МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ ISO 16809— 2022

Контроль неразрушающий

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ

(ISO 16809:2017, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Республиканским государственным предприятием на праве хозяйственного ведения «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 515 «Неразрушающий контроль»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по результатам голосования в АИС МГС (протокол от 31 марта 2022 г. № 149-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 ноября 2025 г. № 1541-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 16809—2022 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 11 марта 2026 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 16809:2017 «Неразрушающий контроль. Ультразвуковое измерение толщины» («Non-destructive testing — Ultrasonic thickness measurement», IDT).

Международный стандарт разработан подкомитетом SC 3 «Ультразвуковой контроль» Технического комитета по стандартизации ISO/TC 135 «Неразрушающий контроль» Международной организации по стандартизации (ISO).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© ISO, 2017
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025



В Российской Федерации 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
3Термины и определения 1
4 Режимы измерения 1
5 Общие требования 3
6 Применение метода ультразвукового контроля толщины 4
7 Настройка приборов 7
8 Факторы, влияющие на точность измерений 9
9 Влияние материалов 12
10 Протокол испытаний 14
Приложение А (справочное) Коррозия в резервуарах и трубопроводах 16
Приложение В (справочное) Настройка приборов 19
Приложение С (справочное) Параметры, влияющие на точность 21
Приложение D (справочное) Выбор метода измерения 25
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 29
Библиография 30

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Контроль неразрушающий

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ

Non-destructive testing.
Ultrasonic thickness measurement

Дата введения — 2026—03—11

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает принципы измерения толщины металлических и неметаллических материалов контактным способом, основанным исключительно на измерении времени прохождения ультразвуковых импульсов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт [для датированной ссылки применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированной — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 5577, Non-destructive testing — Ultrasonic inspection — Vocabulary (Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 5577.

ISO и IEC поддерживают терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ISO: доступна на gost.e-ecolog.ru
- Электропедия IEC: доступна на http: //www. electropedia.org.

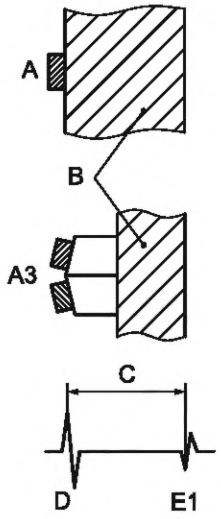
4 Режимы измерения

Толщину детали или конструкции определяют путем измерения времени, необходимого для того, чтобы ультразвуковой импульс малой длительности, излучаемый преобразователем, прошел через толщину материала один, два или несколько раз.

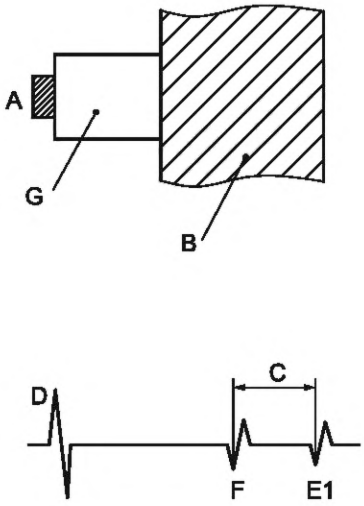
Толщина вычисляется путем умножения известной скорости звука в материале объекта контроля на время прохождения и деления на количество прохождений импульса через всю измеряемую толщину стенки объекта контроля.

Данный принцип можно осуществить путем применения одного из следующих режимов, представленных на рисунке 1.

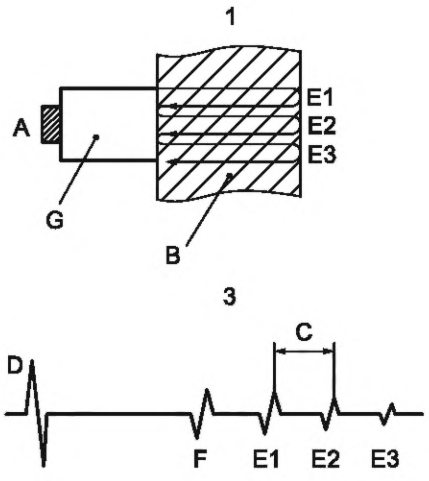
Издание официальное



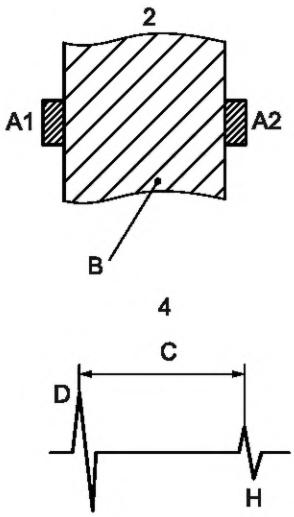
Режим 1



Режим 2



Режим 3



Режим 4

Обозначения:

A — передающий/принимающий (совмещенный) преобразователь;
A1 — излучающий преобразователь;
A2 — принимающий преобразователь;
A3 — раздельно-совмещенный преобразователь;
B — объект контроля;
C — время прохождения сигнала;
D — зондирующий импульс;
от E1 до E3 — донные эхо-сигналы;
F — эхо-сигнал границы раздела;
G — задержка;
H — принятый импульс.

Рисунок 1 — Режимы измерения

a) Режим 1: измерение временного интервала от начального импульса возбуждения до первого отраженного сигнала, за вычетом времени прохождения в преобразователе и слое контактной среды путем корректировки нуля (режим однократного эхо-сигнала).

b) Режим 2: измерение временного интервала от конца линии задержки до первого донного эхо-сигнала (режим однократного эхо-сигнала с учетом линии задержки).

c) Режим 3: измерение временного интервала между последовательными донными эхо-сигналами (режим многократного отражения).

d) Режим 4: измерение временного интервала прохождения импульса от излучателя до приемника, находящихся в контакте с донной поверхностью (теневой режим).

5 Общие требования

5.1 Приборы

Измерение толщины выполняют с помощью приборов следующих типов:

a) специально предназначенных для измерения толщины ультразвуковых толщиномеров с цифровым дисплеем, на котором отображается измеренное значение;

b) специально предназначенных для измерения толщины ультразвуковых толщиномеров с цифровым дисплеем, на котором отображается измеренное значение и развертка типа A (дисплей с отображением формы звуковой волны);

c) предназначенных в первую очередь для обнаружения несплошностей с разверткой типа A (дефектоскоп с A-разверткой). Прибор такого типа может содержать также цифровое отображение значений толщины.

Выбор прибора для ультразвукового контроля толщины приведен в 6.4.

5.2 Преобразователи

При ультразвуковом контроле должны использоваться преобразователи следующих типов, как правило, применяются преобразователи продольных волн:

- раздельно-совмещенные (двухэлементные) преобразователи;
- одноэлементные (совмещенные) преобразователи.

Выбор преобразователя приведен в 6.3.

5.3 Контактная среда

Необходимо обеспечить акустический контакт между преобразователем(ями) и поверхностью объекта контроля, обычно такой контакт осуществляется с помощью текучей или гелеобразной среды.

Контактная среда не должна оказывать неблагоприятного влияния на объект контроля и оборудование, а также не должна представлять опасности для оператора.

Информация об использовании контактной среды в особых условиях измерения приведена в 6.6.

Для обеспечения достаточного акустического контакта контактную среду следует выбирать исходя из шероховатости и текущего состояния поверхности.

5.4 Настроечные образцы

Ультразвуковой прибор для измерения толщины должен быть настроен с использованием одного или нескольких настроечных образцов, изготовленных из материала объекта контроля или имеющего сходные с объектом контроля акустические свойства, размеры, структуру и качество поверхности. Толщина настроечных образцов в виде блоков или ступенек должна охватывать диапазон измеряемой толщины. Для настройки должна быть известна либо толщина настроечных образцов, либо скорость распространения звука в используемых настроечных образцах.

5.5 Объекты контроля

Объект контроля должен обеспечить прохождение ультразвуковых волн через все измеряемое сечение.

Для выполнения измерений должен быть обеспечен свободный доступ к каждому отдельному контролируемому участку.

Поверхность измеряемого участка должна быть очищена от грязи, смазки, ворсинок, окалины, сварочного флюса и брызг металла, масла или других посторонних веществ, которые могли бы помешать испытанию.

Если на поверхности объекта контроля имеется покрытие, то должна быть обеспечена хорошая адгезия к поверхности объекта. Если адгезия недостаточная и искажает результаты измерений, то покрытие необходимо удалить.

При измерении через покрытие необходимо знать толщину и скорость распространения звука в материале покрытия, за исключением измерения с использованием режима 3.

Более подробная информация представлена в разделе 8.

5.6 Квалификация персонала

Персонал, выполняющий ультразвуковой контроль толщины в соответствии с настоящим стандартом, должен знать физические основы природы ультразвуковых волн, а также иметь теоретические знания и практические навыки в области ультразвукового контроля толщины. Кроме того, персонал должен обладать знаниями об объекте контроля и материале, из которого изготовлен объект контроля.

Ультразвуковой контроль толщины выполняется квалифицированным персоналом, имеющим разрешение на выполнение данного вида работ. Для подтверждения квалификации рекомендуется, чтобы персонал был аттестован в соответствии с ISO 9712 или аналогичным стандартом.

Примечание — Для оборудования категорий III и IV, работающего под давлением в соответствии с Директивой 97/23/ЕС, приложение I, 3.1.3, имеется требование к квалификации персонала неразрушающего контроля, который должен быть одобрен независимой организацией (третьей стороной), признанной государством-членом.

6 Применение метода ультразвукового контроля толщины

6.1 Состояние и подготовка поверхности

Применение эхо-импульсного режима означает, что ультразвуковому импульсу необходимо пройти через контактную поверхность между контролируемым объектом и преобразователем не менее двух раз: при входе в объект контроля и выходе из объекта контроля.

По этой причине предпочтительнее будет ровный и чистый участок контакта преобразователя с объектом контроля площадью, не менее чем в два раза превышающей площадь контактной поверхности преобразователя. Плохой контакт приведет к потере энергии, искажению сигнала и акустического пути.

Для обеспечения прохождения звуковой волны необходимо очистить поверхность объекта контроля от рыхлого слоя и отслаивающегося покрытия с помощью зачистки или шлифовки.

Нанесенные покрытия, такие как лакокрасочное, металлизированное покрытие с использованием электрохимического или химического процесса, эмаль, могут быть оставлены на объекте, но необходимо учесть, что не все приборы измерения толщины имеют функцию по исключению толщины покрытия из измеряемой величины.

Достаточно часто требуется выполнять измерения толщины на корродированных поверхностях, таких как поверхности резервуаров и трубопроводов. Для повышения точности измерения контактную поверхность необходимо подвергнуть механической шлифовке на участке площадью, не менее чем в два раза превышающей площадь контактной поверхности преобразователя. На этом участке не должно быть продуктов коррозии.

Следует принять меры, исключающие возможность уменьшения толщины объекта ниже минимально допустимого значения.

6.2 Метод

6.2.1 Общие положения

Задачу ультразвуковой толщинометрии можно разделить на две области применения:

- измерение в процессе производства;
- измерение остаточной толщины стенки в процессе эксплуатации.

Каждая из этих областей применения характеризуется своими особыми условиями, требующими специальных методов измерения.

Измерительное оборудование и режим измерения толщины выбирается с учетом характеристик материала, геометрии и толщины объекта измерения, а также необходимой точности измерения (в приложении D приведены подробные инструкции):

a) в зависимости от толщины материала следует использовать частоты от 100 кГц при прохождении через материалы с сильным затуханием и до 50 МГц для тонких металлических листов;

b) в случае использования раздельно-совмещенных преобразователей, требуется вводить поправку, связанную в V-образной траекторией прохождения ультразвука, которая может привести к погрешности измерений;

c) на объектах с криволинейной поверхностью диаметр контактирующей поверхности преобразователя должен быть значительно меньше диаметра криволинейного участка объекта контроля.

Точность измерения толщины зависит от того, насколько точно возможно измерить время прохождения ультразвукового импульса, в зависимости от режима измерения времени (переход через ноль, между фронтами, между максимумами эхо-сигналов), в зависимости от выбранного режима измерения (режим 3 многократными эхо-сигналами, точность которого выше, чем измерения режимами 1 и 2), в зависимости от используемой частоты (из-за более точного измерения времени более высокие частоты обеспечивают большую точность, чем более низкие частоты).

Как правило, требуется измерение толщины по всей поверхности объекта контроля. Если необходимо измерение толщины по всей поверхности объекта контроля, то следует правильно выбрать шаг сканирования — расстояние между каждым измерением. Расстояние между точками измерениями должно быть одинаковым, и рекомендуется использовать сетку. Размер ячеек сетки следует выбрать из соотношения между достижением хорошей достоверности результатов и объема работы по ультразвуковой толщинометрии.

Ультразвуковой контроль толщины означает измерение времени прохождения и последующее вычисление толщины, основанное на предположении, что скорость звука в объекте контроля постоянна (см. раздел 7). Если на пути прохождения ультразвукового импульса скорость звука не является постоянной величиной, то изменение скорости сильно повлияет на точность измерения.

6.2.2 Измерение в процессе производства

6.2.2.1 Режимы 1, 2 и 3

Если применяется эхо-импульсный режим, то используют блок-схемы в соответствии с рисунками D.1 и D.2 приложения D, которые дают рекомендации по выбору наилучшего способа и оборудования контроля.

Измерение толщины на чистых параллельных поверхностях можно выполнять с помощью простых ультразвуковых толщиномеров с цифровой индикацией на дисплее. При контроле композиционных материалов, генерирующих эхо-сигналы наряду с донным эхо-сигналом, рекомендуют использовать толщиномеры с разверткой типа A (показаны в b) 5.1 или c) 5.1), чтобы выбрать соответствующий эхо-сигнал для измерения толщины.

6.2.2.2 Режим 4

Если необходимо измерить материал с сильным затуханием и большой толщиной, то нельзя использовать эхо-метод, т. е. применим только теневой режим (режим 4).

Необходимо использовать два преобразователя с противоположных сторон объекта контроля. Таким образом, прибор должен обеспечивать работу с отдельными преобразователями: излучателем и приемником (теневой режим). В большинстве случаев частота должна быть ниже 1 МГц. Необходимо использовать специальные низкочастотные приборы из группы 5.1 c) с низкочастотными преобразователями.

6.2.3 Измерения остаточной толщины стенки в процессе эксплуатации

В ходе контроля в процессе эксплуатации выполняют измерения на материалах, которые подвержены коррозии или эрозии. Поверхность объекта контроля может быть грубой, содержать участки локальной коррозии или другие несовершенства, приведенные в приложении A, которые будут проявлять себя как участки с низкой отражательной способностью.

На участках с низкой отражательной способностью рекомендуется использовать раздельно-совмещенный преобразователь. Для обнаружения участков с плохим отражением чувствительность следует настроить вручную.

Если необходимо выполнить большой объем измерений, то нужно зафиксировать координаты каждой точки измерения и соответствующие показания толщины. Одновременная фиксация показаний толщины и координат точек измерения возможна с использованием специального программного обеспечения или письменной регистрацией данных контроля в соответствии с программой испытаний.

Условия окружающей среды в значительной мере оказывают влияние на контроль толщины при эксплуатации контролируемого объекта. В зависимости от условий окружающей среды может потребоваться оборудование, работающее при высоких температурах и других неблагоприятных условиях окружающей среды или имеющее специальное электрическое экранирование.

Блок-схемы на рисунках D.3 и D.4 приложения D дают рекомендации по измерениям толщины в процессе эксплуатации.

6.3 Выбор преобразователя

После выбора подходящей процедуры и типа преобразователя (совмещенный или раздельно-совмещенный) для измерения толщины по 6.2 требуется выбрать другие параметры, необходимые для согласованной работы преобразователя при определенных условиях измерения. Лучшее разрешение при измерении толщины тонких листов или покрытий дают широкополосные преобразователи, которые формируют более короткий импульс по сравнению с узкополосными преобразователями и тем самым обеспечивают подходящий фронт или максимум амплитуды для начала и завершения измерения времени прохождения.

Кроме того, широкая полоса частот всегда дает устойчивый эхо-сигнал даже в случае измерения в материалах с высоким уровнем затухания ультразвуковых колебаний.

Размер и частоту преобразователя выбирают таким образом, чтобы охватить диапазон измерений узким (направленным) звуковым пучком для получения эхо-сигнала из четко определенной области (площади).

В случае раздельно-совмещенных преобразователей фокальная зона должна охватывать ожидаемый диапазон толщины.

При измерении небольших толщин необходимо использовать задержку. Измерение следует выполнять с эхо-сигналом от границы раздела (задержка/объект контроля) и первого донного эхо-сигнала объекта контроля (режим 2) или измерение выполняют с помощью режима 3. Необходимо выбрать такой материал задержки, чтобы обеспечить соответствующий эхо-сигнал от границы раздела. При использовании того же материала, что и объект контроля, эхо-сигнал от границы раздела будет отсутствовать. Если материал задержки обладает более низким акустическим импедансом по сравнению с материалом объекта контроля (например, задержка на границе пластика с металлом), возникнет фазовый сдвиг эхо-сигнала от границы раздела. При возникновении фазового сдвига потребуется внесение поправки для получения точных результатов. Некоторые ультразвуковые толщиномеры автоматически выполняют эту коррекцию.

В случае небольших толщин можно использовать раздельно-совмещенный преобразователь с небольшим фокусным расстоянием.

При измерении на горячих поверхностях задержка должна действовать как теплоизолирующая прослойка.

Материал, выбранный для задержки, должен выдерживать температуры объекта контроля. Должно быть известно влияние температуры на акустические свойства задержки (изменение затухания и скорости звука). В технических спецификациях производителей преобразователей приведены температурный и соответствующий временной диапазоны, при которых преобразователь сохраняет свои технические характеристики.

6.4 Выбор прибора

Выбор приборов для измерения толщины, приведенных в 5.1. a), b) или c), проводят следующим образом:

- приборы типа c) 5.1 должны применяться для режимов 1—4 (см. раздел 4) и удовлетворять условиям, приведенным в 6.2.2 и 6.2.3;
- приборы типа b) 5.1 должны применяться для режимов 1, 2 и 3 (см. раздел 4) и удовлетворять условиям, приведенным в 6.2.2.1 и 6.2.3;
- приборы типа a) 5.1 могут быть предварительно настроены производителем для работы только с одним из режимов: 1, 2 или 3 (см. раздел 4).

Приборы необходимо выбирать таким образом, чтобы они удовлетворяли отдельным требованиям, приведенным в 6.2.2.1 или 6.2.3.

Смотрите также приложение D.

6.5 Материалы, отличные от материала настроечного образца

Материалы приведены в таблицах B.1. и B.2 приложения B.

6.6 Особые условия измерений

6.6.1 Общие положения

Необходимо соблюдать действующие нормы законодательства, действующего в каждом из государств — участников Соглашения, устанавливающие безопасное использование химических веществ и электрооборудования.

В том случае, когда требуются высокоточные измерения, применяемые калибровочные (эталонные) и контрольные образцы должны иметь ту же температуру, что и контролируемое изделие.

6.6.2 Измерения при температурах ниже 0 °С

Для измерений при температурах ниже 0 °С контактная среда должна сохранять свои акустические характеристики, а ее точка замерзания должна быть ниже температуры испытания.

Большинство преобразователей рассчитаны на использование в диапазоне температур от минус 20 °С до плюс 60 °С, при температурах ниже минус 20°С могут потребоваться специальные преобразователи, а время контакта должно ограничиваться согласно рекомендациям производителя.

6.6.3 Измерения при высоких температурах

Для измерений при температурах выше 60 °С необходим высокотемпературный преобразователь, а контактная среда должна быть рассчитана на использование при температуре испытаний.

Рекомендуют также, чтобы у используемого оборудования с разверткой типа А был режим «заморозки», дающий возможность оператору оценить ответный сигнал. Время контакта преобразователя должно ограничиваться минимальным временем, необходимым для выполнения измерения согласно рекомендациям производителя.

6.6.4 Опасные среды

При ультразвуковой толщинометрии в условиях опасной воздушной среды должны быть соблюдены стандарты и нормы законодательства, действующего в каждом из государств — участников Соглашения, устанавливающие требования безопасности при работе в таких средах.

Во взрывоопасных средах сочетание преобразователя, кабеля и оборудования должно иметь классификацию как искробезопасное оборудование, поэтому перед использованием следует проверить наличие соответствующих сертификатов и/или соответствующая документация должна быть проверена и заполнена перед началом работ.

Контактная среда должна сохранять свои акустические свойства и не должна вступать в реакцию с окружающей коррозионно-активной средой.

7 Настройка приборов

7.1 Общие положения

Все настройки приборов проводят с тем же оборудованием, которое будет использоваться для измерений. Настройка приборов должна проводиться в соответствии с инструкциями производителя или другими действующими нормами, стандартами или процедурами.

Следует отметить, что данное положение касается только настройки приборов, находящихся в эксплуатации и не может быть применено для процедуры поверки, которая проводится в соответствии с методикой поверки.

Ультразвуковые приборы не измеряют толщину, приборы измеряют время прохождения ультразвукового импульса. Толщина вычисляется с помощью коэффициента, который представляет собой скорость распространения звука в материале по формуле (1):

$$d = \frac{v \cdot t}{n}, \qquad (1)$$

где d — толщина;

v — скорость звука;

t — измеренное время;

n — количество прохождений через объект контроля (см. рисунок 2).

7.2 Методы настройки

7.2.1 Общие положения

Метод настройки приборов должен соответствовать режиму измерения, а также используемому оборудованию и преобразователю. Настройка должна выполняться в условиях, сопоставимых с условиями измерения.

В приложении В приведены инструкции по выбору методов настройки приборов.

Существуют различия между настройкой приборов для измерения толщины с цифровой индикацией [типы a) b) 5.1и] и прибора с разверткой типа А [тип c) 5.1].

7.2.2 Толщиномеры с цифровой индикацией

Приведены также в a) 5.1 и b) 5.1.

Многие цифровые толщиномеры используют режимы измерения 1, 2 и 3. Настройка прибора может быть осуществлена одним из двух приемов:

- путем настройки отображаемого показания толщины таким образом, чтобы оно соответствовало известным измеренным размерам ряда настроечных образцов;
- путем настройки или установки на приборе скорости распространения звука в материале, соответствующей известной скорости распространения звука в объекте контроля.

7.2.3 Приборы с разверткой типа А

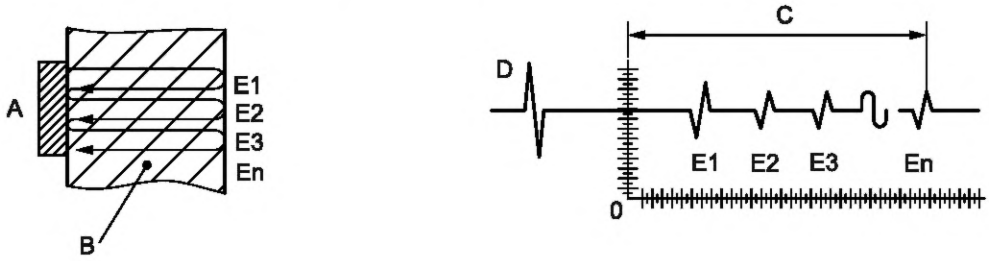
Смотрите также c) 5.1.

Информация о базовой настройке времени прибора с разверткой типа А приведена в ISO 16811.

При использовании режима 1 в приборе с разверткой типа А горизонтальная временная развертка устанавливается таким образом, чтобы зондирующий импульс и первый донный эхо-сигнал от настроечного образца отображались на экране в подходящих позициях и совпадали с масштабной сеткой или цифровой индикацией.

При использовании режима 2 в приборе с разверткой типа А изображение зондирующего импульса регулировкой выводится за пределы экрана, а эхо-сигнал от границы раздела находится на нуле масштабной сетки. Затем необходимо отрегулировать первый донный эхо-сигнал таким образом, чтобы он находился на отметке, соответствующей известной толщине настроечного образца.

При использовании режима 3 в приборе с разверткой типа А регулируют первый донный эхо-сигнал таким образом, чтобы он находился на отметке, соответствующей известной толщине настроечного образца. Затем необходимо отрегулировать *n*-раз отраженный донный эхо-сигнал таким образом, чтобы он находился на отметке, соответствующей *n*-кратной известной толщине настроечного образца. При измерении объекта нулевая точка масштабной сетки будет соответствовать поверхности объекта контроля. Толщина объекта равна положению *n*-раз отраженного донного эхо-сигнала, деленному на *n*, а значение *n* обычно находится в интервале от 2 до 10 (показано на рисунке 2).



Обозначения:

A — передающий/принимающий (совмещенный) преобразователь;
B — объект контроля;
C — время прохождения сигнала;
D — зондирующий импульс;
E1 — En — донные эхо-сигналы.

Рисунок 2 — Настройка прибора для режима 3

При режиме 4 возможно использование только прибора с разверткой типа А. Прибор должен быть настроен согласно руководству по эксплуатации таким образом, чтобы работать в теневом режиме. На экране прибора должен быть зондирующий импульс для представления импульса начала отсчета

времени. Необходимо зондирующий импульс отрегулировать относительно нуля масштабной сетки, а принятый импульс устанавливается на масштабной сетке в соответствии с известной толщиной.

7.3 Проверка параметров настройки

Проверку параметров настройки толщиномера проводят с помощью настроечных образцов:
a) после окончания всей работы по измерению;
b) через регулярные промежутки времени во время рабочего дня, не реже одного раза в день;
c) через регулярные промежутки времени во время рабочего дня;
d) в случае замены преобразователей или кабелей;
e) в случае смены объекта контроля или типа контролируемого материала;
f) в случае значительных изменений температуры материала или оборудования;
g) если основные органы управления регулируются или признаны измененными;
h) через промежутки времени согласно специальным методическим инструкциям.

8 Факторы, влияющие на точность измерений

8.1 Рабочие условия

8.1.1 Состояние поверхности

8.1.1.1 Чистота поверхности

Чистота объекта контроля влияет на измерение толщины. Недостаточная подготовка поверхности может привести к неверным результатам.

Перед выполнением измерения необходимо щеткой удалить налипшую грязь и окалину.

8.1.1.2 Шероховатость

Шероховатость искажает результаты измерения (завышает значение) толщины и изменяет коэффициенты отражения и прохождения на границе раздела.

При наличии повышенной шероховатости акустический путь увеличивается, а поверхность контакта уменьшается. Неопределенность измерения возрастает с уменьшением толщины.

Если донная поверхность имеет повышенную шероховатость, акустический сигнал может исказиться, что приводит к ошибке измерения.

8.1.1.3 Профиль поверхности

При сканировании неровной поверхности с помощью контактного преобразователя приходится использовать толстый слой контактной среды, что может привести к искажению пучка.

Время прохождения через контактную среду может входить в показания при применении режимов 1, 2 или 4, что приведет к дополнительной погрешности. При соотношении скоростей распространения звука в контактной среде и в материале 1:4 ошибка может достигать четырехкратного значения фактической толщины контактной среды.

Необходимо выбрать такую контактную среду, которая подходит к состоянию и неровностям поверхности, чтобы обеспечить достаточный контакт при измерении.

8.1.2 Температура поверхности

Температура изменяет скорость распространения звука (как в материале, так и в любой задержке преобразователя), а также общее затухание звука.

Если требуется максимальная точность, то во всех измерениях необходимо учитывать изменение температуры и воздействие на следующие дополнительные элементы:

- образцы: калибровочные, контрольные и шаблоны;
- аппаратуру: приборы, преобразователи и т. д.;
- процесс и методы: контактная среда, объект контроля.

С повышением температуры в большинстве металлов и пластмасс скорость распространения звука падает, в стекле и керамике, наоборот, возрастает.

Влияние температуры на скорость распространения звука в металлах обычно незначительное. Скорость продольных волн (волн сжатия) в большинстве сталей с увеличением температуры на 1 °С уменьшается приблизительно на 0,8 м/с (для металлов температурный коэффициент скорости отрицательный и равен примерно минус 0,8 м $с^{-1}·°С^{-1}$).

Влияние температуры на пластмассы значительно. Для полиакрилата, который обычно используют в призмах или протекторах, температурный коэффициент скорости отрицательный и равен

минус 2,5 $м \cdot с^{-1} \cdot °С^{-1}$. При изменении температуры необходимо вводить температурную поправку для преобразователя, если не оговорено иное.

8.1.3 Металлическое покрытие

Очевидное увеличение толщины материала (или даже уменьшение толщины вследствие термической обработки) может быть обнаружено, когда учитывается влияние металлического покрытия (строение структуры, химический состав, толщина, технология нанесения покрытия, количество слоев и тому подобное).

Требуемая точность измерения определяет необходимость введение поправки на покрытие.

Например, в случае прибора, настроенного на сталь:

- сталь — 1 мм (0,001 м) при v = 5920 м/с;
- цинк — 20 мкм ($2 \cdot 10^{-4}$ м) при v = 4100 м/с;
- фактическая толщина — 1 мм (0,001 м) + 20 мкм ($2 \cdot 10^{-4}$ м) = 1,02 мм;

$$\frac{1 \cdot 10^{-3}}{5920} + \frac{20 \cdot 10^{-6}}{4100} = 1{,}738 \cdot 10^{-7} с, \quad (2)$$

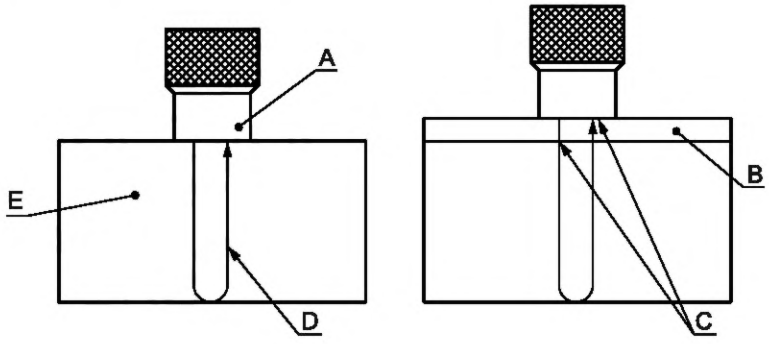
$$1{,}738 \cdot 10^{-7} \cdot 5920 = 1{,}029 \text{ мм}; \quad (3)$$

- измеренная толщина — 1,029 мм;
- отклонение — 0,009 мм.

Толщину металлического покрытия можно измерить. Точность измерения зависит от тех же параметров, что и при измерении основного материала.

8.1.4 Неметаллическое покрытие

При измерении через покрытие будут возникать погрешности из-за различных скоростей распространения звука в покрытии и объекте контроля (см. рисунок 3).



Обозначения:
A — преобразователь;
B — покрытие (металлическое или неметаллическое);
C — увеличенный акустический путь через покрытие;
D — время прохождения акустического пути;
E — металл.

Рисунок 3 — Увеличенный акустический путь через покрытие

Например, в случае прибора, настроенного на сталь:

- сталь — 1 мм при v = 5920 м/с;
- краска — 100 мкм при v = 2100 м/с (взято примерное значение скорости, не относящееся к какому-то конкретному типу краски);
- фактическая толщина — 1 мм + 100 мкм = 1,1 мм;

$$\frac{1 \cdot 10^{-3}}{5920} + \frac{100 \cdot 10^{-6}}{2100} = 2{,}1654 \cdot 10^{-7} с, \quad (4)$$

$$2{,}1654 \cdot 10^{-7} \cdot 5920 = 1{,}282 \text{ мм}; \quad (5)$$

- измеренная толщина 1,282 мм;
- отклонение 0,182 мм.

Возможно также, что будет трудно получить требуемое измерение, если материал покрытия:
- подобен по акустическим свойствам материалу объекта контроля;
- имеет значительную толщину по сравнению с толщиной объекта контроля.

8.1.5 Геометрические параметры

8.1.5.1 Параллельность

Противоположные стороны объекта контроля (детали) должны быть параллельными, допускается отклонение не более 10°, в противном случае измерение будет трудно выполнить, или измерение будет ошибочным. Трудности выполнения измерений обусловлены деформацией пучка или отсутствием донных эхо-сигналов из-за «пространственного интегрирования».

8.1.5.2 Криволинейные поверхности

В этом случае малая площадь контактной поверхности между преобразователем и объектом контроля может снизить эффективность контактной среды и, следовательно, качество сигнала. Преобразователь необходимо совместить с центром кривизны объекта контроля. Эти факторы влияют на результат измерения, приводя к плохой передаче звука и воспроизводимости результатов. Контактной поверхности преобразователя придают соответствующую форму для согласования с кривизной, чтобы улучшить передачу ультразвука.

8.1.5.3 Вогнутые и выпуклые поверхности ввода

Поверхность преобразователя должна обеспечивать отвечающий требованиям акустический контакт с поверхностью объекта контроля. Контроль выпуклых и вогнутых участков объекта с небольшими радиусами проводится преобразователями малого диаметра.

8.1.5.4 Диапазон толщины

Точность измерения зависит от однородности материала по его толщине. Локальное или объемное изменения состава приводит к изменению скорости по сравнению со скоростью распространения звука в материале настроечных образцов и, следовательно, к последующим ошибкам измерения.

8.2 Оборудование

8.2.1 Разрешающая способность

Истинная разрешающая способность оборудования — это наименьшее приращение измеряемой величины, которое может распознать система. Например, толщиномеры с цифровой индикацией показаний могут отображать кажущуюся разрешающую способность 0,001 мм (10^{-6} м), но способны измерять только с разрешающей способностью 0,01 мм (10^{-5} м). Прибор с разверткой типа А (тип 5.1 с)) не имеет установленной или предполагаемой разрешающей способности по толщине, разрешающая способность зависит от ряда факторов, таких как скорость преобразования в цифровой сигнал, разрешающая способность экрана (число пикселей по осям x и y) и настройка временной развертки.

Разрешающая способность оборудования зависит от типа и частоты преобразователя.

Более высокие частоты преобразователя обеспечивают более высокую разрешающую способность по толщине, чем более низкие частоты. Это обусловлено главным образом тем, что импульсы более высокой частоты дают более острый и более четкий фронт импульса. Влияние частоты на форму получаемого звукового сигнала хорошо видно в приборах с разверткой типа А.

8.2.2 Диапазон

Диапазон измерения оборудования определяется диапазоном толщины, который прибор может практически измерить. Количество цифр на дисплее цифрового прибора означает только отображаемый числовой диапазон.

Приборы характеризуются минимальной толщиной, которую они могут измерить. Эта величина обычно зависит от частоты преобразователя и характеристик объекта контроля. Максимальная толщина, которую можно измерить, обычно определяется частотой преобразователя и/или характеристик объекта контроля (состояние материала и других свойств, влияющих на характер распространения звуковых колебаний).

Преобразователь определяет диапазон измерения независимо от прибора. Минимальный диапазон толщин определяется частотой преобразователя и скоростью распространения звука в материале объекта контроля. Преобразователь выбирают таким образом, чтобы минимальная измеряемая преобразователем толщина была меньше толщины, которую нужно будет измерить.

В качестве руководства принимают, что преобразователь не может измерить менее одной целой длины волны при данной скорости.

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (6)$$

где λ — длина волны;

f — частота преобразователя;

v — скорость распространения звука.

Частота преобразователя определяет также максимальную толщину, которую можно измерить. Высокочастотный преобразователь обладает меньшей проникающей способностью по сравнению с низкочастотным преобразователем.

Необходимо учитывать тип исследуемого материала, поскольку он также влияет на диапазон измерения.

Выбор частоты преобразователя определяется диапазоном измеряемой толщины материала, а также типом материала.

Толщиномер выбирают таким образом, чтобы его диапазон измерения соответствующим образом охватывал толщину исследуемого материала. В случае прибора с разверткой типа А [тип 5.1 с)] диапазон устанавливают таким образом, чтобы он соответствовал требуемому разрешению в этом диапазоне без переключения диапазонов.

Рекомендуют проверять параметры настройки прибора в областях минимальной и максимальной измеряемой толщины.

8.3 Оценка точности

8.3.1 Общие положения

Оценка точности зависит от различных параметров и метода вычисления.

8.3.2 Параметры, влияющие на точность

Параметры, оказывающие существенное влияние на точность, представлены в приложении С, более подробно в С.1.

8.3.3 Метод вычисления

Два основных метода вычисления представлены в С.2.

9 Влияние материалов

9.1 Общие положения

Материал объекта контроля может влиять на выбор метода, применяемого для ультразвукового контроля толщины.

Кованые или прокатанные металлы с однородной структурой обычно характеризуются слабым затуханием, а также постоянной и вполне определенной скоростью распространения звука. Кованые или прокатанные металлы легко контролировать с помощью стандартных процедур, описанных в разделе 4.

9.2 Неоднородность

Состав материала, в том числе легирующие элементы и примеси, а также процесс его изготовления влияют на зернистую структуру, ориентацию зерен и, следовательно, на однородность.

Неоднородность материала может быть причиной локального изменения величины скорости распространения звука и затухания в материале, что приведет к ошибкам измерения или, в крайних случаях, к потере показаний на приборе.

9.3 Анизотропия

В анизотропных материалах скорость распространения звука может быть неодинакова в различных направлениях (плоскостях), а структура может вызвать изменения в направлениях пучка. Структурная анизотропия материала приводит к ошибочным показаниям. Примерами таких материалов являются некоторые катаные (например рельсы, валы) или прессованные материалы, особенно изделия из аустенитной стали, меди и медные сплавы, свинец, а также все фиброармированные пластики.

Чтобы свести к минимуму риск ошибок, настройку прибора выполняют в той же плоскости (направлении), что и при измерении.

9.4 Затухание

Акустическое затухание может быть вызвано потерей энергии вследствие поглощения (например, резиной) и рассеянием (например, на крупных зернах). Эффект затухания вызывает уменьшение амплитуды или искажение сигнала.

В отливках обычно затухание обуславливается поглощением и рассеянием, что приводит к потере показаний или ошибочным показаниям прибора.

В пластмассах сильное затухание вызвано поглощением.

9.5 Состояние поверхности

9.5.1 Общие положения

Недостаточное внимание к состоянию поверхности приводит либо к невозможности выполнить измерения, либо к ошибочным измерениям.

9.5.2 Контактная поверхность

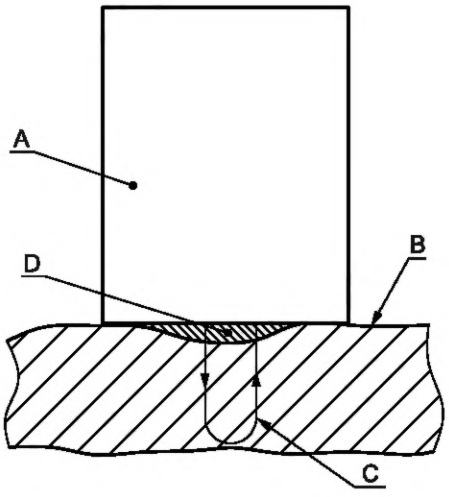
Если на поверхности есть покрытие, измерение можно выполнить непосредственно через покрытие, при условии, что покрытие плотно прилипает к материалу. Если измерение выполняют через покрытие, следует использовать многократно отраженный от донной поверхности сигнал, режим 3 (см. раздел 4).

Если из-за плохого отражения или сильного затухания возможно получение только один эхо-сигнал, в этом случае необходимо знать эквивалентную толщину покрытия и вычесть ее из показания однократного эхо-сигнала по 8.1.3 и 8.1.4.

Если невозможно выполнить ни одно из вышеперечисленных условий, то покрытие следует удалить, при условии, что на удаление покрытия имеется соответствующее разрешение.

Шероховатость поверхности, вызванная, например, износом или коррозией, оказывает существенное влияние на условия контакта и точность измерения. Очень большая шероховатость поверхности может препятствовать применению режимов 2 и 3 (см. раздел 4), единственной возможной альтернативой измерения толщины является режим 1.

Итоговые результаты измерения могут и не быть проанализированы более точно, чем позволяет состояние поверхности. На рисунке 4 представлен преобразователь, перекрывающий поверхностную раковину. Результат измерения, записанный в этом положении, включает в себя эквивалентную толщину слоя контактной жидкости.



Обозначения:
A — преобразователь;
B — объект контроля;
C — акустический путь;
D — контактная жидкость

Рисунок 4 — Акустический путь через слой контактной среды

9.5.3 Отражающая поверхность

Ультразвуковая толщинометрия часто связана с контролем материала, имеющего износ вследствие коррозии или эрозии в процессе эксплуатации. Механизмы коррозии и эрозии создают отражающие поверхности различных типов. Если ультразвуковой контроль толщины выполняют с целью обнаружения износа материала и/или измерения остаточной толщины стенки, то необходимо знать тип(ы) предполагаемой потери материала и применить процедуру, принятую для этого определенного типа износа, коррозии или эрозии.

9.5.4 Коррозия и эрозия

В таких отраслях, как нефтегазовая промышленность, производство и распределение электроэнергии, хранение и перевозка продукции, коррозия часто возникает в резервуарах и трубах, изготовленных из черных металлов, например, листах катаной стали, бесшовных трубах и сварных узлах.

При выборе способа ультразвукового контроля необходимо рассмотреть следующие типы коррозии в компонентах стальных резервуаров и трубопроводов:

- сплошная коррозия;
- местная (язвенная) коррозия;
- коррозия, под осадком;
- щелевая коррозия;
- электрохимическая коррозия;
- коррозия, вызванная потоком;
- коррозия сварного шва;
- сочетание двух или более вышеуказанных типов коррозии.

На рисунках в таблице А.1 показаны основные формы и распределения отражателей, которые нужно учесть.

В приложении А приведены технические данные, применяемые при обнаружении и измерении.

10 Протокол испытаний

10.1 Общие положения

С учетом требований, оговоренных в запросе на проведение контроля толщины, в протоколе испытаний должна также содержаться следующая информация.

10.2 Общая информация

В протокол испытаний должна быть включена следующая информация:

a) ссылка на применяемый стандарт или спецификации;

b) реквизиты компании/агентства, где проводится испытание и цель испытания;

c) общее описание контролируемой установки/конструкции/деталей, включая определение состояния поверхности, например, с покрытием/ защитным изоляционным покрытием, шероховатая/гладкая, после дробеструйной (пескоструйной) обработки;

d) даты первого и последнего измерения в протоколе испытаний;

e) подробное местоположение/позиция;

f) тип материала;

g) тип прибора и серийный номер;

h) описание типа преобразователя (включая размер/ частоту) и его серийный номер;

i) сведения об настроечном (контрольном) образце, если это применимо;

j) тип контактной жидкости;

k) способ/режим измерения;

l) детали настройки прибора;

m) имя оператора;

n) подробности квалификации оператора;

o) реквизиты места работы оператора;

p) личная подпись оператора.

10.3 Данные ультразвукового контроля толщины

Указывают следующие данные:
a) описание схемы измерения;
b) дескриптор/идентификатор местоположения зоны измерения;
c) исходная толщина, если применимо;
d) допустимые допуски (если они известны);
e) результаты измерения (таблица и/или дефектограмма);
f) уменьшение толщины, процентное или фактическое, если требуется;
g) вспомогательные чертежи/эскизы, на которых показаны места измерений;
h) вспомогательные чертежи/эскизы с указанием местоположения несплошностей; а также
i) комментарии по визуальному контролю и контролю состояния.

Приложение А
(справочное)

Коррозия в резервуарах и трубопроводах

А.1 Общие положения

Коррозия в таких объектах, как резервуары и трубопроводы, может быть вызвана различными механизмами. В таблице А.1 приведены инструкции относительно типов ультразвуковых отражателей, которые могут возникнуть с различными механизмами коррозии, и некоторые инструкции относительно ультразвуковых методов, рекомендуемых для измерения толщины остаточного материала.

А.2 Измерение общей коррозии

А.2.1 Прибор

Для общей коррозии используют приборы с цифровым дисплеем. Если прибор не дает надежные показания вследствие сложного состояния поверхности, наличия включений в материале или толстого покрытия, то используют прибор с разверткой типа А.

Если на измеряемой поверхности есть покрытие и необходимо исключить толщину этого покрытия из результатов, то используют подходящий прибор, в котором реализован режим 3.

Если необходимо найти самое тонкое место на данном участке, то выполняют сканирование. Для этой цели используют прибор с разверткой типа А.

Если необходимо записать много показаний, то рассматривают использование прибора с функцией регистрации данных.

А.2.2 Преобразователи

Выбор преобразователя зависит от типа оборудования, толщины материала, состояния поверхности и состояния покрытия.

Для приборов с цифровым дисплеем используют преобразователи, указанные производителем. Для приборов с разверткой типа А применяют следующие инструкции:

- следует выбирать такую частоту преобразователя, чтобы измеряемая толщина была не менее чем полторы длины волны (см. 8.2.2);
- обычно для толщин 10 мм и более используют совмещенные преобразователи. Метод многократных эхо-сигналов (режим 3) используют только с одноэлементными преобразователями;
- если толщина менее 10 мм, используют раздельно-совмещенные преобразователи;
- если предполагаемая толщина менее 5 мм, используют раздельно-совмещенные преобразователи со специальным диапазоном фокусировки;
- в случае изогнутого объекта следует уделить внимание выбору диаметра преобразователя;
- в случае объекта с покрытием используют совмещенный одноэлементный преобразователь, измерение проводят по режиму 3, чтобы скомпенсировать толщину покрытия.

А.2.3 Настройка прибора

Настройку прибора проводят на ступенчатом образце с диапазоном толщины, охватывающим предполагаемый интервал толщины объекта. Материал и температура должны соответствовать объекту.

А.2.4 Измерение

Если можно считать несколько донных эхо-сигналов (только одноэлементным преобразователем), то наиболее точные результаты получают путем считывания n-го эхо-сигнала и деления показания на n. Если такой способ используют на поверхности с покрытием, то расстояние от первого эхо-сигнала до n-го эхо-сигнала считывают и делят на (n–1). Таким образом, толщина покрытия не включается в результат.

Если используют только один донный эхо-сигнал, то показание снимают в том же положении эхо-сигнала, что и показание во время настройки прибора. В случае поверхности с покрытием в показание включают толщину покрытия, умноженную на отношение скоростей распространения звука в металле и покрытии, и перед записью результата ее вычитают.

Если необходима высокая воспроизводимость, то записывают или иным способом регистрируют точное положение точки измерения. Если необходимо найти самое тонкое место на данном участке, то выполняют сканирование. Обычно для этого требуется прибор с разверткой типа А [тип 5.1 b) или тип 5.1 c)].

Использовать приборы с цифровым дисплеем необходимо в строгом соответствии с руководством по эксплуатации.

Неожиданные результаты измерения могут быть обусловлены внутренними разрывами. Их необходимо проверить с помощью дополнительных исследований, например с помощью наклонных преобразователей.

А.3 Измерение язвенной коррозии

А.3.1 Прибор

Для измерения толщины, если предполагается наличие язвенной коррозии, используют прибор с разверткой типа А [тип 5.1 b) или тип 5.1 c)].

А.3.2 Преобразователи

Для обнаружения язвенной коррозии наиболее подходящим является раздельно-совмещенный преобразователь. Выбирают преобразователь с фокусным расстоянием, соответствующим предполагаемому расстоянию до точечной коррозии.

А.3.3 Настройка прибора

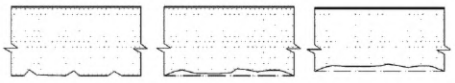
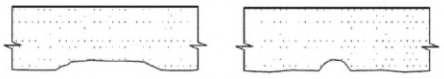
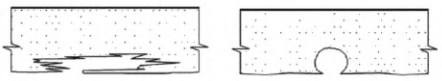
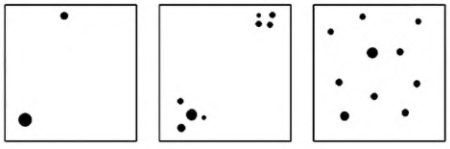
Настройку прибора проводят на ступенчатом образце с диапазоном толщины, охватывающим предполагаемый интервал толщины объекта. Материал и температура должны соответствовать объекту. Если предполагается наличие язвенной коррозии малого диаметра, то проверяют чувствительность обнаружения на настроечном образце с плоскодонными отверстиями малого диаметра в том же диапазоне толщин, что и для предполагаемой точечной коррозии.

А.3.4 Измерение

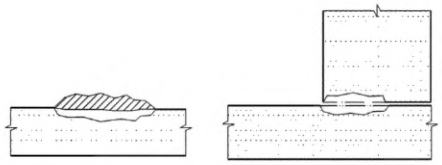
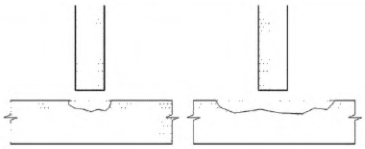
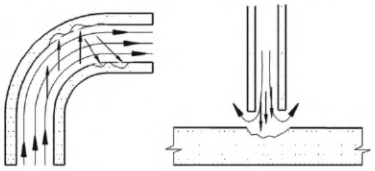
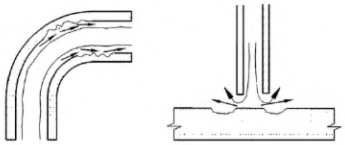
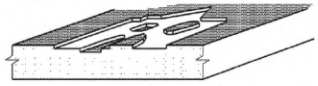
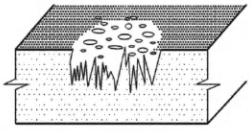
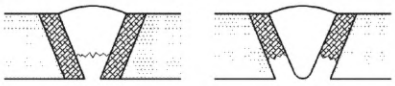
При поиске точечной коррозии используют только первый донный эхо-сигнал. Вместе с донным эхо-сигналом могут возникать эхо-сигналы от точечной коррозии.

Если невозможно идентифицировать тип отражателя как коррозию или включение, то выполняют дополнительное исследование с помощью наклонных преобразователей. Чтобы различать включения и точечную коррозию, лучше всего подходят наклонные преобразователи с углом ввода 45 градусов.

Таблица А.1 — Коррозия в стали. Рекомендуемые ультразвуковые способы

№	Описание	Причина и механизм коррозии	Рисунок	Рекомендуемый способ ультразвукового контроля толщины
1	*Сплошная коррозия*	Возникает в коррозионно-активных средах, таких как: - вода, насыщенная кислородом; - кислые растворы; - водяной конденсат из влажного газа	 Развитие общей коррозии	А.2
2	*Локальная (питтинговая) коррозия*	Корродированные участки характеризуются четкими границами, а соседние участки обычно не подвергаются коррозии Локальная коррозия может принимать различные формы, в зависимости от структуры и текстуры материала, а также от состояния поверхности	 Тип А. Плоские раковины Тип С. Полукруглые коррозионные язвы  Тип В. Подповерхностная язва Тип D. Поверхностная сферическая язва	А.3
2а	*Локальная (точечная) коррозия*	Распределение питтингов		[a]

Окончание таблицы А.1

№	Описание	Причина и механизм коррозии	Рисунок	Рекомендуемый способ ультразвукового контроля толщины
3	*Щелевая коррозия, коррозия под осадком*	Возникает под различными отложениями солей на поверхности металлов и в узких щелях, заполненных водой		а
4	Электрохимическая (контактная) коррозия	Разнородные металлы		а
5	Коррозия в условиях ламинарного течения			а
6	Коррозия в условиях турбулентного течения			а
7	Мейза-коррозия			а
8	Кавитационная коррозия			а
9	Коррозия в зоне сварного шва			а

[a] Приведенные формы коррозии показаны для иллюстрации возможностей и трудностей, которые могут встретиться при обнаружении и количественном определении коррозии. Рисунки приведены только для справки. Нельзя дать конкретные рекомендации относительно метода, применяемого в каждом случае, поскольку это зависит от условий доступа, толщины материала и других параметров.

Приложение В
(справочное)

Настройка приборов

Таблица В.1 — Настройка прибора на настроечном образце с несколькими ступеньками

Выбор настроечного образца	Из того же самого материала и с таким же состоянием поверхности	Из того же самого материала и с другим состоянием поверхности	Из другого материала и с таким же состоянием поверхности	Из другого материала и с другим состоянием поверхности
Настройка оборудования	Настройка по толщине выше и ниже измеряемого диапазона толщины	Настройка по толщине выше и ниже измеряемого диапазона толщины	Настройка по толщине выше и ниже измеряемого диапазона толщины	Настройка по толщине больше и меньше измеряемого диапазона толщины
Подтверждение линейности на промежуточных ступеньках	При наличии более двух ступенек	При наличии более двух ступенек	При наличии более двух ступенек	При наличии более двух ступенек
Коррекция настройки	Не требуется	Проверка и коррекция установки нуля на объекте контроля	Повторная настройка на объекте контроля, если это возможно, или использование известной скорости распространения звука для корректировки показания	Повторная настройка на объекте контроля, если это возможно, или проверка и коррекция установки нуля на объекте контроля и использование известной скорости распространения звука
Погрешность измерения, связанная с настройкой прибора, зависит от:	Точности значений толщины настроечного образца и, если используются только две ступеньки, отклонение от линейности	Точности значений толщины настроечного образца, и состояния поверхности объекта контроля; и, если используются только две ступеньки, отклонение от линейности	Точности значений толщины настроечного образца; и точности значений толщины объекта контроля или достоверности известного значения скорости распространения звука; и, если используются только две ступеньки, отклонение от линейности	Точности значений настроечного образца; и точности значений толщины объекта контроля; и состояния поверхности объекта контроля или достоверности известного значения скорости распространения звука; и, если используются только две ступеньки, отклонение от линейности

Таблица В.2 — Настройка прибора на настроечном образце известной толщины или при отсутствии настроечного образца

Настроечный образец	Из того же самого материала и с таким же состоянием поверхности	Из того же самого материала и с другим состоянием поверхности	Без настроечного образца
Настройка оборудования	Установить скорость распространения звука и нуль (задержку развертки) в соответствии с известным значением и толщиной	Установить скорость распространения звука и нуль (задержку развертки) в соответствии с известным значением и толщиной	Установить скорость распространения звука на известное значение для объекта контроля. Установить нуль (задержку развертки) используя известное значение, или с помощью режима 3, или с помощью автоматического распознавания преобразователя
Подтверждение линейности на промежуточных ступеньках	Невозможна	Невозможна	Невозможна
Коррекция настройки	Не требуется	Проверка и коррекция установки нуля на объекте контроля	Невозможна
Погрешность измерения, связанная с настройкой прибора, зависит от:	Точности значения толщины настроечного образца, и отклонения от линейности	Точности значения толщины настроечного образца, и отклонения от линейности, и состояния поверхности объекта контроля	Достоверности известных значений

Приложение С
(справочное)

Параметры, влияющие на точность

Таблица С.1 — Параметры, влияющие на точность

Позиция		Параметр	Результат	Возможные способы улучшения
Объект контроля	Материал	Состав	Затухание, поглощение, рассеяние и локальное изменение скорости распространения звука	Настройка прибора на том же материале, что и материал объекта контроля
		Структура		
		Анизотропия		
	Состояние поверхности	Чистота	Локальные изменения состояния поверхности ведут к изменениям толщины контактной среды	Очистка
		Шероховатость		Необходима шлифовка поверхности
		Профиль поверхности		Использование преобразователя с малым диаметром
	Покрытие	Покрытие	Скорость распространения звука в покрытии отличается от скорости распространения звука в основном материале, приводя к неточности	Удаление покрытия или использование режима 3
		Лакокрасочное покрытие		
		Обработка поверхности		
	Геометрия	Отсутствие параллельности	Донный эхо-сигнал может исчезнуть или исказиться	Параллельность должна быть в пределах угла расходимости пучка $[\pm 1{,}22 \cdot \arcsin(\lambda/d)]$
		Кривизна	Потеря эффективной площади зоны контакта	Использование преобразователя с меньшим диаметром
		Диапазон	Искажение донного эхо-сигнала, вызванное затуханием	Использование режима 1 и более низкой частоты преобразователя с использованием режима 4
Контроль	Метод	Погрешность метода настройки	Неточные показания	Использование настроечного образца в виде объекта контроля, более тонких и толстых ступенек по сравнению с предполагаемой толщиной, выбор метода настройки, см. приложение В
	Настроечный образец	Неопределенность измерения толщины и скорости распространения звука	Точность не может быть выше, чем неопределенность настроечного образца	Точное измерение толщины настроечного образца и скорости распространения звука

Окончание таблицы С.1

Позиция		Параметр	Результат	Возможные способы улучшения
Измерение	Оборудование	Разрешение	Точность не может быть выше, чем разрешающая способность системы	Использование более точного прибора, более высокой частоты преобразователя и широкополосных преобразователей
		Длина кабеля	Слишком длинный кабель приводит к искажению сигнала	Использование более короткого кабеля и настройка с помощью такого же кабеля
		Дрейф показаний прибора	Неточные показания	Прогрев прибора и ожидание устойчивого показания или использование стабильного прибора
		Время прохождения	Точность не может быть выше, чем точность измерения времени прохождения	Использование более точного прибора
		Линейность	Неточные показания	Обеспечение линейности системы
		Точка срабатывания	Неточные показания	Выбор наилучшей точки срабатывания
	Эксплуатация	V-путь (расстояние однократного отражения раздельно-совмещенного преобразователя)	Ошибочное показание, поскольку толщина отличается от пути прохождения ультразвукового импульса	Использование толщиномера с коррекцией V-пути или учет угла наклона призмы и разделения. Использование одноэлементного преобразователя
		Фазовый сдвиг	Ошибочное показание	Учет фазового сдвига при расчетах
Воспроизводимость	Использование устройства	Метод	Неправильная эксплуатация	Обеспечение правильной процедуры или инструкций. Выполнение испытаний на воспроизводимость.
		Акустический контакт	Плохой акустический контакт приводит к разбросу показаний	Выбор контактной среды, соответствующей состоянию поверхности. Использование режима 3, если это возможно
		Подготовка пользователя	Ошибка в показании	Подготовка оператора
Разное	Температура	Изменение скорости распространения звука	Ошибка в показании	Настройка при той же температуре, что и у объекта контроля, или корректирующая настройка для изменения скорости распространения звука

С.2 Методы вычисления

Следующие два метода иллюстрируют способы вычисления погрешности измерений.

a) Метод a)

С помощью данного метода вычисляют погрешность измерения путем суммирования погрешностей всех влияющих параметров.

b) Метод b)

С помощью данного метода вычисляют погрешность I_g результата измерения (MR) в соответствии с ИСО 14253-2, где результат измерений *MR* представляется в виде границ погрешности I_g показаний *R*.

$$MR = R \pm I_g, \tag{C.1}$$

где I_g будет

$$K\sqrt{\sum_i \sigma_i^2},$$

в котором *K* выбирают для доверительного уровня, например:

1) *K* = 1 для доверительного уровня 68 %;

2) *K* = 2 для доверительного уровня 95 %;

3) *K* = 3 для доверительного уровня 99,8 %;

σ_i — неопределенность для каждого полученного параметра:

1) статистическим методом;

2) другими методами, например стандарты, технические условия, анализ.

i — представляет различные параметры, рассматриваемые независимо (например, состояние поверхности, линейность, воспроизводимость).

Статистическое распределение:

- закон равномерного или прямоугольного распределения: $\sigma_i = 0{,}6 \cdot a$;
- распределение Гаусса: $\sigma_i = 0{,}5 \cdot a$,

где *a* — погрешность результата.

В таблице С.2 приведен пример сравнения методов a) и b) для стальной пластины толщиной 10 мм и шероховатостью поверхности Ra = 6,3 мкм.

Таблица С.2 — Пример применения методов С.2.1 и С.2.2, когда объектом контроля является стальная пластина толщиной 10 мм, шероховатость поверхности Ra = 6,3 мкм

Параметр	Группа	Факторы	Условия измерения	Оценка погрешности, мм	
				Метод С.2.1	Метод С.2.2
Объект контроля	Материал	Состав	Ферритная сталь	0	0
		Структура	Мелкозернистая	0	0
		Анизотропия		0	0
	Состояние поверхности	Чистота		0	0
		Шероховатость	Поверхности *Ra* = 6,3 мкм	0,0063	0,0032
		Профиль поверхности	Плоская поверхность	0	0
	Покрытие	Покрытие	Без покрытия	0	0
		Краска	Без покраски	0	0
		Обработка поверхности	Без обработки	0	0
	Геометрия	Непараллельность	Параллельные поверхности	0	0
		Радиус кривизны	Без кривизны	0	0
		Диапазон	Малое затухание	0	0

Окончание таблицы С.2

Параметр	Группа	Факторы	Условия измерения	Оценка погрешности, мм	
				Метод С.2.1	Метод С.2.2
Настройка	Метод настройки	Погрешность метода настройки	Настроечный образец. Из того же материала/образец с пятью ступеньками	0	0
	Настроечный образец	Погрешность измерения толщины и скорости распространения звука	Погрешность толщины: 0,01 мм. Погрешность скорости: ±30 м/с	0,05	0,025
Измерение	Оборудование	Разрешение	Разрешающая способность цифрового прибора: 0,01 мм	0,01	0,006
		Длина кабеля	Фиксированная длина	0	0
		Дрейф показаний прибора	Стабильный прибор	0	0
		Время прохождения	Точность измерения времени: 10 нс	0,03	0,018
		Линейность	1 % диапазона измерения (данные производителя)	0,1	0,05
	Эксплуатация	Точка срабатывания	Постоянная амплитуда	0	0
		V-путь (расстояние однократного отражения)	Одноэлементный преобразователь	0	0
		Фазовый сдвиг	Без фазового сдвига	0	0
Воспроизводимость	Эксплуатация	Обеспечение контакта	Погрешность измерения из-за недостаточного контакта включена в метод	0	0
		Уровень подготовки пользователя	Квалификация оператора	0,1	0,05
Прочие условия	Температура	Изменение скорости распространения звука	Измерение при комнатной температуре, изменение пренебрежимо мало	0	0
			Общая погрешность	**0,296**	**0,135**

Приложение D
(справочное)

Выбор метода измерения

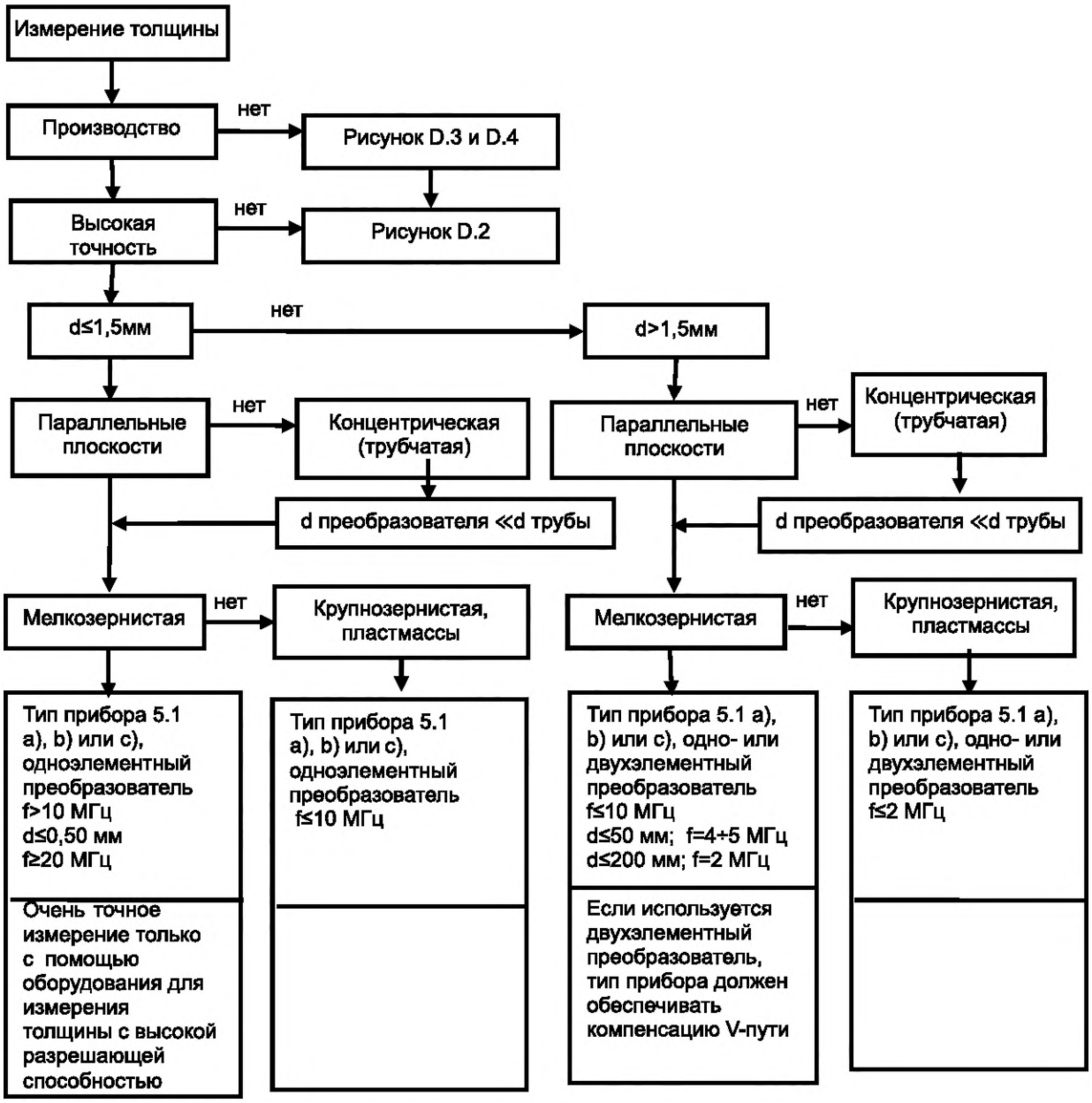


Рисунок D.1 — Блок-схема контроля в процессе производства

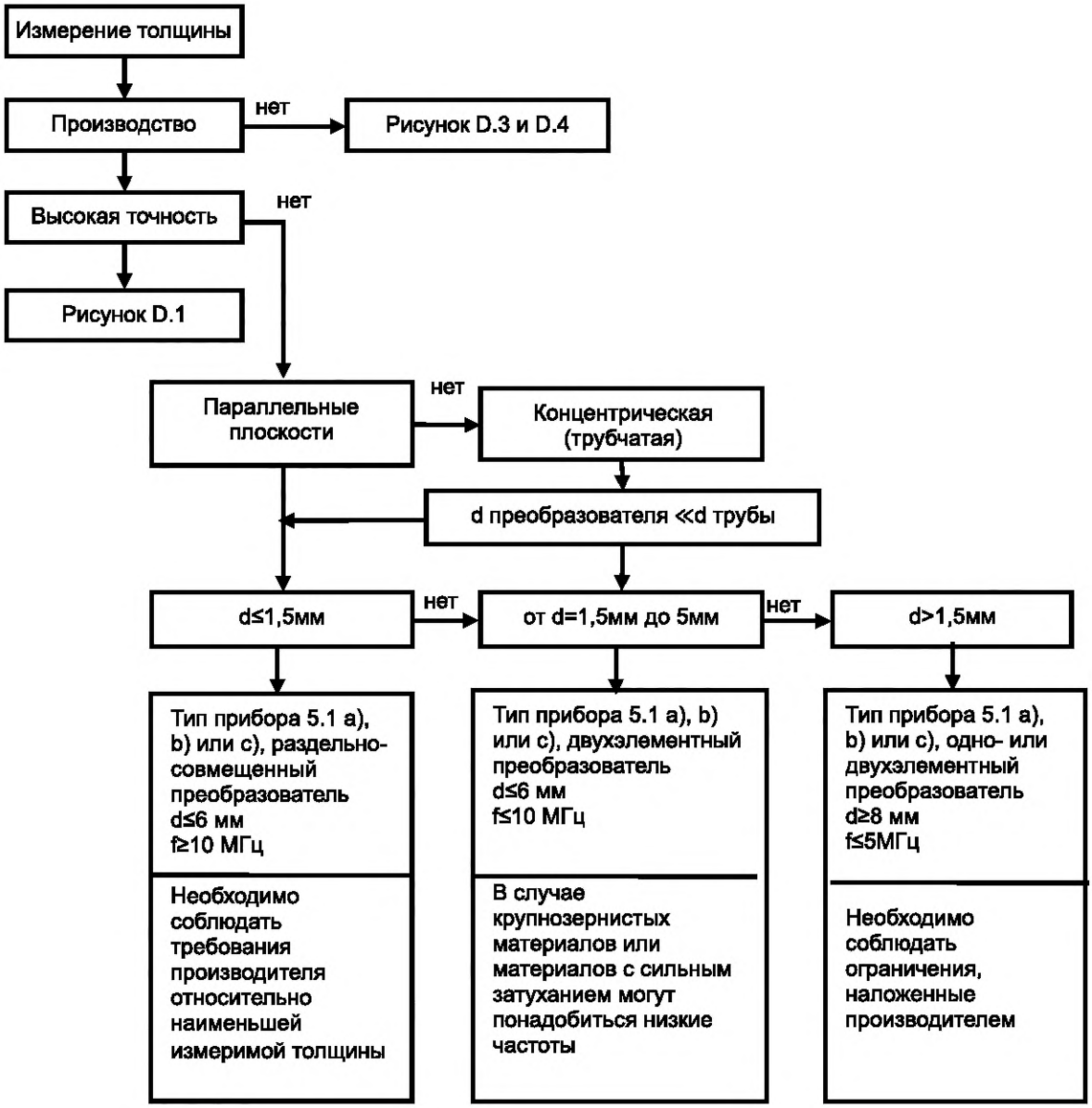


Рисунок D.2 — Блок-схема контроля в процессе производства

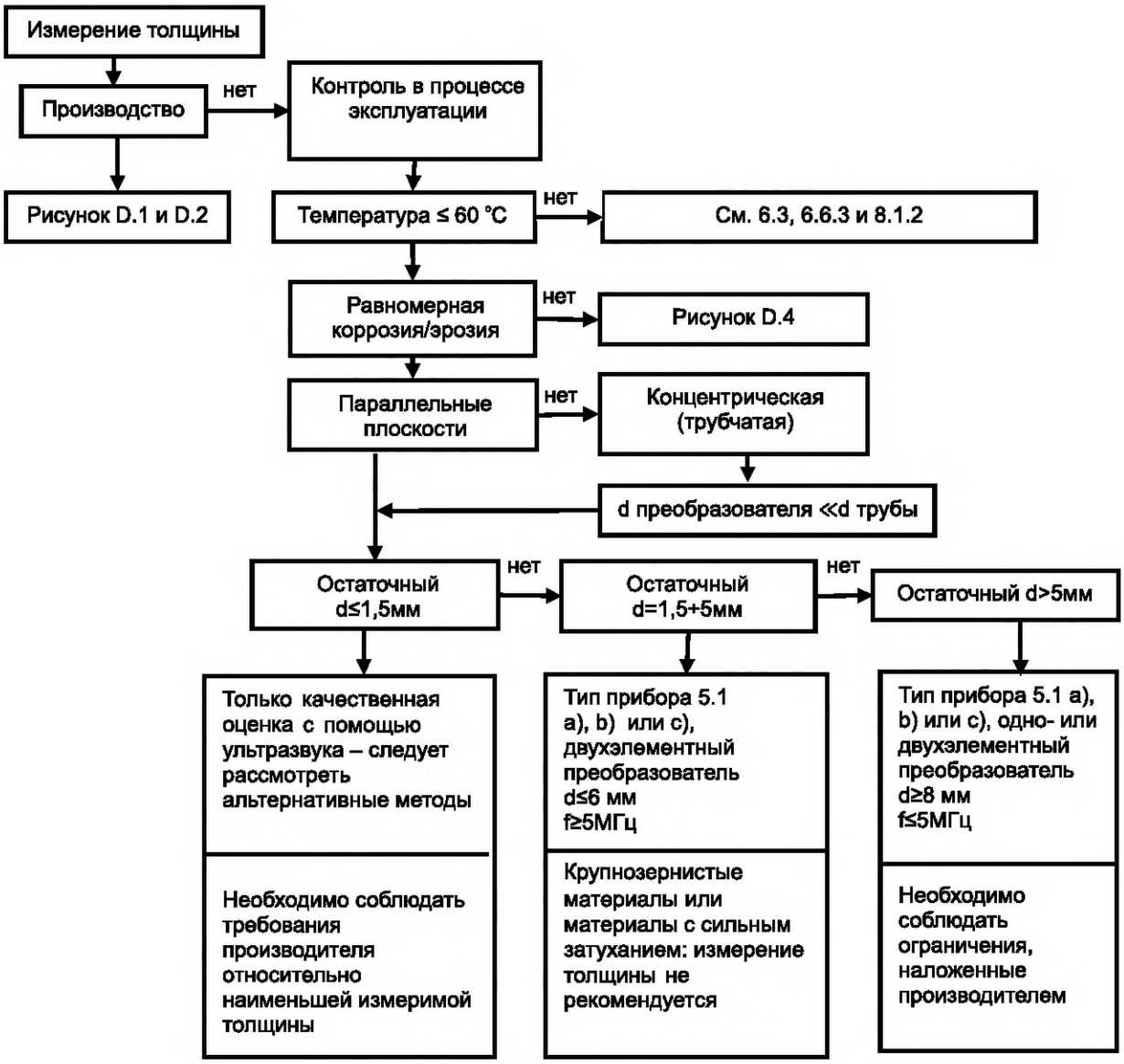


Рисунок D.3 — Блок-схема контроля в процессе эксплуатации

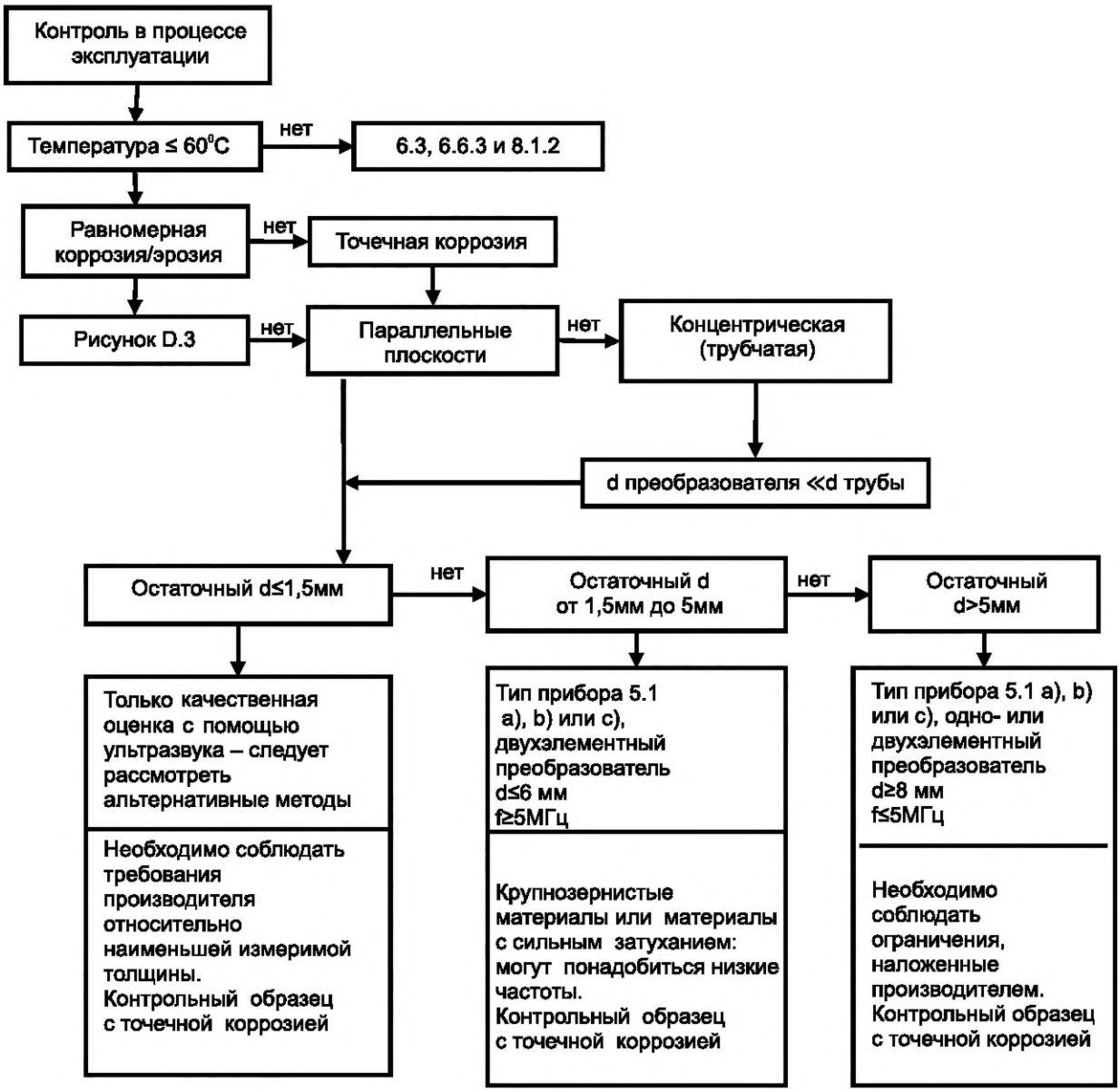


Рисунок D.4 — Блок-схема контроля в процессе эксплуатации

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 5577	—	*, 1)
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.		

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р ИСО 5577—2009 «Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь», идентичный ISO 5577:2000.

Библиография

[1] ISO 9712 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel (Неразрушающий контроль — Квалификация и аттестация персонала неразрушающего контроля)

[2] ISO14253-2 Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification (Геометрические характеристики изделий (GPS) — Контроль измерением обрабатываемых изделий и измерительная аппаратура — Часть 2: Руководство по оценке неопределенности в области измерения геометрических параметров продукции при калибровке измерительного оборудования и контроле продукции)

[3] ISO 16811 Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Sensitivity and range setting (Неразрушающий контроль — Ультразвуковой контроль — Регулировка чувствительности и диапазона развертки)

[4] Directive 97/23/EC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment [as amended and corrected]

[5] Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the marking available on the market of pressure equipment

УДК 620.179.16:006.034 МКС 19.100 IDT

Ключевые слова: контроль неразрушающий, измерение толщины, толщиномер, ультразвуковой контроль

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 03.12.2025. Подписано в печать 22.12.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,51.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
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