ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70369— 2022

Расчеты и испытания на прочность

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ АКУСТОУПРУГОСТИ

Общие требования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 132 «Техническая диагностика. Расчеты и испытания на прочность»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 сентября 2022 г. № 1027-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». 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 (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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 Термины, определения, обозначения и сокращения 2
4 Общие положения 3
5 Требования безопасности 5
6 Требования к средствам измерений 5
7 Требования к объектам контроля 5
8 Порядок подготовки к проведению измерений 6
9 Порядок проведения измерений и обработки результатов 6
10 Правила оформления результатов измерений 8
Приложение А (обязательное) Определение упругоакустического коэффициента 9
Приложение Б (рекомендуемое) Форма протокола измерений 10

Введение

Объективная оценка работоспособности и безопасности эксплуатирующихся магистральных трубопроводов невозможна без оценки напряженного состояния, в котором находится их материал.

Монтаж и эксплуатация трубопроводных систем связаны с влиянием на их напряженное состояние множества различных факторов, которые не всегда можно учесть при прочностных расчетах строящихся и эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Продольные напряжения в стенке трубопровода, определяемые величинами рабочего давления и изменения температуры, поддаются расчету в отличие от изгибных напряжений, возникающих вследствие непроектных нагрузок (например, при оползнях, проседании грунта и т. д.).

Именно изгибные напряжения часто приводят к превышению допустимых продольных напряжений и к разрыву трубопровода.

Прямые измерения изгибных напряжений в потенциально опасных зонах могут быть эффективно использованы как для проверки корректности прочностных расчетов, так и для оперативной диагностики технического состояния магистральных трубопроводов.

Одним из наиболее перспективных методов измерения механических напряжений в материале без его разрушения является акустический метод, основанный на упругоакустическом эффекте — линейной зависимости скорости распространения упругих волн от напряжений, надежное экспериментальное определение которой обеспечено благодаря наличию современной измерительной техники.

Настоящий стандарт разработан с целью обеспечения методической основы применения метода акустоупругости для уточнения результатов прочностных расчетов, а также для определения реального напряженного состояния материала магистральных трубопроводов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Расчеты и испытания на прочность

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ АКУСТОУПРУГОСТИ

Общие требования

Calculation and strength testing. Evaluation of flexural stresses in linear part of trunk pipelines by acoustoelastic methods. General requirements

Дата введения — 2023—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к порядку определения изгибных механических напряжений в линейной части магистральных трубопроводов методом акустоупругости.

Настоящий стандарт распространяется:

- на магистральные газопроводы при рабочем давлении свыше 2,5 до 10,0 МПа включительно (класс I по СП 36.13330.2012), при рабочем давлении свыше 1,2 до 2,5 МПа включительно (класс II);
- магистральные нефтепроводы при номинальном наружном диаметре свыше 1000 до 1200 мм включительно (класс I), при номинальном наружном диаметре свыше 500 до 1000 мм включительно (класс II), при номинальном наружном диаметре свыше 300 до 500 мм включительно (класс III);
- магистральные нефтепродуктопроводы при номинальном наружном диаметре свыше 500 до 700 мм включительно (класс II), при номинальном наружном диаметре свыше 300 до 500 мм включительно (класс III).

Настоящий стандарт распространяется на магистральные трубопроводы, изготовленные из прямошовных и бесшовных труб.

Применимость регламентируемого стандартом метода определения изгибных напряжений устанавливается в ходе предварительной экспериментальной оценки (при отсутствии литературных данных) разброса собственных акустических характеристик материала трубопровода в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52890—2007 (приложение А, случай одноосного напряженного состояния).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 7.32 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления

ГОСТ 12.1.004 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

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

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.002 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 1497 (ИСО 6892—84) Металлы. Методы испытаний на растяжение

ГОСТ 2789 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

Издание официальное

ГОСТ 10587 Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия

ГОСТ 28840 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования

ГОСТ Р 8.563 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений

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

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

ГОСТ Р 55043 Контроль неразрушающий. Определение коэффициентов упругоакустической связи. Общие требования

ГОСТ Р 56664 Контроль неразрушающий. Определение напряженного состояния материала изделий машиностроения методами акустоупругости. Общие требования

ГОСТ Р 57512 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 5577 Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь

ГОСТ Р ИСО 5725-2 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений

ГОСТ Р МЭК 60745-2-3 Машины ручные электрические. Безопасность и методы испытаний. Часть 2-3. Частные требования к шлифовальным, дисковым шлифовальным и полировальным машинам с вращательным движением рабочего инструмента

СП 36.13330.2012 «СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы»

СП 43.13330.2012 «СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) 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. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 5577, ГОСТ Р 57512.

3.2 В настоящем стандарте использованы следующие обозначения

h — толщина стенки магистрального трубопровода, мм;

N — число точек измерений в сечении трубопровода;

j — номер точки измерения, $j = 1…N$;

$\sigma_{и}(j)$ — нормальное изгибное напряжение для j-й точки измерения, усредненное по толщине стенки магистрального трубопровода и площади электроакустического преобразователя, МПа;

V_t — средняя скорость распространения упругих поперечных волн в материале магистрального трубопровода, м/с;

$f_{н}$ — номинальная частота ультразвуковых импульсов, МГц;

m — номер отраженного импульса упругих поперечных волн;

n — число повторных измерений при определении задержки импульса упругих поперечных волн;

i — номер повторного измерения задержки ультразвукового импульса, $i = 1…n$;

T_m — длительность развертки, обеспечивающая визуализацию m отраженных импульсов поперечных волн, мкс;

Δt — абсолютная погрешность измерения временных интервалов используемых средств измерений, нс;

δt — предельно допустимая относительная погрешность измерения временных интервалов используемых средств измерений;

$t_m^{\text{п}}(i,j)$ — задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в продольном направлении, нс;

$\overline{t_m^{\text{п}}(j)}$ — среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером m для j-й точки измерения относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в продольном направлении, нс;

$\delta_{\text{п}}(j)$ — коэффициент вариации задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в продольном направлении;

$t_m^{\text{к}}(i,j)$ — задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении, нс, $i = 1…n$;

$\overline{t_m^{\text{к}}(j)}$ — среднее значение задержки отраженного импульса поперечной волны с номером m для j-й точки измерения относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении, нс;

$\delta_{\text{к}}(j)$ — коэффициент вариации задержки отраженных импульсов поперечной волны с номерами m относительно первого отраженного импульса при поляризации волны в кольцевом направлении;

D — упругоакустический (тензометрический) коэффициент, МПа.

3.3 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ИН — изгибные напряжения;

МТ — магистральный трубопровод;

ПЭП — пьезоэлектрический преобразователь;

СИ — средство измерений;

УИ — ультразвуковой импульс;

ЭАП — электроакустический преобразователь.

4 Общие положения

4.1 Измерения ИН в точках контроля выполняют методом акустоупругости в соответствии с общими требованиями ГОСТ Р 52731, ГОСТ Р 52890, ГОСТ Р 56664.

4.2 Принцип метода основан на существующей в области упругих деформаций линейной зависимости скоростей распространения объемных упругих волн в направлении, перпендикулярном к плоскости действия напряжений, от механических напряжений, действующих в трубопроводе в продольном и кольцевом направлениях.

4.3 Трубы, на которые распространяется действие настоящего стандарта, можно считать тонкостенными, для которых напряжения в радиальном направлении малы по сравнению с напряжениями в продольном и кольцевом направлениях. Поэтому напряженное состояние считают локально плоским, зависимостью скоростей распространения объемных упругих волн от радиальных напряжений пренебрегают.

4.4 Для определения ИН используют ЭАП поперечных волн, распространяющихся нормально поверхности МТ.

4.5 Схема прозвучивания материала МТ соответствует эхо-методу ультразвукового контроля. Способ возбуждения упругих колебаний — контактный или бесконтактный в зависимости от используемого ЭАП. Рекомендуемый вид излучаемого сигнала — радиоимпульс с высокочастотным (ультразвуковым) заполнением, плавной огибающей и эффективной длительностью (на уровне 0,6 от максимальной амплитуды) от 2 до 4 периодов основной частоты.

Примечание — В качестве ЭАП могут быть использованы ПЭП или специально разработанные электромагнитно-акустические преобразователи.

4.6 Измеряемые ИН являются усредненными по объему ультразвукового пучка, определяемого поперечными размерами ЭАП и толщиной стенки МТ.

4.7 Сложившиеся к настоящему времени подходы к контролю механических напряжений в материале акустическим методом обычно базируются на общих соотношениях акустоупругости.

Соответствующие уравнения связи скорости и времени распространения упругих объемных волн различной поляризации с действующими напряжениями в рамках матричной теории акустоупругости при отсутствии внешних тепловых и электромагнитных воздействий имеют обычный для линеаризованных соотношений вид. Относительные изменения скорости и времени распространения упругих волн δV_{ik}, δt_{ik} рассчитывают по формулам:

$$\delta V_{ik} = \beta_{ikln}(\sigma_{ln} - \boldsymbol{\sigma}^{0}_{ln}); \quad (1)$$

$$\delta t_{ik} = \alpha_{ikln}(\sigma_{ln} - \boldsymbol{\sigma}^{0}_{ln}), \quad (2)$$

где δV_{ik}, δt_{ik} — относительные изменения скорости и времени распространения упругих волн;

σ_{ln}, $\boldsymbol{\sigma}^{0}_{ln}$ — тензор напряжений в момент измерения и тензор начальных напряжений соответственно;

β_{ikln}, α_{ikln} — акустоупругие коэффициенты соответственно по скорости и времени.

4.8 В случае одноосного напряженного состояния напряжение σ рассчитывают по формуле

$$\sigma = D(A - A_0), \quad (3)$$

где A соответствует значению акустической анизотропии материала с напряжением, определяемой в точке измерения по формуле

$$\boldsymbol{A} = \frac{\boldsymbol{t}_{\perp} - \boldsymbol{t}_{\parallel}}{\boldsymbol{t}_{\perp}}, \quad (4)$$

где $t_{\parallel}$, $t_{\perp}$ — времена распространения упругих поперечных волн, поляризованных соответственно вдоль и перпендикулярно линии действия одноосного напряжения.

Величина A_0 соответствует значению акустической анизотропии материала без напряжения.

4.9 Стандарт распространяется на метод определения изгибных продольных напряжений, являющихся аддитивными добавками к суммарным продольным напряжениям, вызываемым действием давления газа, вследствие действия на трубу поперечной силы со стороны грунта. Формула (3) может быть использована для определения ИН в выбранной точке сечения МТ, если под величиной A_0 понимать усредненное по периметру сечения МТ значение анизотропии.

4.10 Упругоакустический (тензометрический) коэффициент D, используемый для расчета напряжений по измеренным акустическим задержкам, должен быть определен с максимально допустимой относительной погрешностью ± 10 %. Экспериментальное определение величины D (при отсутствии литературных данных) проводят в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55043 и приложения А.

4.11 Рекомендуемый настоящим стандартом метод может служить основой для составления методики выполнения измерений по ГОСТ Р 8.563.

5 Требования безопасности

5.1 К выполнению измерений ИН допускают операторов не моложе 18 лет, прошедших специальную подготовку и проверку знаний эксплуатации оборудования ультразвукового контроля, руководствующихся в своей работе национальными и отраслевыми нормативными и техническими документами по акустическим методам контроля, прошедших обучение работе с применяемыми СИ и аттестованных на знание правил безопасности в соответствующей отрасли промышленности.

5.2 При определении ИН оператор должен руководствоваться ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002 и правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей по ГОСТ 12.1.038.

5.3 Измерения проводят в соответствии с требованиями безопасности, указанными в инструкции по эксплуатации аппаратуры, входящей в состав используемых СИ.

5.4 Помещения для проведения измерений должны соответствовать требованиям СП 43.13330.2012.

5.5 При организации работ по определению ИН должны быть соблюдены требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004.

6 Требования к средствам измерений

6.1 СИ должны быть утвержденного типа, прошедшие поверку, иметь заводские, серийные или другие буквенно-цифровые обозначения.

6.2 СИ должны обеспечивать проведение измерений эхо-методом с использованием УИ с плавной огибающей.

6.3 Абсолютная погрешность измерения временных интервалов СИ должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 52890.

6.4 СИ должны обеспечивать возможность излучения и приема УИ с номинальными частотами от 2,5 до 5 МГц.

6.5 В комплект СИ должны входить прямые совмещенные или раздельно-совмещенные ЭАП, обеспечивающие излучение и прием импульсов продольных и поперечных упругих волн, распространяющихся по нормали к поверхности МТ.

6.6 Требования к программному обеспечению средств измерений

6.6.1 Программное обеспечение СИ должно обеспечивать возможность выбора любого отраженного УИ и поиск необходимых отсчетных точек профиля импульсов.

6.7 Вспомогательные устройства и материалы

6.7.1 Инструмент шлифовальный для подготовки поверхности по ГОСТ Р МЭК 60745-2-3 (при использовании ПЭП в качестве ЭАП).

6.7.2 Жидкость обезжиривающая для подготовки поверхности.

6.7.3 Жидкость контактная.

7 Требования к объектам контроля

7.1 Перед установкой ЭАП поверхность МТ в точках измерений с координатами по 8.4.2 удаляют изоляционное покрытие (при наличии), очищают от грязи, окалины, ржавчины и обезжиривают (при использовании ПЭП в качестве ЭАП).

7.2 Класс шероховатости поверхности в точке измерений при использовании ПЭП — не ниже *Ra* 2,5 мкм по ГОСТ 2789. Размеры подготовленных поверхностей в точках измерений должны быть в 1,5—2 раза больше соответствующих размеров контактных поверхностей применяемых преобразователей.

Примечание — При использовании ПЭП метод не обеспечивает требуемую точность определения ИН, если шероховатость поверхности МТ *Ra* превышает 2,5 мкм по ГОСТ 2789.

7.3 Расстояние от точки измерения до сварных швов МТ — не менее удвоенной толщины материала МТ.

7.4 При использовании ПЭП вязкость контактной жидкости при температуре измерения должна соответствовать вязкости эпоксидной смолы при температуре 25 °С: от 12 до 25 Па · с по ГОСТ 10587.

8 Порядок подготовки к проведению измерений

8.1 На основании технической документации на МТ определяют значения h в точках измерений.

8.2 На основании справочных данных или экспериментально определяют величину V_t.

8.3 Выбирают ЭАП, $f_н$ которого в зависимости от h имеет следующие значения:

- 5 МГц — при h от 4 до 10 мм;
- 2,5 МГц — при h более 10 мм.

8.4 Выбор и подготовка точек измерений

8.4.1 Точки измерений ИН выбирают равномерно вдоль периметра МТ с учетом требований 7.3.

8.4.2 Число точек измерений N в сечении МТ должно быть не менее 8.

Примечание — Как правило, координаты точек измерений соответствуют 12 ч; 1 ч 30 мин; 3 ч; 4 ч 30 мин; 6 ч; 19 ч 30 мин; 9 ч; 10 ч 30 мин.

8.5 Приводят состояние поверхности в выбранных точках в соответствие условиям проведения измерений (см. 7.2).

9 Порядок проведения измерений и обработки результатов

9.1 Наносят при необходимости слой контактной жидкости на подготовленную поверхность МТ в точке измерений.

9.2 Устанавливают ЭАП на поверхность МТ, ориентируя плоскость поляризации ЭАП в продольном направлении, и подключают их к СИ.

9.3 Включают СИ, проверяют их работоспособность, выводя на экран видеоконтрольного устройства временную развертку принимаемых сигналов.

9.4 На экране видеоконтрольного устройства без значительных видимых искажений должны наблюдаться многократно отраженные УИ.

9.5 Проверяют отсутствие на временной развертке дополнительных импульсов, вызванных либо наличием в области измерения дополнительных отражающих поверхностей (допустимых по условиям эксплуатации МТ дефектов — слоев, включений и т. п., обнаруженных методами ультразвуковой дефектоскопии), либо неправильной ориентацией преобразователя поперечных колебаний относительно осей симметрии материала МТ.

9.6 Рассчитывают минимальные значения длительности развертки T_m, обеспечивающей визуализацию необходимого количества отраженных УИ и измерение их задержек с заданной относительной погрешностью δt, по формуле

$$T_m = \frac{\Delta t}{\delta t} + t_з, \tag{5}$$

где $t_з$ — аппаратная задержка зондирующего импульса, мкс, определяемая техническими характеристиками используемых СИ.

Как правило, значение δt не должно превышать 10^{-4}.

9.7 Получают осциллограммы УИ при значении развертки T_m.

9.8 Оценивают отношение амплитуды УИ с номером m к среднему значению уровня шума. Если это отношение превышает 10 дБ, то проведение измерений с заданной относительной погрешностью считается возможным.

9.9 Если отношение сигнал/шум для УИ с номером m менее 10 дБ, то последовательно уменьшают значение m на единицу до тех пор, пока значение отношения сигнал/шум не станет более 10 дБ.

9.10 Рассчитывают фактическую относительную погрешность $\delta t_ф$ определения задержек УИ по формуле

$$\delta t_ф = \frac{V_t \Delta t}{mh}, \tag{6}$$

после чего принимают решение о проведении измерений с пониженной по сравнению с δt погрешностью или о замене используемых СИ на более точные, обеспечивающие выполнение соотношение

$$\delta t_{ф} \le \delta t. \tag{7}$$

9.11 Измеряют задержку УИ с номерами 2 [$t_2^{п}(i,j)$] и m [$t_m^{п}(i,j)$] (если $m > 2$) относительно 1-го отраженного импульса.

Примечание — Как правило, наименьшую погрешность определения задержек обеспечивает метод перехода сигнала через нуль.

9.12 Вычисляют разность Δt_{2m} между задержками $t_m^{п}(i,j)$ и $t_2^{п}(i,j)$.

9.13 Проверяют справедливость соотношения

$$m \cdot \Delta t_{2m} \le \frac{1}{2f_{н}} \cdot 10^3. \tag{8}$$

9.14 При соблюдении соотношения (8) действия по 9.15, 9.16 пропускают.

9.15 При несоблюдении соотношения (8) рассчитывают значение k по формуле

$$k = [R \cdot f_{н}], \tag{9}$$

где $R = t_m^{п}(i,j) - (m-1)t_2^{п}(i,j)$.

Квадратные скобки [ ] означают операцию округления до целых значений.

9.16 В дальнейших расчетах вместо значений $t_m^{п}(i,j)$ используют скорректированные значения задержек, равные $t_m^{п}(i,j) + \frac{k}{f_{н}}$.

9.17 Массив значений $t_m^{п}(i,j)$ для каждой точки измерений проверяют на наличие выбросов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2.

9.18 После уменьшения (при наличии выбросов) значения n для дальнейших расчетов используют усеченный вариационный ряд.

9.19 Рассчитывают значения $\overline{t_m^{п}}(j)$ и $\delta_{п}(j)$ по формулам:

$$\overline{t_m^{п}}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_m^{п}(i,j); \tag{10}$$

$$\delta_{п}(j) = \frac{1}{\overline{t_m^{п}}(j)}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(t_m^{п}(i) - t_m^{п}\right)^2}. \tag{11}$$

9.20 Проверяют выполнение условия

$$\delta_{п}(j) \le 10^{-4}. \tag{12}$$

9.21 При выполнении условия (12) в дальнейших расчетах используют значение $\overline{t_m^{п}}(j)$, полученное по формуле (10).

9.22 Если условие (12) не выполнено, проводят повторные измерения с увеличенным числом n.

9.23 Если увеличение числа измерений не приводит к выполнению условия (12), принимают решение о возможности дальнейших измерений с пониженной точностью.

9.24 Измерения и их обработку для ЭАП поперечных упругих волн, поляризованных в кольцевом направлении, проводят по 9.2—9.23. Верхний индекс «п» в обозначениях задержек заменяют на «к», коэффициент вариации $\delta_{к}(j)$ рассчитывают по формуле

$$\delta_{к}(j) = \frac{1}{\overline{t_m^{к}}(j)}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(t_m^{к}(i) - t_m^{к}\right)^2}. \tag{13}$$

9.25 ИН для j-й точки измерения $\sigma_и(j)$ рассчитывают по формуле

$$\sigma_и(j) = D[A(j) - A_0(j)], \quad (14)$$

в которой значения анизотропии рассчитывают по формулам:

$$A(j) = \frac{\overline{t_m^к}(j) - \overline{t_m^п}(j)}{\overline{t_m^к}(j)}; \quad (15)$$

$$A_0(j) = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} A(j). \quad (16)$$

10 Правила оформления результатов измерений

10.1 Результаты измерений фиксируют в протоколе, форма которого приведена в приложении Б.

10.2 Если измерения ИН являются частью научно-исследовательских работ, то результаты измерений следует оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32.

Приложение А
(обязательное)

Определение упругоакустического коэффициента

А.1 Упругоакустический (тензометрический) коэффициент *D* в формуле (13) расчета ИН определяют при проведении испытаний на растяжение плоских образцов по ГОСТ 1497.

А.2 Класс шероховатости поверхности образцов в точке измерений — не ниже *Ra* 2,5 мкм по ГОСТ 2789.

А.3 Для нагружения образца используют машины для механических испытаний материалов по ГОСТ 28840.

А.4 Испытательное оборудование должно создавать в поперечном сечении образца растягивающие механические напряжения не менее $0{,}8\sigma_{0,2}$.

А.5 Испытательные машины должны обеспечивать требуемую нагрузку с допустимым отклонением напряжений не более 1 МПа в течение промежутка времени, необходимого для проведения акустических измерений (от 30 с до нескольких минут в зависимости от квалификации оператора и используемых СИ).

А.6 Составляют программу ступенчатого нагружения образца от начальной нагрузки, соответствующей значению одноосного напряжения не более $0{,}1\sigma_{0,2}$, до нагрузки, соответствующей $0{,}8\sigma_{0,2}$. Рекомендуется предусмотреть не менее пяти ступеней нагружения для последующей регрессионной обработки результатов испытаний.

А.7 Образец с закрепленными на нем ЭАП помещают в машину для механических испытаний, добиваются его правильной центровки и прикладывают к нему небольшую нагрузку для обеспечения надежной фиксации образца в захватах.

А.8 На каждой ступени нагружения проводят измерения задержек УИ двух типов:

t_1 — задержки УИ для поперечных волн, поляризованных вдоль оси нагружения;

t_2 — задержки УИ для поперечных волн, поляризованных перпендикулярно оси нагружения.

Измерения проводят как при увеличении, так и при уменьшении нагрузки. Затем образец вынимают из машины. Каждое нагружение (вверх-вниз) проводят три раза. Перед новым нагружением ЭАП снимают и вновь устанавливают на образец.

А.9 Проводят регрессионную обработку зависимостей $\frac{\Delta t_1}{t_1^0}(\sigma)$, $\frac{\Delta t_2}{t_2^0}(\sigma)$, где σ — действующее напряжение; $\Delta t_1 = t_1 - t_1^0$; $\Delta t_2 = t_2 - t_2^0$; t_1^0, t_2^0 — задержки УИ в материале образцов без нагрузки.

А.10 Акустоупругие коэффициенты α_1, α_2 определяют следующим образом:

α_1 равен тангенсу угла наклона к оси σ линии регрессии $\frac{\Delta t_1}{t_1^0}(\sigma)$;

α_2 равен тангенсу угла наклона к оси σ линии регрессии $\frac{\Delta t_2}{t_2^0}(\sigma)$.

А.11 Упругоакустический (тензометрический) коэффициент *D* рассчитывают по формуле

$$D = \frac{1}{\alpha_2 - \alpha_1}. \qquad (А.1)$$

Приложение Б
(рекомендуемое)

Форма протокола измерений

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель
_____
(наименование организации)
_____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)
«_____»_____20__ г.

ПРОТОКОЛ
определения изгибных напряжений в магистральном трубопроводе

_____
(технический объект, контролируемый участок технического объекта)

1 Дата измерения _____
2 Организация, проводящая измерения _____
3 Владелец трубопровода_____
4 Данные о трубопроводе:
тип_____
завод-изготовитель трубы_____
рабочее давление_____
диаметр_____
состояние поверхности трубы_____
участок МТ_____
конструкция трубы_____
технические условия на трубу_____
толщина стенки трубы_____
марка стали трубы_____
дополнительные сведения об объекте _____
5 Результаты измерений

Таблица Б.1

Номер и координата точки измерений	Значение упругоакустического коэффициента D, МПа	Номер отраженного импульса	Значения задержек импульсов в зоне измерений, нс		Значение изгибного напряжения, МПа
			$\overline{t_m^{\text{п}}(j)}$	$\overline{t_m^{\text{к}}(j)}$	

Измерения выполнил оператор _____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)
Руководитель лаборатории
неразрушающего контроля _____ _____
(личная подпись) (инициалы, фамилия)

УДК 620.172.1:620.179.16:006.354 ОКС 77.040.10, 77.040.20

Ключевые слова: изгибные механические напряжения, акустический эхо-метод, акустоупругость, задержки импульсов, упругоакустические (тензометрические) коэффициенты

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 30.09.2022. Подписано в печать 11.10.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч-изд. л. 1,68.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru