ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 55047— 2012

Техническая диагностика

БЕЗЭТАЛОННАЯ КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Общие требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД»), Обществом с ограниченной ответственностью «Энергодиагностика» (ООО «Энергодиагностика»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 132 «Техническая диагностика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2012 г. № 700-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2015

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Обозначения и сокращения 2
4 Общие положения 2
5 Общие требования к порядку безэталонной калибровки средств измерений для диагностирования напряженно-деформированного состояния 3
6 Требования безопасности 3
Приложение А (справочное) Пример безэталонной калибровки средств измерений для диагностирования напряженно-деформированного состояния материала трубопровода акустическим методом 4
Библиография 9

Введение

В настоящее время интенсивно разрабатываются и все шире внедряются в инженерную практику методы диагностирования напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов ответственных технических объектов, основанные на современных методах неразрушающего контроля.

Большинство методов неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния предполагает использование калибровки применяемых средств измерений на образцах (чаще всего это образцы на растяжение).

В то же время известно, что такая калибровка часто приводит к значительным погрешностям при определении напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов реального оборудования, которое не соответствует напряженно-деформированному состоянию калибровочных образцов.

Создание единых эталонных образцов для сравнения различных методов неразрушающего контроля напряжений с учетом масштабного фактора, характера рабочих нагрузок и локальности зон максимальных напряжений не представляется возможным.

В этих условиях необходим стандарт, устанавливающий общие требования к порядку безэталонной калибровки средств измерений, применяемых при диагностировании напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов с использованием методов неразрушающего контроля.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Техническая диагностика

БЕЗЭТАЛОННАЯ КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Общие требования

Technical diagnostics. Without standards calibration of equipment for measuring the stress-strain state of structural materials. General requirements

Дата введения — 2014—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на средства диагностирования напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов, в которых используются методы неразрушающего контроля, применимые как при изготовлении, так и при эксплуатации ответственных технических объектов.

Стандарт устанавливает общие требования к порядку безэталонной калибровки средств измерений для определения механических напряжений, возникающих в материале технических объектов под действием рабочих нагрузок.

Стандарт не распространяется на определение остаточных напряжений, возникающих при необратимых изменениях материала вследствие термообработки, пластической деформации, накопления усталостных повреждений и т. п.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.019—79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.1.038—82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

ГОСТ 18353—79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов

ГОСТ 21616—91 Тензорезисторы. Общие технические условия

ГОСТ 21625—76 Устройство информационно-измерительное цифровое со струнным преобразователем для измерения линейных размеров

ГОСТ 23479—79 Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования

ГОСТ 28836—90 Датчики силоизмерительные тензорезисторные. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ Р 52330—2005 Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования

ГОСТ Р 52731—2007 Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля механических напряжений. Общие требования

ГОСТ Р 52890—2007 Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля напряжений в материале трубопроводов. Общие требования

ГОСТ Р 52891—2007 Контроль остаточных технологических напряжений методом лазерной интерферометрии. Общие требования

Издание официальное

ГОСТ Р 53204—2008 Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля переменных механических напряжений. Общие требования

ГОСТ Р 53966—2010 Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния материала конструкций. Общие требования к порядку выбора методов

ГОСТ Р ИСО 24497-2—2009 Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Общие требования

ГОСТ Р ИСО 24497-3—2009 Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 3. Контроль сварных соединений

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Обозначения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

НДС — напряженно-деформированное состояние;

ЭОПО — элемент объекта промышленной опасности;

НК — неразрушающий контроль;

ОИ — объект испытаний;

СИ — средство измерений.

4 Общие положения

4.1 При выборе СИ для диагностирования НДС материала ЭОПО руководствуются требованием максимальной чувствительности применяемых методов НК.

4.2 При выборе методов НК руководствуются общими требованиями к порядку выбора по ГОСТ Р 53966.

4.3 Рекомендуются к использованию следующие методы по ГОСТ 18353:

4.3.1 Тензометрический метод по ГОСТ 52728 с использованием следующих типов тензометров:

- электротензометры по ГОСТ 21616 и ГОСТ 28836;
- механические тензометры [1];
- оптические тензометры;
- струнные тензометры, устройства информационно-измерительные цифровые со струнными преобразователями по ГОСТ 21625.

4.3.2 Магнитные методы, основанные на измерении следующих параметров:

- шумы Баркгаузена;
- коэрцитивная сила;
- магнитная анизотропия;
- собственное магнитное поле рассеяния (метод магнитной памяти металла) по ГОСТ Р ИСО 24497-2 и ГОСТ Р ИСО 24497-3.

4.3.3 Методы оптического вида по ГОСТ 23479, включающие в себя:

- интерферометрический метод по ГОСТ Р 52891;
- метод муаровых полос;
- метод оптически чувствительных покрытий.

4.3.4 Рентгеновский метод.

4.3.5 Акустические методы, основанные на явлении акустоупругости:

- методы, использующие упругие объемные (продольные и поперечные) волны по ГОСТ Р 52731, ГОСТ Р 52890 и ГОСТ Р 53204;
- методы, использующие упругие поверхностные волны Рэлея [2];

- методы, использующие упругие головные (ползущие, подповерхностные, в иностранной литературе — L_{CR}-волны) [3].

4.4 Требования к ЭОПО и средствам диагностирования их НДС должны предусматривать возможность осуществления устанавливаемого настоящим стандартом порядка безэталонной калибровки.

4.5 Основанием для выбора ОИ при калибровке средств диагностирования НДС должен быть анализ результатов проведенных предприятием — изготовителем ЭОПО экспериментальных исследований соответствия НДС материала ОИ и ЭОПО либо анализ результатов практического применения выбранных методов для аналогичных объектов.

4.6 Предприятие — изготовитель ЭОПО, предприятие, эксплуатирующее ЭОПО, а также предприятие, осуществляющее диагностирование ЭОПО, должны располагать нормативными и техническими документами на выбранный метод НК и средства диагностирования НДС и иметь специалистов надлежащей квалификации.

5 Общие требования к порядку безэталонной калибровки средств измерений для диагностирования напряженно-деформированного состояния

5.1 При безэталонной калибровке СИ настраиваются непосредственно на реальном ЭОПО путем сравнения результатов контроля НДС, полученных под действием рабочих нагрузок и после их снятия.

Примечание — В качестве ОИ при калибровке средств диагностирования НДС могут быть использованы модели установок, имитирующие условия работы реального ЭОПО с учетом масштабного фактора.

5.2 При выборе метода НК и способа калибровки СИ для диагностирования НДС необходимо руководствоваться ГОСТ Р 52330.

5.3 При выборе ОИ для калибровки средств диагностирования НДС необходимо учитывать локальность контроля и площадь (объем) усреднения в оценке НДС ЭОПО.

5.4 Составляют программу ступенчатого нагружения ОИ от минимальной нагрузки P_{min} до максимальной P_{max}. Рекомендуется предусмотреть не менее пяти ступеней нагрузки для последующей регрессионной обработки результатов испытаний.

Примечание — В зависимости от вида ЭОПО нагрузкой может быть давление, усилие, изгибающий момент и т. п.

5.5 На ОИ устанавливают датчики калибруемых СИ.

5.6 На каждой ступени нагрузки проводят измерения параметров метода НК, реализуемого калибруемым СИ. Каждую ступень нагрузки (в порядке «вверх-вниз») повторяют три раза.

5.7 Вычисляют коэффициенты линейной регрессии зависимостей величин параметров метода НК от нагрузки, используя метод наименьших квадратов.

5.8 Настоящий стандарт применим, если коэффициент корреляции по 5.7 не менее 0,9.

5.9 На основании данных по 5.7 и 5.8 строят тарировочные кривые либо вносят полученные коэффициенты линейной регрессии в базу данных СИ.

5.10 Пример безэталонной калибровки СИ для диагностирования НДС материала трубопровода акустическим методом приведен в приложении А.

6 Требования безопасности

6.1 К выполнению работ по проведению калибровки средств измерения для диагностирования НДС конструкционных материалов ЭОПО допускают операторов, обладающих навыками эксплуатации выбранного средства диагностирования НДС, умеющих пользоваться нормативными и техническими документами по соответствующим методам НК, прошедших обучение работе с применяемыми СИ и аттестованных на знание правил безопасности в соответствующей отрасли промышленности.

6.2 Оператор должен руководствоваться правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей по ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.1.038.

Приложение А
(справочное)

Пример безэталонной калибровки средств измерений для диагностирования напряженно-деформированного состояния материала трубопровода акустическим методом

А.1 В соответствии с современными экспериментальными данными классические формулы акустоупругости [2, 4, 5] дают удовлетворительные результаты для конструкционных материалов, не обладающих высокой анизотропией механических свойств. Для них оказываются применимыми приемы определения напряжений акустическим методом, регламентируемые ГОСТ Р 52731 и ГОСТ Р 52890, предполагающими определение необходимых акустоупругих коэффициентов на упруго деформируемых плоских образцах по ГОСТ 1497.

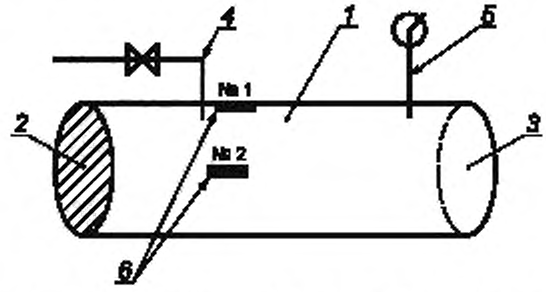
А.2 В распространенных случаях, когда материал трубопровода обладает выраженной анизотропией механических свойств (примером является сталь контролируемой прокатки), использование классических формул акустоупругости приводит к недопустимым погрешностям определения напряжений в материале трубопровода вследствие некорректности использования определенных на плоских тарировочных образцах упругоакустических коэффициентов [6].

А.3 Повышение точности определения напряжений в материале трубопроводов, изготовленных из анизотропного материала, может быть достигнуто путем использования для тарировки акустического метода трубчатых образцов, геометрические параметры которых соответствуют параметрам предполагаемых к обследованию трубопроводов.

А.4 Для проведения калибровки в качестве ОИ использовался образец, изготовленный из трубной стали контролируемой прокатки Х70, диаметром 1420 мм, толщиной 20 мм, длиной 8 м, заваренный по торцам.

В двух зонах были установлены группы пьезоэлектрических преобразователей, обеспечивающих излучение и прием объемных продольных и поперечных волн для определения двухосного напряженного состояния в соответствии с ГОСТ Р 52731 и ГОСТ Р 52890.

Эскиз образца приведен на рисунке А.1.



1 — отрезок трубопровода; *2, 3* — герметичные заглушки; *4* — штуцер; *5* — манометр; *6* — зоны измерений (№ 1 и № 2)

Рисунок А.1 — Трубчатый образец для тарировки акустического метода определения напряженного состояния

А.5 Для создания давления через штуцер *4* в ОИ закачивалась вода. Давление контролировалось с помощью манометра *5*.

А.6 В таблицах А.1—А.4 приведены результаты измерений задержек импульсов упругих волн различного типа, распространяющихся перпендикулярно поверхности образца. В таблицах использованы следующие обозначения:

- t_1 — задержка импульса поперечной волны с поляризацией, параллельной оси образца;
- t_2 — задержка импульса поперечной волны с поляризацией, перпендикулярной оси образца,
- t_3 — задержка импульса продольной волны;
- P — давление, определяемое с помощью манометра *5*;
- σ_2 — кольцевое напряжение, рассчитываемое по формуле

$$\sigma_2 = \frac{P \times D}{2h}, \qquad (А.1)$$

где D — внутренний диаметр образца;
h — толщина стенки образца;

σ_1 — осевое напряжение исследуемого ОИ, связанное с кольцевым напряжением соотношением

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_2}{2}, \qquad (A.2)$$

В таблицах $d_1 = \frac{t_1}{t_3}$, $d_2 = \frac{t_2}{t_3}$, d_1^0, d_2^0 соответствуют ненапряженному состоянию материала, $\Delta d_1 = d_1 - d_1^0$, $\Delta d_2 = d_2 - d_2^0$.

Таблица А.1 — Зона № 1, рост давления

Параметр	Значения						
P, атм.	0	10	25	40	50	60	75
σ_1, МПа	0	18	44	71	89	107	133
σ_2, МПа	0	36	89	142	177	213	266
t_1, нс	10982	10985	10989	10994	10997	10999	11003
t_2, нс	11775	11777	11781	11784	11786	11788	11792
t_3, нс	6429	6428	6426	6425	6424	6423	6421
d_1	1,7082	1,7089	1,7101	1,7111	1,7119	1,7124	1,7136
$\frac{\Delta d_1}{d_1^0}$	0	4,1	11,1	17,1	21,7	24,6	31,6
d_2	1,8315	1,8321	1,8333	1,8341	1,8347	1,8352	1,8365
$\frac{\Delta d_2}{d_2^0}$	0	3,2	9,8	14,2	17,5	20,2	27,3

Таблица А.2 — Зона № 1, снижение давления

Параметр	Значения						
P, атм.	0	10	25	40	50	60	75
σ_1, МПа	0	18	44	71	89	107	133
σ_2, МПа	0	36	89	142	177	213	266
t_1, нс	10985	10987	10991	10995	10997	10999	11003
t_2, нс	11776	11778	11782	11784	11786	11788	11792
t_3, нс	6430	6429	6428	6425	6423	6422	6421
d_1	1,7084	1,7090	1,7099	1,7113	1,7121	1,7127	1,7136
$\frac{\Delta d_1}{d_1^0} \times 10^4$	0	3,5	8,8	17,0	21,7	25,2	30,4
d_2	1,8314	1,8320	1,8329	1,8341	1,8350	1,8356	1,8365
$\frac{\Delta d_2}{d_2^0} \times 10^4$	0	3,2	8,2	14,7	19,7	22,9	27,8

Таблица А.3 — Зона № 2, рост давления

Параметр	Значения						
P, атм.	0	10	25	40	50	60	75
σ_1, МПа	0	18	44	71	89	107	133
σ_2, МПа	0	36	89	142	177	213	266
t_1, нс	10919	10921	10925	10928	10930	10935	10935
t_2, нс	11699	11702	11707	11712	11715	11717	11720
t_3, нс	6398	6397	6396	6994	6392	6390	6388
d_1	1,7066	1,7072	1,7081	1,7091	1,7099	1,7113	1,7118
$\frac{\Delta d_1}{d_1^0} \times 10^4$	0	3,5	8,8	14,7	19,3	27,5	30,5
d_2	1,8285	1,8293	1,8304	1,8317	1,8328	1,8336	1,8347
$\frac{\Delta d_2}{d_2^0} \times 10^4$	0	4,4	10,4	17,5	23,5	27,9	33,9

Таблица А.4 — Зона № 2, снижение давления

Параметр	Значения						
P, атм.	0	10	25	40	50	60	75
σ_1, МПа	0	18	44	71	89	107	133
σ_2, МПа	0	36	89	142	177	213	266
t_1, нс	10921	10923	10925	10928	10930	10932	10935
t_2, нс	11698	11700	11704	11708	11711	11716	11720
t_3, нс	6399	6397	6395	6393	6391	6390	6388
d_1	1,7067	1,7075	1,7084	1,7094	1,7102	1,7108	1,7118
$\frac{\Delta d_1}{d_1^0} \times 10^4$	0	4,7	10,0	15,8	20,5	24,0	29,9
d_2	1,8281	1,8290	1,8302	1,8313	1,8324	1,8335	1,8347
$\frac{\Delta d_2}{d_2^0} \times 10^4$	0	4,9	11,5	17,5	23,5	29,5	36,1

А.7 В качестве уравнений акустоупругости используют обобщенные уравнения:

$$\sigma_1 = k_1 \frac{\Delta d_1}{d_1^0} - k_2 \frac{\Delta d_2}{d_2^0}, \quad (A.3)$$

$$\sigma_2 = k_3 \frac{\Delta d_2}{d_2^0} - k_4 \frac{\Delta d_1}{d_1^0}, \quad (A.4)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 — упругоакустические коэффициенты материала с произвольной анизотропией.

А.8 Результаты измерений, приведенных в А.6, позволяют определить упругоакустические коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 в соответствии со следующей процедурой.

А.8.1 Систему уравнений (А.3—А.4) рассматривают как две линейные регрессионные модели:

$$\sigma_{1i} = k_1 \left(\frac{\Delta d_1}{d_1^0}\right)_i - k_2 \left(\frac{\Delta d_2}{d_2^0}\right)_i, \quad (A.5)$$

$$\sigma_{2i} = k_3 \left(\frac{\Delta d_2}{d_2^0}\right)_i - k_4 \left(\frac{\Delta d_1}{d_1^0}\right)_i, \quad (A.6)$$

А.8.2 Коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 определяют методом наименьших квадратов. Каждое из уравнений (А.5) и (А.6) является частным случаем уравнений множественной регрессии без свободного члена функции y_j по переменным x_{ij}:

$$y_j = \sum_i c_i x_{ij}, \tag{А.7}$$

где c_i — параметры регрессии, i — номер независимой переменной, j — номер измерения.

А.8.3 Оценку параметров регрессии c_i осуществляют методом наименьших квадратов, для чего минимизируют квадратичную форму

$$\sum_j (y_j - \sum_i c_i x_{ij})^2, \tag{А.8}$$

что приводит к определенной системе уравнений, линейной относительно параметров регрессии c_i:

$$\sum_j (y_j - \sum_i c_i x_{ij}) x_{ij} = 0. \tag{А.9}$$

А.8.4 В рассматриваемом случае задача оценки упругоакустических коэффициентов сводится к решению системы двух линейных уравнений:

$$c_1 \sum_j x_{1j}^2 + c_2 \sum_j x_{1j} x_{2j} = \sum_j y_j x_{1j}, \tag{А.10}$$

$$c_1 \sum_j x_{1j} x_{2j} + c_2 \sum_j x_{2j}^2 = \sum_j y_j x_{2j}. \tag{А.11}$$

А.8.5 Решение системы уравнений (А.10—А.11) имеет вид:

$$c_1 = \frac{\sum_j x_{2j}^2 \sum_j y_j x_{1j} - \sum_j x_{1j} x_{2j} \sum_j y_j x_{2j}}{\sum_j x_{1j}^2 \sum_j x_{2j}^2 - (\sum_j x_{1j} x_{2j})^2}, \tag{А.12}$$

$$c_2 = \frac{\sum_j x_{1j}^2 \sum_j y_j x_{2j} - \sum_j x_{1j} x_{2j} \sum_j y_j x_{1j}}{\sum_j x_{1j}^2 \sum_j x_{2j}^2 - (\sum_j x_{1j} x_{2j})^2}. \tag{А.13}$$

А.8.6 Таким образом, выражения для определения упругоакустических коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4 имеют вид:

- для k_1, k_2:

$$y_j = \sigma_{1j}, x_{1i} = (\frac{\Delta d_1}{d_1^0})_i, x_{2i} = (\frac{\Delta d_2}{d_2^0})_i, c_1 = k_1, c_2 = -k_2.$$

- для k_3, k_4:

$$y_j = \sigma_{2j}, x_{1i} = (\frac{\Delta d_2}{d_2^0})_i, x_{2i} = (\frac{\Delta d_1}{d_1^0})_i, c_1 = k_3, c_2 = -k_4.$$

А.9 После усреднения результатов, приведенных в таблицах А.1—А.4, получаем таблицу исходных значений для расчета упругоакустических коэффициентов.

Таблица А.5 — Таблица исходных значений для расчета упругоакустических коэффициентов

Параметр	Значения						
σ_{1j}, МПа	0	18	44	71	89	107	133
σ_{2j}, МПа	0	36	89	142	177	213	266
$\left(\frac{\Delta d_1}{d_1^0}\right)_j$	0	4,0	9,7	16,2	20,8	25,3	30,6
$\left(\frac{\Delta d_2}{d_2^0}\right)_j$	0	3,9	10,0	16,0	201,1	25,1	31,3

А.10 Используя данные таблицы А.5 в расчетной процедуре, приведенной в А.8, получаем следующие значения упругоакустических коэффициентов:

$$k_1 = 1{,}32 \times 10^4 \text{ Мпа}, \; k_2 = -3{,}11 \times 10^4 \text{ Мпа},$$
$$k_3 = 0{,}37 \times 10^4 \text{ Мпа}, \; k_4 = -8{,}52 \times 10^4 \text{ Мпа}.$$

А.11 Для проверки правильности полученных результатов проводилось измерение напряжений в зоне, отстоящей на расстоянии приблизительно 1 м по оси образца от зоны № 2.

Измерения проводились при тех же значениях давления, что и в процессе тарировки.

Результаты измерений акустических характеристик и расчета напряжений приведены в таблице А.6, в которой значения σ_1^a и σ_2^a соответствуют осевым и кольцевым напряжениям, рассчитанным по формулам (А.3), (А.4), $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\sigma_2$ — абсолютные погрешности их определения.

Таблица А.6 — Результаты экспериментальной проверки расчетной методики

Параметр	Значения						
P, атм.	0	10	25	40	50	60	75
σ_1, МПа	0	18	44	71	89	107	133
σ_2, МПа	0	36	89	142	177	213	266
$\frac{\Delta d_1}{d_1^0} \times 10^4$	0	3,8	9,4	16,6	21,3	24,9	31,1
$\frac{\Delta d_2}{d_2^0} \times 10^4$	0	4,2	9,8	16,5	20,7	25,4	32,0
σ_1^a, МПа	0	18	43	73	93	112	144
σ_2^a, МПа	0	34	84	148	189	222	276
$\Delta\sigma_1$, МПа	0	0	–1	2	4	5	11
$\Delta\sigma_2$, МПа	0	–2	–5	6	12	9	10

Результаты, приведенные в таблице А.6, свидетельствуют о достаточно высокой точности определения напряжений в исследованном ОИ.

Библиография

[1] Измерения в промышленности. Справочник под ред. Профоса П., пер. с нем., кн. 2. М.. Металлургия, 1990. 382 с.

[2] Неразрушающий контроль. Справочник под ред. В.В. Клюева, т. 4, кн. 1. М.: Машиностроение, 2004. 226 с.

[3] Алешин Н.П., Углов А.Л., Прилуцкий М.А. О возможности использования головных волн для контроля механических напряжений//Сварка и диагностика. 2008. № 3. С. 17—19

[4] Бобренко В.М., Вангели М.С., Куценко А.Н. Акустическая тензометрия. Кишинев. Штиинца. 1991. — 204 с.

[5] Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения. Н. Новгород: ТАЛАМ. 2005. 208 с.

[6] Алешин Н.П., Углов А.Л., Хлыбов А.А., Прилуцкий М.А. Об особенностях использования акустического метода контроля напряженного состояния трубопроводов из сталей с регулируемой прокаткой.//Неразрушающий контроль. Диагностика. 2008. № 1. С. 28—30

УДК 620.172.1:620.179.16:006.354 ОКС 77.040.10 Т59

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, безэталонная калибровка, неразрушающий контроль, средства измерения, объект испытаний, элементы объектов промышленной опасности

Редактор *В.Н. Колесов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 09.04.2015. Подписано в печать 14.05.2015. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,40. Тираж 66 экз. Зак. 1893.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru