэффициент интенсивности напряжений (КИН). Постоянные c и m определяются материалом и условиями нагружения.

Связь числа импульсов АЭ с приложенным напряжением можно выразить также в следующем виде (И. Палмер и П. Хилд) [7]:

$$N_{\Sigma} = Da \left[\sec \left(\frac{\pi\sigma}{2\sigma_{\max}} - 1 \right) \right], \quad (2)$$

где D – постоянная, определяемая условиями испытаний, параметрами материала и геометрией образца; a – половина длины трещины; σ_{\max} – прочность материала.

А. Поллок [7] показал, что обе модели (2) и (1) дают удовлетворительные результаты, достаточно хорошо совпадающие с экспериментом.

Если источник АЭ (ИС1) расположен посередине между двумя преобразователями АЭ (ПАЭ), то сигналы приходят одновременно и РВП:

$$\Delta t = 0.$$

Если источник АЭ смещен к одному из ПАЭ (ИС2), то РВП составит:

$$\Delta t = 2\Delta l/c,$$

где Δl – смещение источника относительно центра; c – скорость ультразвука в объекте.

Измерив Δt и зная скорость звука c , можно определить Δl , т. е. координату источника АЭ на линии, соединяющей оба ПАЭ.

Результат обработки полученной информации служит основанием для заключения о природе, месте расположения и росте дефекта.

При принятии решения по результатам АЭ контроля используются данные, содержащие сведения обо всех источниках АЭ, их классификации и сведения относительно источников АЭ, параметры которых превышают допустимый уровень.

Литература

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 (30 лекций) / П.А. Бутырин, Т.А. Васьковская, В.В. Каратаев, С.В. Материкин. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 264 с.
2. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: учеб. пособие для вузов / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин, В.Ф. Папуловский. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.
3. Суранов, А.Я. LabVIEW 7: справ. по функциям / А.Я. Суранов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 512 с.
4. Сато, Ю. Без паники! Цифровая обработка сигналов / Ю. Сато. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 176 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617704 Российской Федерация. FlawDefiner / Е.В. Измайлова, Ю.В. Ваньков, В.В. Серов, Т.Г. Горбунова (РФ). Зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 27.08.2012.
6. Измайлова, Е.В. Регистрация параметров сигнала источника акустической эмиссии в LabVIEW / Е.В. Измайлова, Ю.В. Ваньков // Материалы региональной научно-технической конференции «Энергия-2012». – Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2012. – Т. 1, ч. 1. – С. 66–70.
7. Иванов, В.И. Диагностика безопасности. Акустическая эмиссия / В.И. Иванов, Г.А. Бигус, И.Э. Власов; под общ. ред. акад. РАН В.В. Клюева. – М.: РОНКТД, 2011. – 192 с.

Измайлова Евгения Вячеславовна, аспирант, ассистент кафедры промышленной теплоэнергетики и систем теплоснабжения, Казанский государственный энергетический университет (г. Казань); evgeniya-izmailova@yandex.ru.

Ваньков Юрий Витальевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики и систем теплоснабжения, Казанский государственный энергетический университет (г. Казань); yvankov@mail.ru.

Поступила в редакцию 17 декабря 2013 г.

IMPLEMENTATION OF THE SOURCE OF THE SU-NIELSEN FOR CHECK THE SERVICEABILITY OF ACOUSTIC EMISSION EQUIPMENT

E.V. Izmailova, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation,
evgeniya-izmailova@yandex.ru,

Yu.V. Vankov, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation,
yvankov@mail.ru

In the software environment of LabVIEW there is created a hardware-software complex for determination of coordinates of the source of acoustic emission and counting the number of pulses. The use of the source of the Su-Nielsen for check the serviceability equipment of acoustic emission control is described.

Keywords: nondestructive testing, method of acoustic issue, determination of coordinates of defects, the source of the Su-Nielsen, LabVIEW.

References

1. Butyrin P.A., Vaskovsky T.A., Karatayev V.V., Materikin S.V. *Avtomatizatsiy fizicheskikh issledovaniy i eksperimenta: komp'yuternye izmereniya i virtual'nye pribory na osnove LabVIEW 7 (30 lektsiy)* [Automation of Physical Research and Experiment: Computer Measurement and Virtual Devices on the Basis of LabVIEW 7 (30 Lessons)]. Moscow, DMK Press Publ., 2005. 264 p.
2. Batovrin V.K., Bessonov A.S., Moshkin V.V., Papulovskiy V.F. *LabVIEW: praktikum po osnovam izmeritel'nykh tekhnologiy. Uchebnoe posobie dlya vuzov* [LabVIEW: Workshop on Fundamentals of Measurement Technology. Manual for Universities]. Moscow, DMK Press Publ., 2005. 208 p.
3. Suranov A.Ya. *LabVIEW 7: Spravochnik po funktsiyam* [LabVIEW 7: Function Reference]. Moscow, DMK Press Publ., 2005. 512 p.
4. Sato Y. *Bez paniki! Tsifrovaya obrabotka signalov* [Without Panic! Digital Processing of Signals]. Moscow, Dodeka-XXI Publ., 2010, 176 p.
5. Izmailova E.V., Vankov Y.V., Serov V.V., Gorbunova T.G. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2012617704: FlawDefiner* [Certificate on State Registration of the Computer Program № 2012617704: FlawDefiner]. Registered in the Register of Computer Programs 27 August 2012.
6. Izmailova E.V., Vankov Y.V. Registration of Parameters of the Signal Source of Acoustic Emission in LabVIEW [Registratsiyaparametrovsignalaistochnikaakusticheskoiemissii v LabVIEW]. *Materialy regionalnoy naucho-technicheskoy konf. "Energiya-2012"* [Proc. of the Regional Scientific and Technical Conference "Energy-2012"]. Ivanovo, Ivanovo State Power University of. V.I. Lenin, 2012, vol.1, part 1, pp. 66–70.
7. Ivanov V.I., Bigus G.A., Vlasov I.E. *Diagnostika bezopasnosti. Akusticheskaya emissiya* [Diagnosis Security. Acoustic Emission]. Moscow, RONKTD Publ., 2011. 192 p.

Received 17 December 2013